

Colección Lippincott

# Enfermería

un enfoque práctico y conciso

## Anatomía y fisiología

Editor clínico: Laura Willis



Wolters Kluwer

Colección Lippincott

# Enfermería

un enfoque práctico y conciso

## Anatomía y fisiología

5.ª edición



**Editor clínico:**

**Laura M. Willis, DNP, APRN, FNP-C**  
Family Nurse Practitioner  
Urbana Family Medicine and Pediatrics  
Urbana, Ohio

 **Wolters Kluwer**

Philadelphia • Baltimore • New York • London  
Buenos Aires • Hong Kong • Sydney • Tokyo

Lic. Gavino  
2

- COMPARTIR NO TIENE LÍMITES -



Av. Carrilet, 3, 9.<sup>a</sup> planta, Edificio D - Ciutat de la Justícia  
08902 L'Hospitalet de Llobregat  
Barcelona (España)

Tel.: 93 344 47 18      Fax: 93 344 47 16      e-mail:  
lwvespanol@wolterskluwer.com

*Revisión científica*

**Mario Dvorkin**

Médico especialista en cirugía. Profesor Adjunto de Fisiología y Biofísica, Facultad de Medicina, Universidad de Buenos Aires, Argentina

*Traducción*

**Néstor Zumaya Cárdenas**

Médico cirujano por la Universidad Nacional Autónoma de México, México

**Dirección editorial:** Carlos Mendoza

**Editora de desarrollo:** Núria Llavina

**Gerente de mercadotecnia:** Juan Carlos García

**Cuidado de la edición:** Doctores de Palabras

**Diseño de portada:** Juan Esteban Mendoza

**Impresión:** R.R. Donnelley Shenzhen / Impreso en China

Se han adoptado las medidas oportunas para confirmar la exactitud de la información presentada y describir la práctica más aceptada. No obstante, los autores, los redactores y el editor no son responsables de los errores u omisiones del texto ni de las consecuencias que se deriven de la aplicación de la información que incluye, y no dan ninguna garantía, explícita o implícita, sobre la actualidad, integridad o exactitud del contenido de la publicación. Esta publicación contiene información general relacionada con tratamientos y asistencia médica que no debería utilizarse en pacientes individuales sin antes contar con el consejo de un profesional médico, ya que los tratamientos clínicos que se describen no pueden considerarse recomendaciones absolutas y universales

El editor ha hecho todo lo posible para confirmar y respetar la procedencia del material que se reproduce en este libro y su copyright. En caso de error u omisión, se enmendará en cuanto sea posible. Algunos fármacos y productos sanitarios que se presentan en esta publicación sólo tienen la aprobación de la Food and Drug Administration (FDA) para uso limitado al ámbito experimental. Compete al profesional sanitario averiguar la situación de cada fármaco o producto sanitario que pretenda utilizar en su práctica clínica, por lo que aconsejamos consultar con las autoridades sanitarias competentes.

**Derecho a la propiedad intelectual (C. P. Art. 270)**

Se considera delito reproducir, plagiar, distribuir o comunicar públicamente, en todo o en parte, con ánimo de lucro y en perjuicio de terceros, una obra literaria, artística o científica, o su transformación, interpretación o ejecución artística fijada en cualquier tipo de soporte o comunicada a través de cualquier medio, sin la autorización de los titulares de los correspondientes derechos de propiedad intelectual o de sus cesionarios.

---

Reservados todos los derechos.

Copyright de la edición en español © 2018 Wolters Kluwer

ISBN de la edición en español: 978-8-4170-3347-7

Depósito legal: M-34783-2017

Edición en español de la obra original en lengua inglesa *Anatomy & physiology made incredibly easy!*, 5.<sup>a</sup> ed.,

Lic. Gavino

3

- COMPARTIR NO TIENE LÍMITES -

editada por Laura M. Willis, publicada por Wolters Kluwer  
Copyright © 2018 Wolters Kluwer  
Two Commerce Square  
2001 Market Street  
Philadelphia, PA 19103  
ISBN de la edición original: 978-1-4963-5916-2

# Dedicatoria

Dedicado a mi familia: sin ustedes no podría haber llegado hasta donde estoy. Estoy muy agradecida. ¡Son mi fuente de alegría!

*Laura M. Willis*

# Colaboradores

**Melanie N. DeGonzague, MSN, APRN, AGPCNP-BC, CNP**  
Internal Medicine, The Christ Hospital Medical Associates  
Cincinnati, Ohio

**Kathryn Dinh, MSN, APRN, AGPCNP-BC**  
Nurse Practitioner  
The Christ Hospital Diabetes & Endocrine Center  
Cincinnati, Ohio

**Shelba Durston, MSN, RN, CCRN, SAFE**  
Professor of Nursing  
San Joaquin Delta College  
Stockton, CA  
Staff Nurse IV, ICU/CCU/Sexual Assault Forensic Examiner  
San Joaquin General Hospital  
French Camp, CA

**Kay L. Luft, MN, CCRN, CNE**  
Associate Professor  
Saint Luke's College of Health Sciences  
Kansas City, MO

**Katrin Moskowitz, DNP, FNP**  
Family Nurse Practitioner  
CHC, Inc.  
Meriden, Connecticut

**Deborah Skoruppa, DNP, APRN, NP-C, CNE**  
Professor of Nurse Education  
Nurse Education, Del Mar College  
Corpus Christi, Texas

**Tracy Taylor, MSN, RN**  
Adjunct Faculty  
Ohio Institute of Allied Health  
Dayton, Ohio  
NICU Nurse  
Miami Valley Hospital  
Dayton, Ohio

**Stefanie Tyler, DNP, WHNP**  
Royal Bournemouth Hospital  
NHS Foundation Trust  
Bournemouth, Dorset, UK

# Colaboradores de la edición anterior

**Dometrives Armstrong, MSN, FNP, PHN**

**Cheryl L. Brady, MSN, RN**

**Shelba Durston, MSN, RN, CCRN**

**Ruth Howell, BSN, MEd**

**Karla R. Jones, MS, RN**

**Kay Luft, MN, CCRN, CNE**

**Betty Sims, MSN, RN, FRE**

**Deborah Skoruppa, MSN, RN, NP-C, CNE**

**Cynthia Small, MSN, FNP-BC, CNE**

**Brigitte Thiele, BSN, RN**

**Peggy Thweatt, MSN, RN**

# Prefacio

Si te pareces a mí, no tienes tiempo de leer un prefacio con términos pretenciosos y muchísimos párrafos aburridos para llegar al punto. ¡Así que basta de palabrerías! Estas son las razones por las que este libro resulta increíble:

1. Te enseñará todas las cosas importantes que necesitas saber sobre anatomía y fisiología, sin tener que sortear toneladas de detalles mínimos.
2. Te ayudará a recordar lo que ya has aprendido.
3. Te hará sonreír al mismo tiempo que mejora tu conocimiento y tus habilidades.  
¿No me crees? Dale un vistazo a las siguientes secciones:



*Zoom:* provee una mirada de cerca a las estructuras anatómicas.



*La máquina perfecta:* ayuda a explicar cómo es que los sistemas y estructuras del cuerpo trabajan en conjunto.



*¡Eureka!:* presenta conceptos de histología complejos de una manera fácil de digerir.



*La tercera edad:* destaca los efectos del envejecimiento sobre la anatomía y fisiología.



*Para recordar:* refuerza el aprendizaje mediante acrónimos y otros métodos para facilitar la memorización.



*¡Diviértete!:* refuerza el aprendizaje de términos anatómicos y procesos fisiopatológicos.

¿Lo ves? Te lo dije. Eso no es todo. Búscame a mí y a mis amigos en los márgenes a lo largo del libro. Estamos aquí para explicar conceptos clave, recordarte sobre cosas importantes y ofrecerte tranquilidad. ¡Ah! Si no te molesta, haremos de estas páginas algo divertido con un poco de humor a lo largo del camino. Así, te enseñaremos y mantendremos tu atención de una manera que no lo logrará ningún



otro recurso.

Espero que encuentres útil este libro y ¡te deseo suerte a lo largo de tu carrera!

# Contenido

**1 El cuerpo humano**

Katrin Moskowitz, DNP, FNP

**2 Genética**

Katrin Moskowitz, DNP, FNP

**3 Organización química**

Katrin Moskowitz, DNP, FNP

**4 Sistema integumentario**

Katrin Moskowitz, DNP, FNP

**5 Sistema musculoesquelético**

Katrin Moskowitz, DNP, FNP

**6 Sistema neurosensitivo**

Kay L. Luft, MN, CCRN, CNE

**7 Sistema endocrino**

Kathryn Dinh, MSN, APRN, AGPCNP-BC

**8 Sistema cardiovascular**

Melanie N. DeGonzague, MSN, APRN, AGPCNP-BC, CNP

**9 Sistema hemático**

Deborah Skoruppa, MSN, RN, NP-C, CNE

**10 Sistema inmunitario**

Tracy Taylor, MSN, RN

**Aparato respiratorio**

Lic. Gavino

**11**

Melanie N. DeGonzague, MSN, APRN, AGPCNP-BC, CNP

**12**

**Aparato digestivo**

Kay L. Luft, MN, CCRN, CNE

**13**

**Nutrición y metabolismo**

Shelba Durston, MSN, RN, CCRN, SAFE

**14**

**Aparato urinario**

Stefanie Tyler, DNP, WHNP

**15**

**Líquidos, electrolitos, ácidos y bases**

Shelba Durston, MSN, RN, CCRN, SAFE

**16**

**Aparato reproductor**

Stefanie Tyler, DNP, WHNP

**17**

**Reproducción y lactancia**

Kathryn Dinh, MSN, APRN, AGPCNP-BC

---

**Apéndices e índice**

**La práctica hace al maestro**

Tracy Taylor, MSN, RN

**Glosario**

**Diagramas para estudio**

Tracy Taylor, MSN, RN

**Índice alfabético de materias**

# Capítulo 1

## El cuerpo humano

### Objetivos



En este capítulo aprenderás:

- ◆ Términos anatómicos de dirección, planos anatómicos, cavidades corporales y regiones corporales que ayudan a describir la ubicación de varias estructuras del cuerpo
- ◆ Estructura de las células
- ◆ Reproducción celular y producción de energía
- ◆ Cuatro tipos de tejido y sus características

Para ubicar estructuras corporales, se inicia con términos anatómicos de referencia, planos anatómicos, cavidades y regiones.



## Términos anatómicos

Los términos anatómicos describen referencias dentro del cuerpo, así como planos anatómicos, cavidades y regiones.

## Términos anatómicos de referencia

Al navegar por el cuerpo, los términos anatómicos de referencia te ayudan a determinar la ubicación exacta de una estructura.



### Para recordar

Para recordar los significados de **proximal** y **distal**, ten en mente que cuando algo está **próximo**, se encuentra cerca.

Siempre en parejas

De manera general, los términos anatómicos de referencia pueden agruparse en pares

Lic. Gavino

13

- COMPARTIR NO TIENE LÍMITES -

de opuestos:

- *Superior* e *inferior* significan “arriba” y “abajo”, respectivamente. Por ejemplo, el hombro es superior al codo, mientras que la mano es inferior a la muñeca.
- *Anterior* significa hacia la parte frontal del cuerpo y *posterior* se refiere a la parte trasera. *Ventral* se utiliza en ocasiones en lugar de anterior, mientras que *dorsal* se emplea en lugar de posterior.
- *Medial* significa hacia la línea media del cuerpo, mientras que *lateral* significa que se encuentra alejado de esta línea.
- *Proximal* y *distal* significan lo más cerca y lo más alejado del punto de origen (o del tórax), respectivamente.
- *Superficial* y *profundo* significan hacia el exterior del cuerpo y hacia el interior de éste, respectivamente.

---

## Planos anatómicos

Los planos anatómicos son líneas imaginarias utilizadas para dividir al cuerpo y sus órganos. Estas líneas transcurren de manera longitudinal, horizontal y angular.

Los cuatro planos anatómicos principales son:

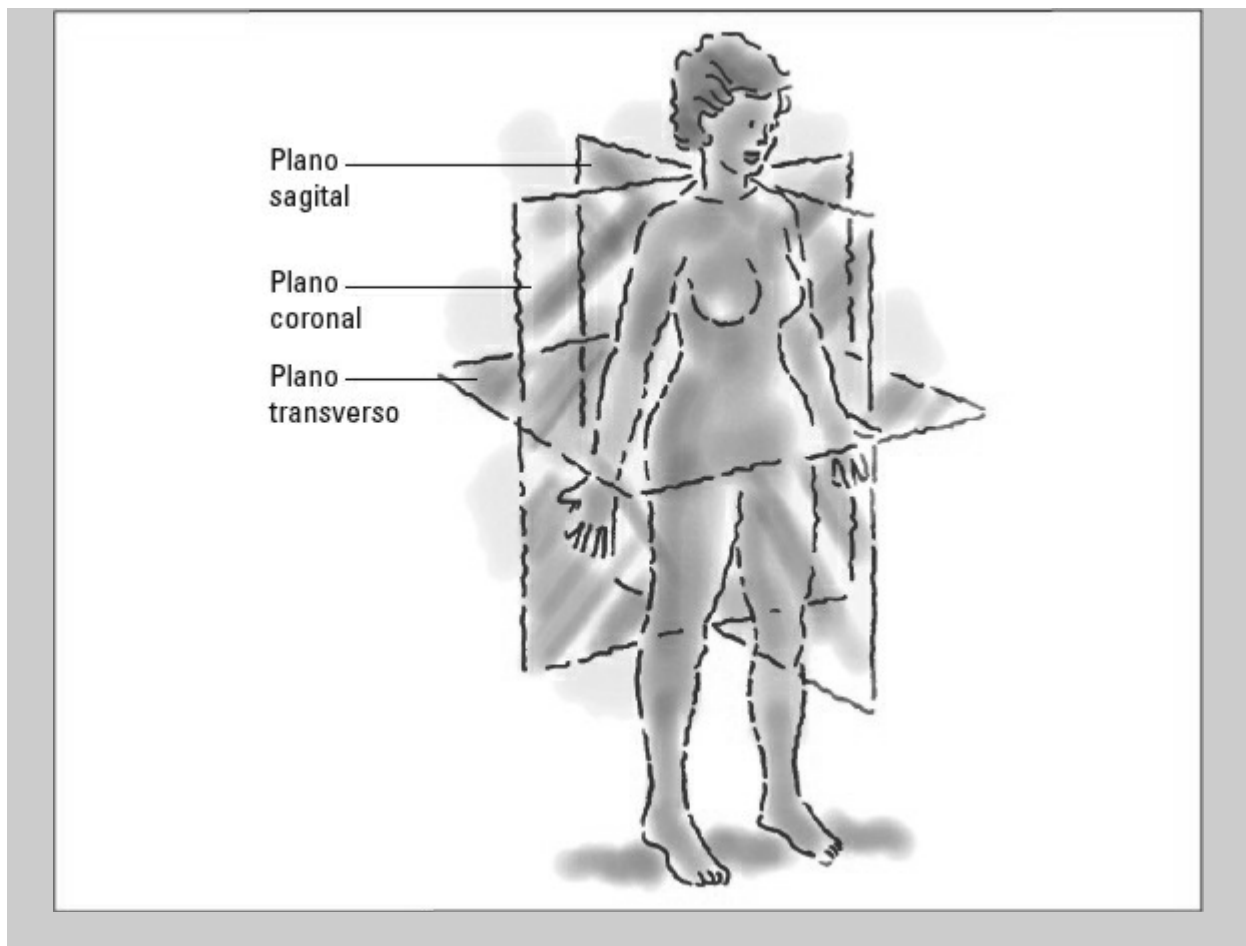
1. Sagital
2. Coronal
3. Transverso
4. Oblicuo (véase *Representación de los planos anatómicos*)



### La máquina perfecta

#### Representación de los planos anatómicos

Los planos anatómicos se utilizan para indicar la ubicación de las estructuras del cuerpo. Aquí se muestran los planos sagital, coronal y transverso. En este caso no se muestra un plano oblicuo (plano inclinado que se sitúa entre un plano horizontal y uno vertical).



## Cavidades corporales

Las cavidades corporales son espacios dentro del cuerpo que contienen a los órganos internos. Las *cavidades dorsal* y *ventral* son las dos cavidades cerradas –sin apertura hacia el exterior del cuerpo– principales (véase *Ubicación de las cavidades corporales*).

### Cavidad dorsal

La cavidad dorsal se localiza en la región posterior del cuerpo.

El centro de ideas y la columna del cuerpo

La cavidad dorsal se divide en dos cavidades más pequeñas:

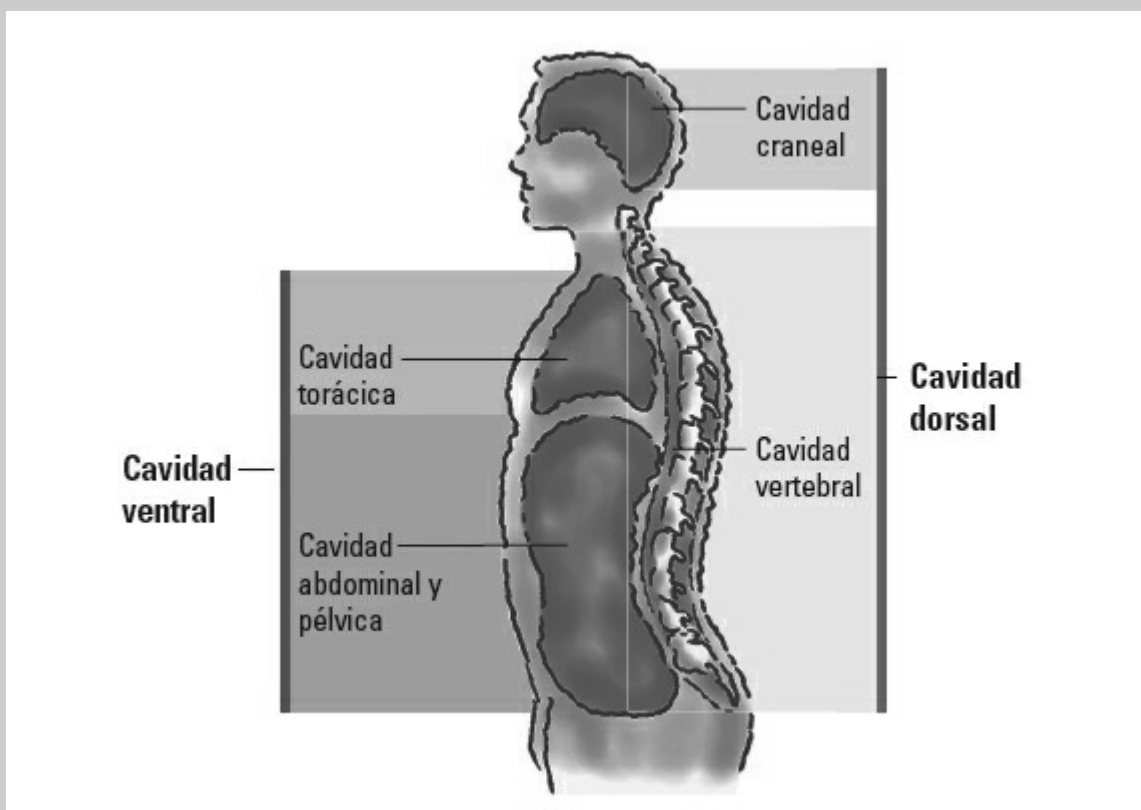
- La *cavidad craneal*, también conocida como *bóveda craneal*, compuesta por el cráneo que contiene al encéfalo.
- El *conducto vertebral*, también denominado *conducto espinal* o *canal vertebral*, está conformado por las vértebras y contiene la médula espinal.



## La máquina perfecta

### Ubicación de las cavidades corporales

La cavidad dorsal, que se ubica en la región posterior del cuerpo, se divide en cavidad craneal y conducto vertebral. La cavidad ventral, localizada en la región anterior, se divide en cavidad torácica y cavidad abdominal y pélvica. Estas regiones se muestran en la siguiente ilustración.



### Cavidad ventral

La cavidad ventral ocupa la parte anterior del tronco. Se subdivide en *cavidad torácica* y *cavidad abdominal y pélvica*.





### El cofre del tesoro

Rodeada por las costillas y los músculos torácicos, la cavidad torácica se refiere al espacio ubicado de manera superior a la cavidad abdominal y pélvica. Se subdivide en las *cavidades pleurales* y el *mediastino*:

- Cada una de las dos *cavidades pleurales* contiene un pulmón.
- El *mediastino* alberga al corazón, los grandes vasos, tráquea, esófago, timo, nódulos linfáticos y otros tipos de vasos sanguíneos, además de nervios.

### La barriga y más abajo

La *cavidad abdominal y pélvica* tiene dos regiones, la *cavidad abdominal* y la *cavidad pélvica*:

- La *cavidad abdominal* contiene al estómago, intestinos, bazo, hígado y otros órganos.
- La *cavidad pélvica*, que se encuentra inferior a la cavidad abdominal, alberga a la vejiga, algunos órganos genitales y al recto.

## Otras cavidades corporales

El cuerpo también tiene *cavidad bucal* (la boca), *cavidad nasal* (localizada en la nariz), *cavidades orbitarias* (que contienen los ojos), *cavidades del oído medio* (que contienen a los huesos del oído medio) y *cavidades sinoviales* (contenidas en las cápsulas que rodean a las articulaciones).

---

## Regiones corporales

Las regiones corporales se utilizan para nombrar áreas del cuerpo que tienen un aporte vascular y nervioso especial, o que tienen alguna función especial.

## Las tripas del asunto

De manera frecuente se utilizan términos para regiones corporales que designan diferentes secciones del abdomen (véase *Regiones abdominales al descubierto*).

El abdomen tiene nueve regiones:

- La *región umbilical*, el área alrededor del ombligo, incluye secciones de intestino delgado, intestino grueso, vena cava inferior y aorta abdominal.
- El *epigastrio*, superior a la *región umbilical*, contiene la mayor parte del páncreas y algunas partes del estómago, hígado, vena cava inferior, aorta abdominal y duodeno.
- El *hipogastrio* (o área púbica), inferior a la región umbilical, alberga una porción del colon sigmoideo, la vejiga y los uréteres, el útero y los ovarios (en mujeres), así como algunas porciones del intestino delgado.
- Las *fosas iliacas* derecha e izquierda (o regiones inguinales) se localizan a cada lado del hipogastrio; incluyen porciones del intestino grueso y del intestino delgado.
- Los *flancos* (o regiones laterales) derecho e izquierdo se localizan a cada lado de la región umbilical; incluyen porciones del intestino grueso y del intestino delgado, así como partes de los riñones.
- Los *hipocondrios* derecho e izquierdo, que residen a cada lado del epigastrio, contienen el diafragma, porciones de los riñones, la porción derecha del hígado, el bazo y parte del páncreas.

Recuerda que  
cada región tiene  
aporte sanguíneo o  
vascular específico  
o desempeña  
una función  
particular.

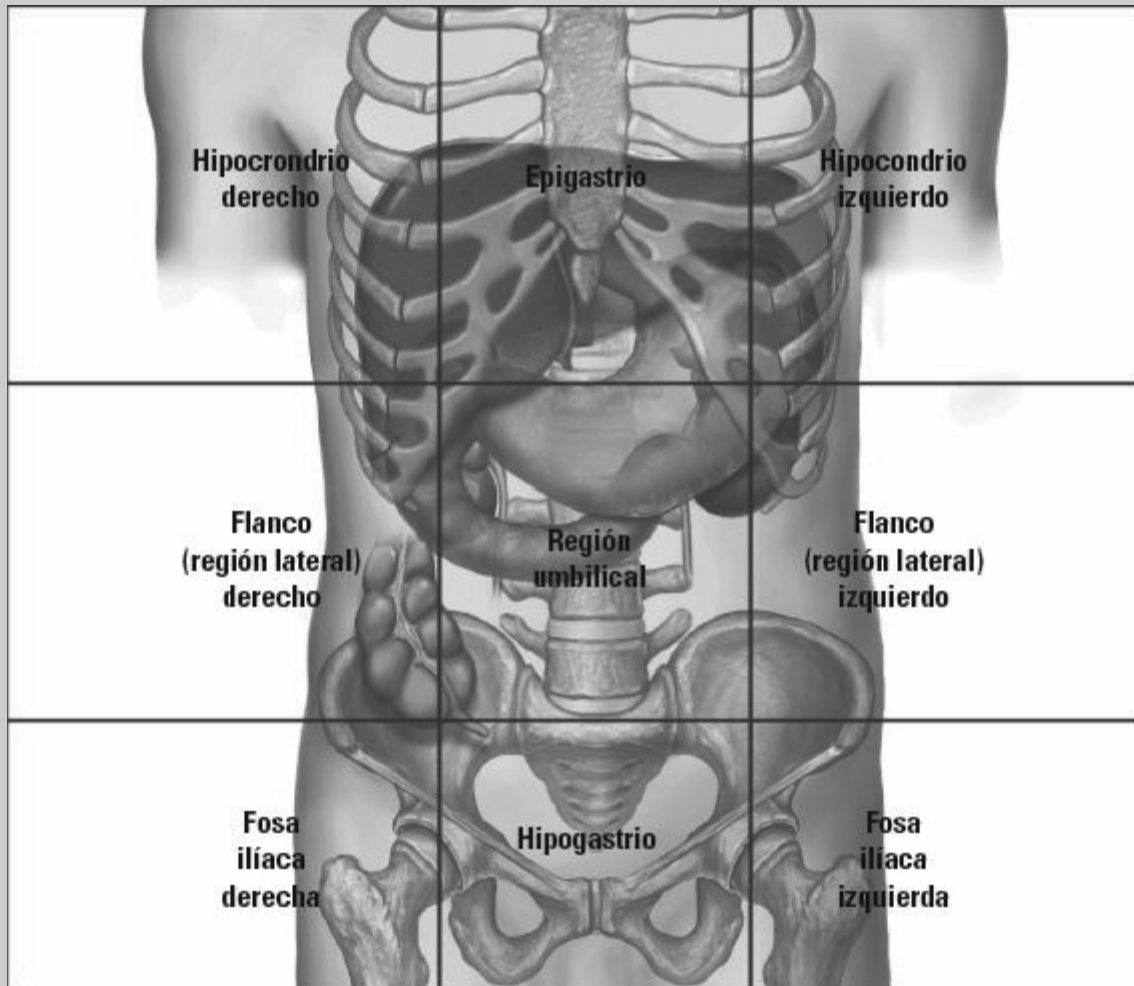




## La máquina perfecta

### Regiones abdominales al descubierto

He aquí una vista anterior de las regiones abdominales.



## Una mirada a la célula

La *célula* conforma a todo el cuerpo y sirve como la unidad básica de la materia viva. Las células humanas varían considerablemente, desde una simple célula epitelial del estrato córneo, hasta la neuronas súper especializadas.



En ocasiones,  
entre más  
sencillo es mejor.  
Entre más simple  
sea, más podré  
regenerarme.

### La mejor regeneración

En general, entre más simple sea la célula, mayor será su capacidad para regenerarse. Por el contrario, entre más especializada sea, su habilidad para regenerarse será menor. Las células que se regeneran con mayor facilidad tienen una vida más corta en comparación con las que cuentan con una menor habilidad regenerativa.

---

## Estructura celular

Existen tres componentes básicos de la célula:

1. Citoplasma
2. Membrana celular
3. Núcleo (véase *Dentro de la célula*)

### Citoplasma

El *citoplasma*, un material translúcido, viscoso y acuoso, es el principal componente de las células animales y vegetales. Contiene un gran porcentaje de agua, iones inorgánicos, como potasio, calcio, magnesio y sodio, además de compuestos orgánicos que se encuentran en la naturaleza, por ejemplo, proteínas, lípidos e hidratos de carbono.

### Recarga de baterías

Los iones inorgánicos dentro del citoplasma se llaman *electrólitos*. Ellos regulan el

equilibrio acidobásico y controlan la cantidad de agua intracelular. Cuando estos iones pierden electrones (partículas diminutas con carga eléctrica negativa), adquieren carga eléctrica positiva, y cuando ganan electrones, adquieren carga eléctrica negativa. Los electrólitos más frecuentes en el cuerpo son sodio ( $\text{Na}^+$ ), potasio ( $\text{K}^+$ ) y cloruro ( $\text{Cl}^-$ ).



Son dos “plasmas”

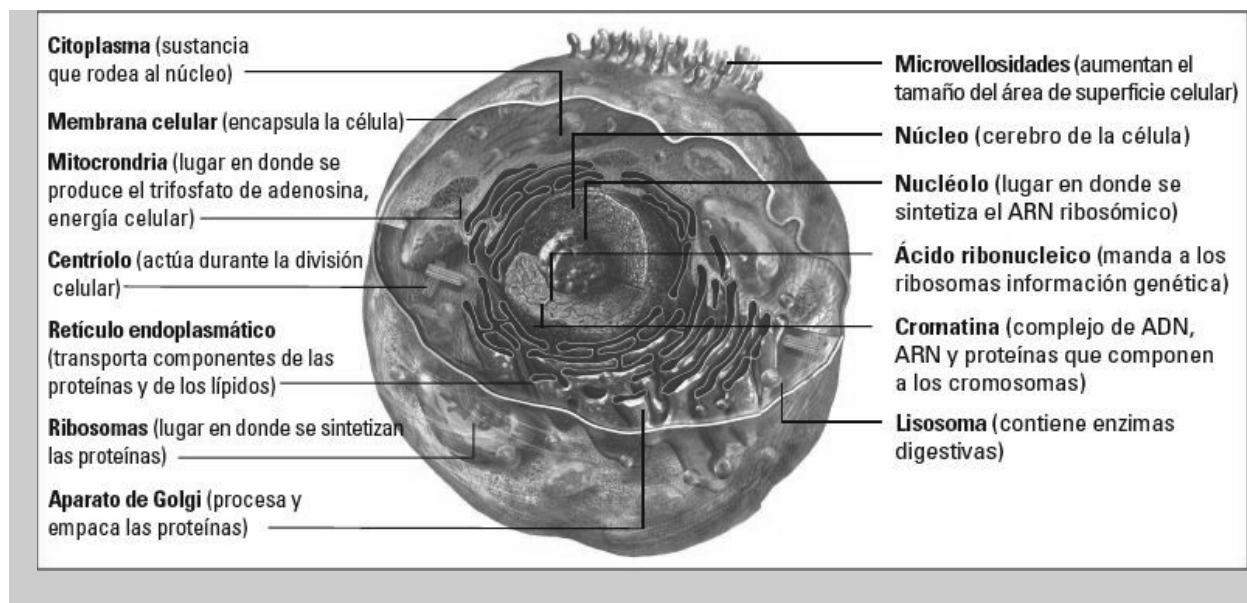
El *nucleoplasma* es el citoplasma dentro del núcleo de la célula; tiene un papel importante en la reproducción celular. El citoplasma es la sustancia que se encuentra en el cuerpo de la célula, alrededor del núcleo. Convierte a las materiales simples en energía. También es el lugar donde ocurren la mayor parte de las reacciones de síntesis. En el citoplasma se encuentran el citosol, los orgánulos y las inclusiones.



## Zoom

### Dentro de la célula

Este corte muestra algunos componentes y estructuras de la célula. Como se había mencionado, cada componente tiene una función en el mantenimiento de la salud de la célula.



## Un mar de citosol

El *citosol* es una sustancia viscosa, semitransparente y fluida compuesta por un 70-90% de agua. Contiene proteínas, sales y azúcares.



## Mucho que metabolizar

Los *orgánulos* son las unidades metabólicas de la célula. Cada orgánulo realiza una tarea específica para mantener la vida celular:

- Las *mitochondrias* son estructuras contenidas en el citoplasma que producen la mayor parte del trifosfato de adenosina en el cuerpo (la enzima que sirve como combustible de muchas reacciones en el organismo).
- Los *ribosomas* son los sitios donde se sintetizan las proteínas.

- El *retículo endoplasmático* es una red extensa de túbulos encapsulados por una membrana. El retículo endoplasmático *rugoso*, cubierto de ribosomas, produce ciertas proteínas. El retículo endoplasmático *liso* contiene enzimas que sintetizan lípidos.
- Cada *aparato de Golgi* sintetiza hidratos de carbono. Estas moléculas se combinan con las proteínas sintetizadas en el retículo endoplasmático rugoso para formar productos que se secretan, como las lipoproteínas.
- Los *lisosomas* son cuerpos digestivos que destruyen material externo o dañado en las células (véase *Lisosomas a la obra*).
- Los *peroxisomas* contienen oxidasas, unas enzimas capaces de reducir el oxígeno a peróxido de hidrógeno y el peróxido de hidrógeno a agua.
- El *citoesqueleto* forma una red de estructuras de proteínas.
- Los *centrosomas* contienen a los centriolos, unos cilindros cortos que se encuentran junto al núcleo y contribuyen a la división celular.

Hay quienes nunca trabajan

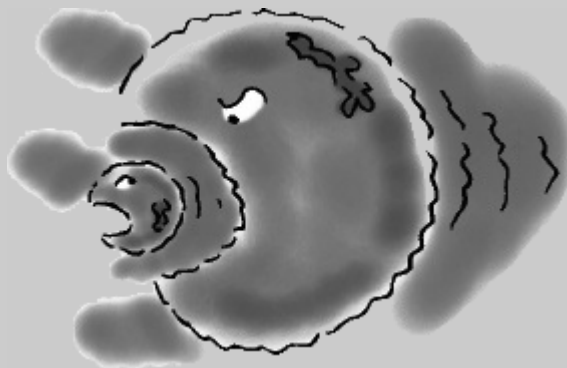
Las *inclusiones* son unidades no funcionales dentro del citoplasma que sólo se encuentran de manera temporal. La *melanina*, un pigmento en las células epiteliales, y el *glucógeno*, un nutriente almacenado en el hígado, son ejemplos de unidades no funcionales.



¡Eureka!

### Lisosomas a la obra

Los *lisosomas* son orgánulos responsables de la digestión dentro de la célula. Los fagocitos ayudan durante este proceso. Así funcionan los lisosomas:



#### Función de los lisosomas

Los lisosomas son cuerpos digestivos que destruyen el material externo o dañado en las células. Cada lisosoma está rodeado por una membrana que separa sus enzimas digestivas del resto de la célula.

#### En partes pequeñas

Las enzimas lisosómicas digieren materia que entra a la célula gracias a los fagocitos, unas células especiales que rodean a los materiales fuera de la célula para después transportarlos al interior a través de la membrana celular. La membrana del lisosoma se une con la membrana de los espacios citoplasmáticos

para rodear el material fagocitado. Esta función permite a las enzimas lisosómicas digerir el material engullido.

## Membrana celular

La *membrana celular* (membrana plasmática) es el portero de la célula. Sirve como límite celular externo y la separa tanto de otras células como del ambiente.

### Punto de control

Nada pasa a través de esta membrana semipermeable sin la autorización del núcleo; consiste en una capa doble de fosfolípidos y proteínas.

## Núcleo

El *núcleo* es el centro de mando de la célula. Actúa durante el crecimiento, metabolismo y reproducción celular.

Un núcleo puede contener uno o más nucléolos, una sustancia que se tiñe de color oscuro y sintetiza *ácido ribonucleico* (ARN). El núcleo también contiene *cromosomas*, que controlan la actividad celular y dirigen la síntesis de proteínas a través de los ribosomas en el citoplasma (para mayor información sobre los cromosomas, véase el capítulo 2, *Genética*).

---

## ADN y ARN

La síntesis de proteínas es indispensable para el desarrollo de tejido nuevo y la reparación del dañado. El *ácido desoxirribonucleico* (ADN) contiene la información genética y provee la información necesaria para la síntesis de proteínas. El ARN transfiere esta información genética a los ribosomas, donde tiene lugar la síntesis de proteínas.





### Tocando todas las bases

La unidad estructural del ADN es el *nucleótido*. Los nucleótidos se componen de un grupo fosfato que se une a un azúcar de cinco carbonos, la *desoxirribosa*, la cual se une a un compuesto que contiene hidrógeno llamado *base*. Existen cuatro tipos diferentes de bases:

1. Adenina (A)
2. Guanina (G)
3. Timina (T)
4. Citosina (C)

### Identificación de anillos

La *adenina* y la *guanina* son compuestos de anillo doble clasificados como *purinas*. La *timina* y la *citosina* son compuestos de anillo sencillo clasificados como *pirimidinas*.

### Unidos por cadenas

Las cadenas de ADN existen en pares gracias a que se unen mediante la atracción química débil entre las bases de nitrógeno y las cadenas adyacentes. Debido a la forma química de las bases, la adenina sólo se enlaza con la timina, y la guanina se une sólo a la citosina. Las bases que se pueden unir entre sí se conocen como *complementarias*.

### Asuntos internos

El ARN está conformado por cadenas de nucleótidos que tienen diferencias mínimas

en comparación con las cadenas de ADN. Hay diferentes tipos de ARN implicados en la transferencia (hacia los ribosomas) de la información genética esencial para la síntesis de proteínas (véase *Tipos de ARN*).



¡Eureka!

## Tipos de ARN

Existen tres tipos de ácido ribonucleico (ARN): ribosómico, mensajero y de transferencia. Cada uno de ellos tiene una función específica.

### ARN ribosómico

El ARN ribosómico es utilizado para construir ribosomas en el retículo endoplasmático del citoplasma, donde la célula produce proteínas.

### ARN mensajero

El ARN mensajero dirige el arreglo de aminoácidos para la creación de proteínas en los ribosomas. Su cadena sencilla de nucleótidos es complementaria al segmento de ácido desoxirribonucleico que contiene instrucciones para la síntesis de proteínas. Su cadena pasa desde el núcleo hasta el citoplasma, donde se une con los ribosomas.

### ARN de transferencia

El ARN de transferencia consiste en una cadena corta de nucleótidos, cada una específica para un aminoácido. El ARN de transferencia transmite el código genético desde el ARN mensajero para la producción de un aminoácido específico.

## Reproducción celular

Las células reciben de manera constante una señal para reproducirse, y es eso o la muerte. La división celular es la manera en la que se reproducen (o replican) las células. Para lograrlo, lo hacen a través de la *mitosis* o *meiosis*.



El ADN también hace lo suyo

Antes de que una célula se divida, sus cromosomas se duplican. En este proceso, la doble hélice se separa en dos cadenas de ADN. Cada una de ellas sirve como plantilla para construir una cadena nueva. Los nucleótidos de ADN se unen para formar nuevas cadenas con bases complementarias a las originales.



## Zoom

### El ADN a detalle

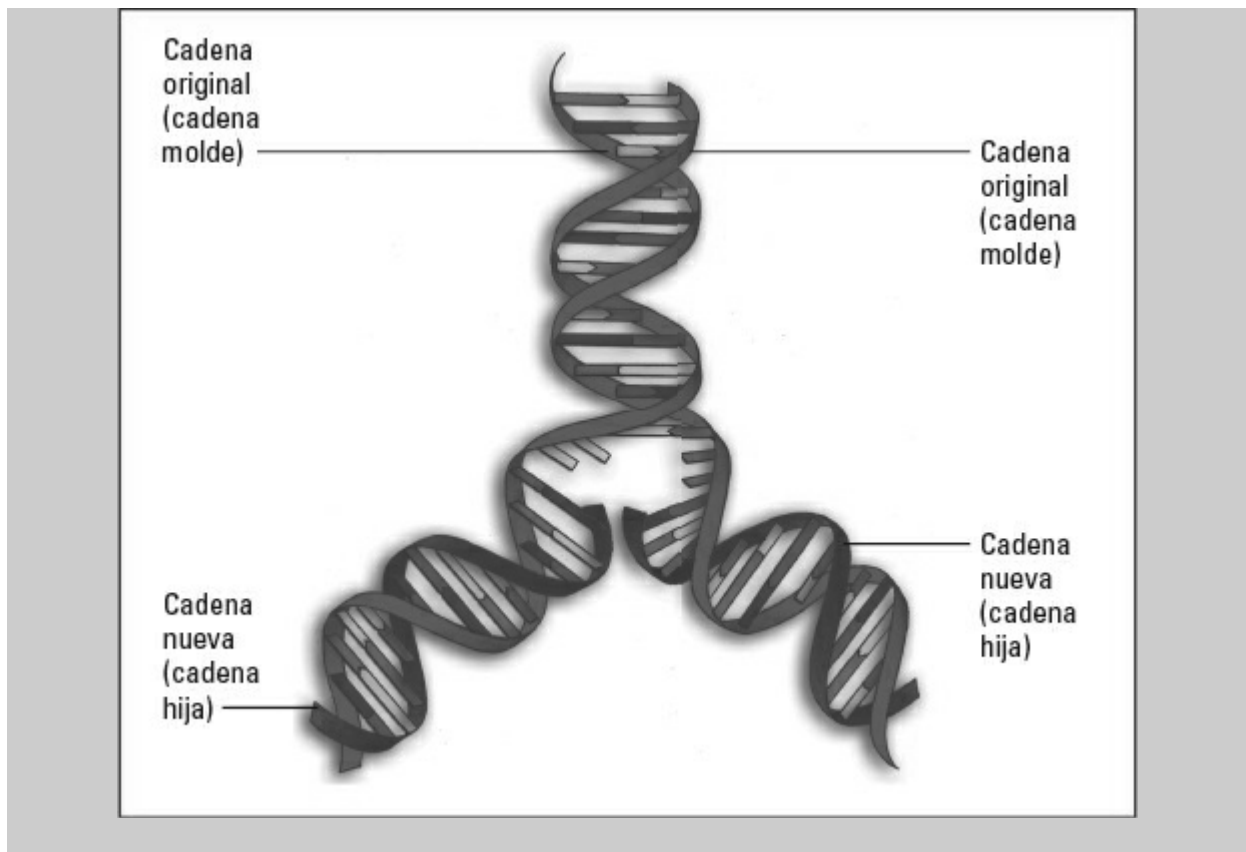
Las cadenas de ácido desoxirribonucleico (ADN) unidas entre sí forman una estructura espiral o *doble hélice*.

#### Una escalera en espiral

Para entender cómo se unen las cadenas de ADN, imagina una escalera en espiral. Los grupos desoxirribosa y fosfato forman el barandal de la escalera, mientras que las bases nitrogenadas (adenina y timina, guanina y citosina) forman los escalones.

#### División celular

Cada cadena sirve como plantilla para construir una nueva cadena. Cuando una célula se divide, los nucleótidos de ADN se unen a nuevas cadenas con bases complementarias a aquellas contenidas en las originales. Así, se forman dos hélices dobles idénticas, cada una con alguna de las cadenas originales y una cadena nueva. Estas hélices dobles son copias de la cadena de ADN original.



## Dos por dos

De esta manera se forman dos hélices dobles idénticas, cada una con alguna de las cadenas originales y una cadena nueva complementaria. Estas hélices dobles son copias de la cadena de ADN original (véase *El ADN a detalle*, p. 11).



---

# Mitosis

La *mitosis* es tanto la división del material del núcleo (*cariocinesis*) como el proceso siguiente, la división del cuerpo celular (*citocinesis*). Es el método de replicación preferido por todas las células en el cuerpo humano, excepto los gametos. La división celular se lleva a cabo en cinco fases, una inactiva llamada *interfase*, y cuatro activas:

1. Profase
2. Metafase
3. Anafase
4. Telofase

Todos tenemos 46

La mitosis resulta en dos células hijas (copias exactas), cada una con 23 pares de cromosomas, o 46 cromosomas individuales. Esto se conoce como número *diploide* (véase *Divide y vencerás: cinco etapas de la mitosis*).

---

# Meiosis

La *meiosis* es llevada a cabo sólo por los gametos (óvulo y espermatozoide). Este proceso mezcla el material genético entre cromosomas homólogos para producir cuatro células hijas, cada una de ellas con *número haploide* de cromosomas, 23, la mitad de 46. La meiosis tiene dos divisiones, separadas por una fase de reposo.

Primera división

La primera división tiene seis fases e inicia con una célula molde. Cuando termina cada división, el resultado es dos células hijas, cada una con un número haploide (23) de cromosomas.



## Para recordar

Para ayudarte a recordar la diferencia entre haploide y diploide, recuerda el prefijo **di-** en diploide.

**Di-** significa **doble**, así que las células diploides tienen el doble de cromosomas que una célula haploide.

División 2: la secuela

La segunda división se compone de cuatro fases similares a las de la mitosis. Inicia con dos células hijas, cada una con número haploide de cromosomas, y termina con cuatro células haploides nuevas. Dentro de cada célula se separan las dos cromátidas para formar nuevas células hijas. Sin embargo, debido a que cada célula que entra en

la segunda división cuenta con únicamente 23 cromosomas, cada célula resultante también tiene 23 cromosomas (véase *Meiosis: paso a paso*, p. 14).



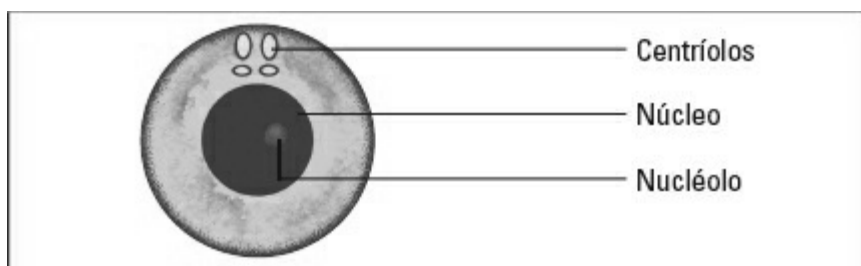
¡Eureka!

## Divide y vencerás: cinco etapas de la mitosis

Mediante el proceso de mitosis, el contenido del núcleo de todas las células del cuerpo, excepto los gametos, se reproduce y divide. El resultado es la formación de dos células hijas, cada una con número diploide (46) de cromosomas.

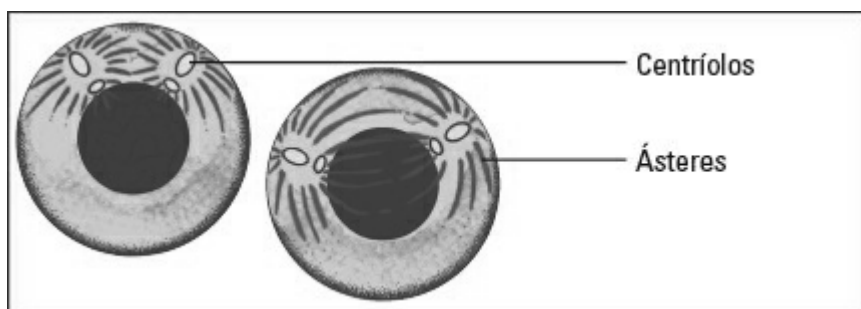
### Interfase

Durante la *interfase*, el núcleo y la membrana nuclear se distinguen de manera clara, por lo que el nucléolo se torna visible. A medida que los cromosomas se duplican, cada uno forma una doble hélice que permanece unida al centro del centrómero.



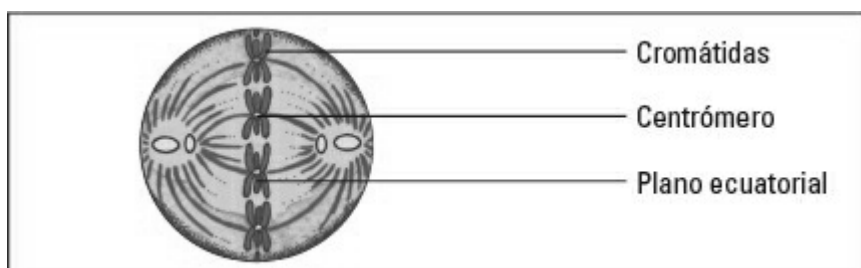
### Profase

En la *profase*, el nucléolo desaparece y se distinguen los cromosomas. Las *cromátidas*, mitades de cada cromosoma duplicado, permanecen unidas mediante el centrómero. Los centriolos se mueven a lados opuestos de la célula y radian ásteres.



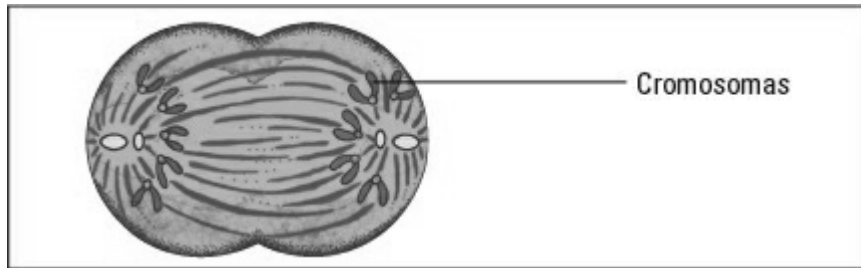
### Metafase

La *metafase* tiene lugar cuando los cromosomas se alinean de manera aleatoria en el centro de la célula, entre los ásteres, a lo largo del *plano ecuatorial*. El centrómero de cada cromosoma se replica.



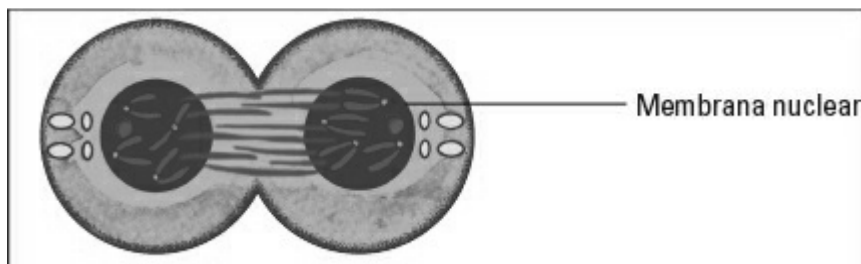
### Anafase

La *anafase* se caracteriza por el movimiento de los centrómeros que tira de las cromátidas, ahora cromosomas, hacia polos opuestos de la célula. El número de cromosomas en cada uno de los polos de la célula es igual al número original.



### Telofase

En la telofase, la etapa final de la mitosis, se forma una membrana nuclear alrededor de cada núcleo y desaparecen los ásteres. El citoplasma se comprime y divide a la célula por la mitad. Cada célula nueva contiene el número diploide de cromosomas.



¡Eureka!

## Meiosis: paso a paso

La meiosis pasa por dos divisiones, separadas por una fase de reposo. Cuando termina cada división, el resultado son dos células hijas, cada una con número haploide (23) de cromosomas. Cuando acaba la segunda división, cada una de las dos células hijas resultantes de la primera división se divide. Como resultado quedan cuatro células hijas, cada una con número haploide de cromosomas.

### Primera división

La primera división tiene seis fases. A continuación, se describe lo que sucede en cada una de ellas.

#### *Interfase*

1. Los cromosomas se duplican y cada uno forma dos cadenas que permanecen unidas al centro del centrómero.
2. Los cromosomas se ven como una matriz indistinguible dentro del núcleo.
3. Los centriolos aparecen fuera del núcleo.

#### *Profase I*

1. El nucléolo y la membrana nuclear desaparecen.
2. Los cromosomas se hacen visibles, con las cromátidas unidas por el centrómero.
3. Los cromosomas homólogos se aproximan y se aparean. Puede ocurrir el intercambio de información genética
4. Los centriolos se separan y aparecen los ásteres.

#### *Metafase I*

1. Los pares de cromosomas sinápticos se alinean de manera aleatoria en el plano ecuatorial.
2. Los ásteres se unen a cada par de cromosomas.

### ***Anafase I***

1. Se separan los pares sinápticos.
2. Los ásteres tiran cromosomas de cadena doble homólogos a polos opuestos de la célula.
3. Las cromátidas permanecen unidas.

### ***Telofase I***

1. Se forma la membrana nuclear.
2. Desaparecen los ásteres y los cromosomas.
3. El citoplasma se comprime y divide a la célula por la mitad.
4. Cada célula nueva contiene el número haploide (23) de cromosomas.

### ***Intecinesis***

1. El núcleo y la membrana nuclear se definen de manera clara.
2. El núcleo es visible y cada cromosoma tiene dos cromátidas que no se duplican.

### **Segunda división**

La segunda división es muy similar a la mitosis, y se caracteriza por estas cuatro fases.

### ***Profase II***

1. Desaparece la membrana nuclear.
2. Se forman los ásteres.
3. Los cromosomas de cadena doble se visualizan como hilos delgados.

### ***Metafase II***

1. Los cromosomas se alinean en el plano ecuatorial.
2. Se duplican los centrómeros.

### ***Anafase II***

1. Se separan las cromátidas (ahora un cromosoma de cadena simple).
2. Los cromosomas se separan entre sí hacia polos opuestos de la célula.

### ***Telofase II***

1. Se forma la membrana nuclear.
2. Los cromosomas y los ásteres desaparecen.
3. El citoplasma se comprime y divide a la célula por la mitad.
4. El resultado son dos células hijas, cada una con número haploide (23) de cromosomas.

## **Generación de energía en la célula**

Toda función celular depende de la generación de energía y el transporte de sustancias dentro y entre células.

## **Energía celular**

El *trifosfato de adenosina* (ATP, de *adenosine triphosphate*) sirve como combustible químico para los procesos celulares. El ATP consiste en un compuesto que contiene nitrógeno (adenina) unido a un azúcar de cinco carbonos (ribosa), que juntos forman adenosina. La adenosina se une a grupos de tres fosfatos (trifosfato). Los enlaces químicos entre el primero y segundo grupo de fosfatos y entre el segundo y tercer



grupo contienen energía abundante.

### Las tres R

El ATP necesita convertirse en *difosfato de adenosina* (ADP, de *adenosine diphosphate*) para producir energía. A fin de entender esta transformación, es necesario recordar las tres R:

- *Rotura*: el ATP se convierte en ADP cuando se rompe el enlace terminal de alta energía entre fosfatos.
- *Liberación (release)*: debido a que se desprende el tercer fosfato, se libera la energía contenida en el enlace químico.
- *Reciclaje*: las enzimas mitocondriales convierten el ADP y el fosfato que se ha liberado en ATP. Con el propósito de obtener la energía necesaria para esta unión, la mitocondria oxida los nutrientes de la comida. Lo anterior hace que el ATP vuelva a estar disponible para la producción de energía.

---

## Movimientos dentro de la célula

Cada célula interactúa con los líquidos corporales mediante el intercambio de sustancias.

### Métodos de transporte

Distintos métodos de transporte, como la *difusión*, *ósmosis*, *transporte activo* y *endocitosis*, mueven sustancias entre las células y los líquidos corporales. Gracias a otro método, la *filtración*, los líquidos y sustancias disueltas son transferidos a través de los capilares hacia el *líquido intersticial* (líquidos en los espacios entre células y tejidos).

## Difusión

En la *difusión*, los solutos se mueven desde un área de mayor concentración hacia una de menor concentración. En cierto punto se llega a una distribución de solutos equilibrada entre las dos áreas.



### Sigue la corriente

La difusión es una forma de transporte pasivo que no requiere energía para que suceda, simplemente ocurre. Es como cuando un pez sigue la corriente: sólo sigue la marea (véase *Comprender el transporte pasivo*).

### Todo lo que sube tiene que bajar

Hay varios factores que modifican la velocidad de difusión:

- *Gradiente de concentración*: entre mayor sea el gradiente de concentración (la diferencia de concentración de una partícula a cada lado de la membrana celular), más rápida será la velocidad de difusión.



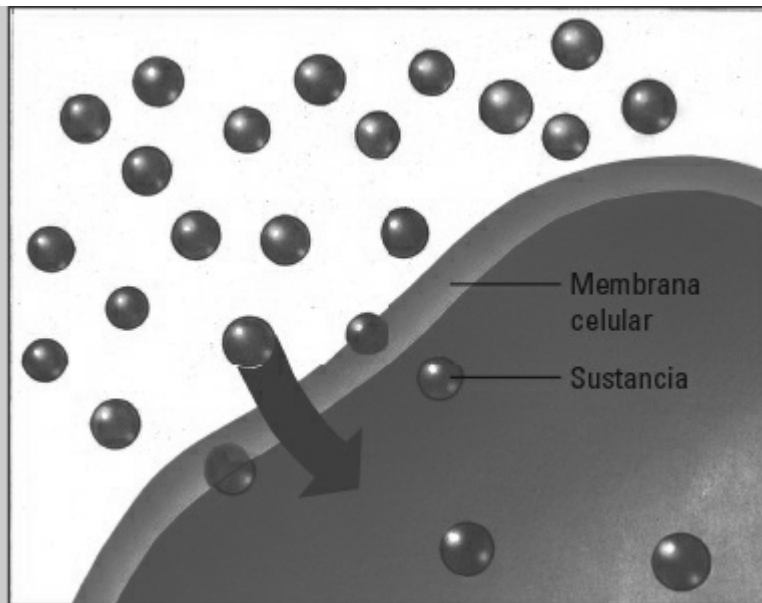
**¡Eureka!**

## Comprender el transporte pasivo

No se necesita energía para el transporte pasivo, y ocurre mediante dos mecanismos: difusión y ósmosis.

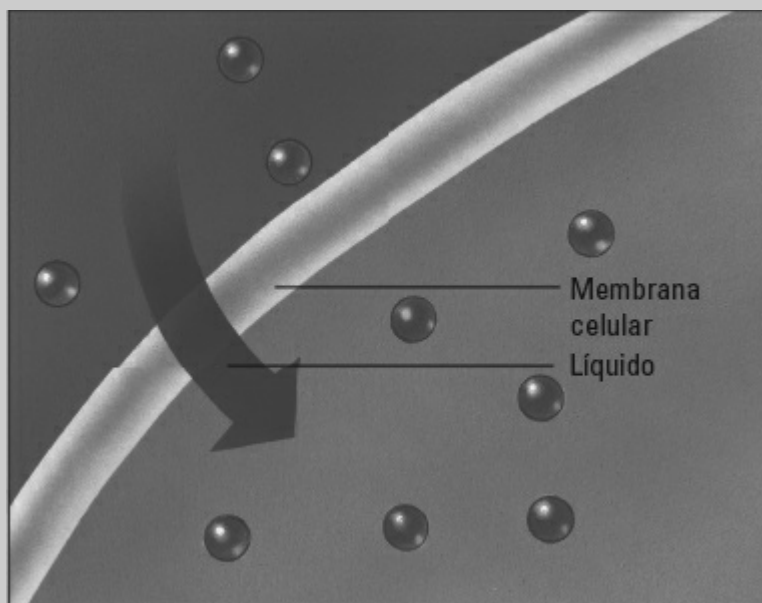
### Difusión

En la difusión, los solutos se mueven desde un área de mayor concentración hacia una de menor concentración. El movimiento continúa hasta que la distribución es uniforme.



### Ósmosis

En la ósmosis, los líquidos se mueven desde un área de mayor concentración hacia una de menor concentración.



- *Tamaño de la partícula:* entre menor tamaño tenga la partícula, la difusión será más rápida.
- *Solubilidad de lípidos:* entre más solubles sean las partículas de lípidos, se transferirán de manera más rápida a través de las capas de lípidos de la membrana celular.

Hay varios factores que influyen en la velocidad de difusión: el gradiente de concentración, tamaño de la partícula y solubilidad de los lípidos.



## Ósmosis

La *ósmosis* es el transporte pasivo de líquidos a través de una membrana desde un área con concentración menor de solutos (con relativamente *más* líquido) a una con mayor concentración de solutos (con relativamente *menos* líquido).

¡Suficiente!

La ósmosis se detiene cuando se ha movido suficiente líquido a través de la membrana para nivelar las concentraciones de solutos a ambos lados de la membrana.

## Transporte activo

El *transporte activo* requiere energía. De manera habitual, este mecanismo mueve una sustancia a través de la membrana celular en contra del gradiente de concentración, desde un área de menor concentración a una de mayor concentración. El transporte activo es como nadar en contra de la corriente. Cuando un pez nada en contra de la corriente, necesita utilizar energía.



### El ATP de nuevo

La energía necesaria para que un soluto se mueva en contra del gradiente de concentración viene del ATP, el cual se almacena en las células y provee energía para el movimiento de solutos entre el interior y el exterior de las células (véase *Comprender el transporte activo*, p. 18).

### Funciona para ambos lados

Sin embargo, el transporte activo también puede mover una sustancia en dirección del gradiente de concentración. Durante este proceso, una molécula portadora en la membrana celular se combina con una sustancia y la transporta a través de la membrana para depositarla en el lado contrario.

## Endocitosis

La *endocitosis* es un método de transporte activo en el que, en lugar de pasar a través de la membrana celular, la célula engulle una sustancia. La célula rodea la sustancia con parte de la membrana celular. Esta parte se separa para formar una vacuola (cavidad) que se mueve al interior de la célula.



**¡Eureka!**

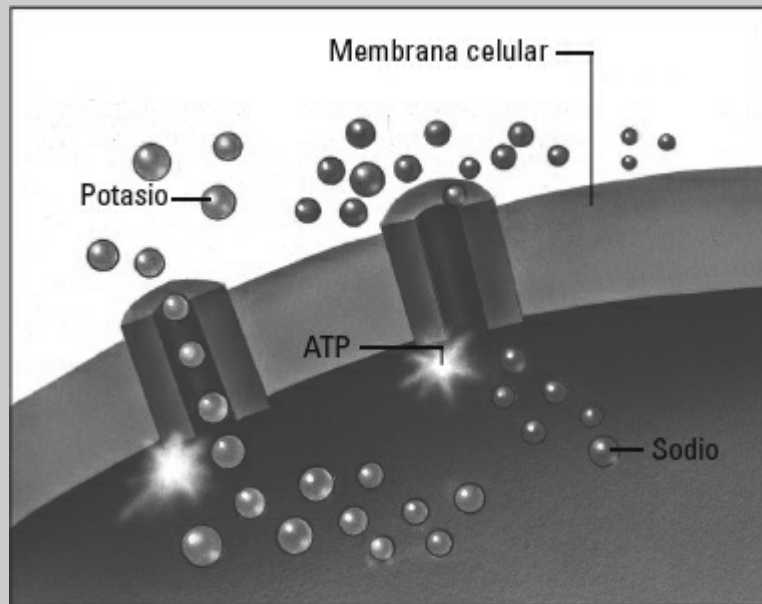
### Comprender el transporte activo

El transporte activo mueve moléculas e iones en contra del gradiente de concentración desde un área de menor concentración hacia un área de mayor concentración. Este movimiento necesita energía que por lo general está en forma de ATP. La bomba de sodio y potasio y la pinocitosis son ejemplos de mecanismos

de transporte activo.

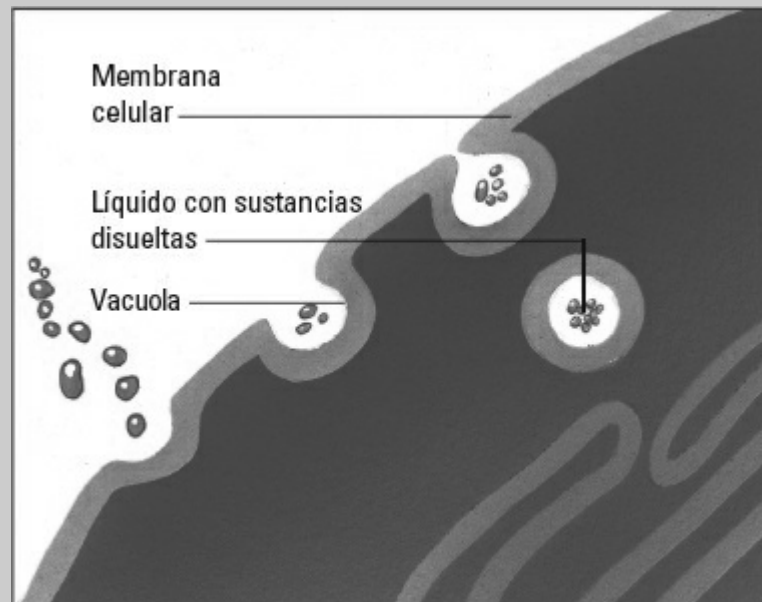
### Bomba de sodio y potasio

La bomba de sodio y potasio transporta sodio desde el interior de la célula hacia el exterior de ella, donde la concentración de sodio es mayor, mientras que el potasio se mueve desde el exterior hacia el interior, donde la concentración de éste es mayor.



### Pinocitosis

En la pinocitosis, pequeñas vacuolas toman gotas de líquidos que contienen sustancias disueltas y las introducen en la célula. El líquido engullido se utiliza en la célula.



### A devorar partículas

La endocitosis implica ya sea a la fagocitosis o a la pinocitosis. *Fagocitosis* es cuando se engullen e ingieren partículas que son muy grandes para pasar por la membrana celular, mientras que la *pinocitosis* sucede solamente para engullir sustancias disueltas o pequeñas partículas suspendidas en líquido.

## Filtración

Los líquidos y sustancias disueltas también se mueven a través de la membrana celular mediante *filtración*.

### Ceder a la presión

En la filtración, la presión que viene de la sangre capilar se ejerce sobre una solución a un lado de la membrana celular. La presión fuerza al líquido y a las partículas disueltas a pasar a través de la membrana. La tasa de filtración (qué tan rápido pasan las sustancias a través de la membrana) depende de la cantidad de presión. La filtración facilita la transferencia de líquidos y materiales disueltos desde la sangre, a través de los capilares, hasta el líquido intersticial.



## Una mirada al tejido humano

Los *tejidos* son grupos de células que realizan la misma función general. El cuerpo humano contiene cuatro tipos básicos: *epitelial*, *conectivo*, *muscular* y *nervioso*.

### Tejido epitelial

El *tejido epitelial* (epitelio) es una lámina continua de células que cubre la superficie del cuerpo, reviste cavidades y compone ciertas glándulas. Imagina a una momia envuelta en tiras de tela, y tendrás una idea de cómo el tejido epitelial recubre al cuerpo (véase *Distinguir los diferentes tipos de tejido epitelial* p. 20).

## Cuidado con los bordes

Algunas células cilíndricas del epitelio intestinal tienen estriaciones verticales que forman un borde estriado. En los túbulos de los riñones, los bordes de las células epiteliales cilíndricas tienen pequeñas estructuras en forma de cepillo (microvellosidades) que reciben el nombre de *bordes en cepillo*.

## El cepillo no es sólo para verse bien

Dos tipos de células habituales que forman el tejido epitelial son las células epiteliales con *estereocilios* y las *ciliadas*. Las primeras recubren el epidídimo y tienen protuberancias largas y piriformes (en forma de pera). El segundo tipo tiene *cilios*, protuberancias similares a cabellos. Los cilios son más largos que las microvellosidades y mueven líquidos y partículas a través de las cavidades de un órgano.

## Endotelio

Cuando el tejido epitelial tiene una sola capa de células planas unidas a la membrana basal, recibe el nombre de *endotelio*. Este tipo de tejido reviste el corazón y los vasos linfáticos y sanguíneos.



### Zoom

#### Distinguir los diferentes tipos de tejido epitelial

El tejido epitelial (epitelio) se clasifica de acuerdo con el número de capas de células y la forma de las células en la superficie. Algunos tipos de epitelio sufren un proceso de descamación (eliminación de desechos) y se regeneran de manera continua mediante la transformación de células de capas más profundas.

##### Identificación mediante el número de capas de células

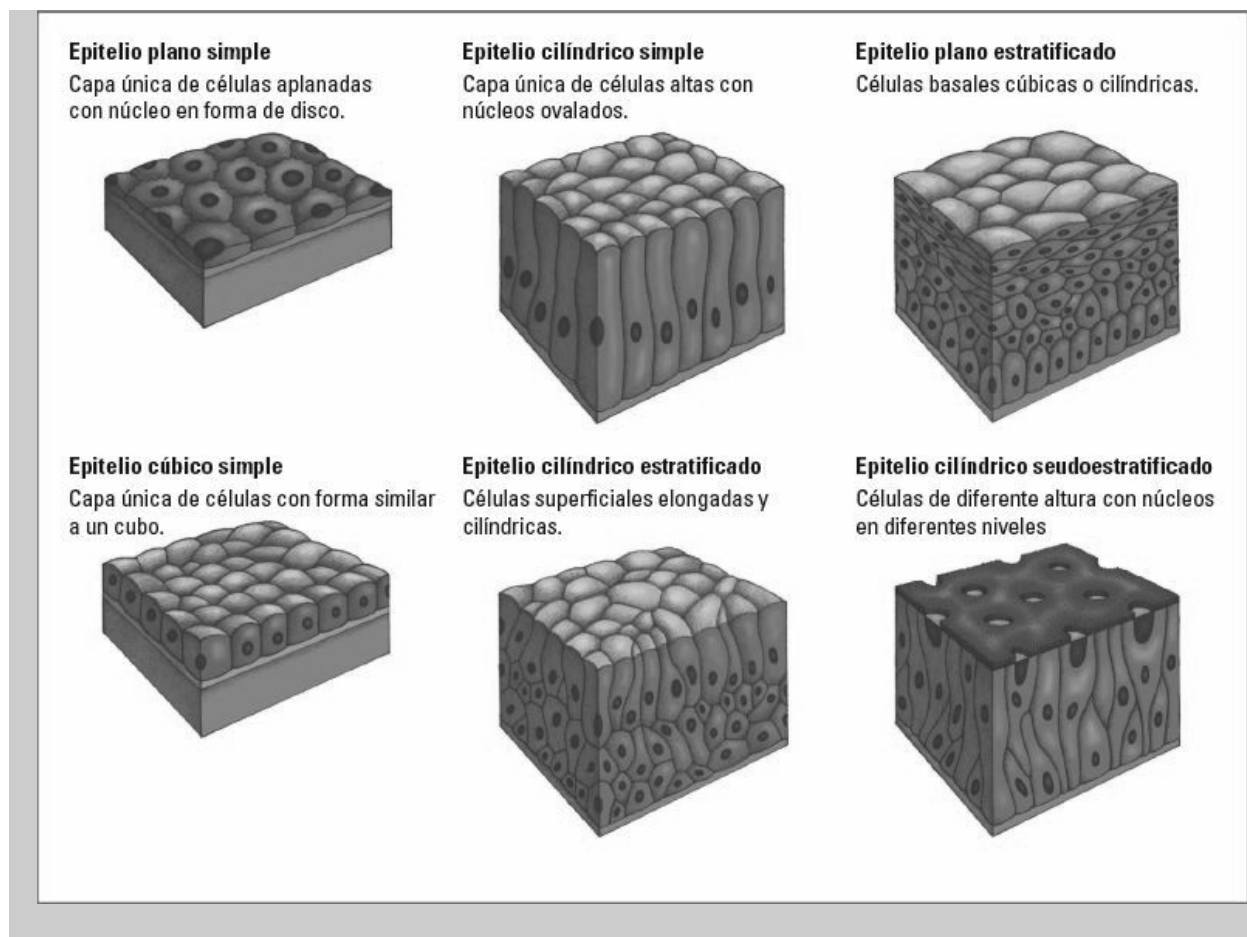
De acuerdo con el número de células, el epitelio puede ser *simple* (una capa), *estratificado* (varias capas) o *seudoestratificado* (una capa que aparenta ser más de una).

##### Clasificación mediante la forma

Si se clasifica por la forma, el epitelio puede ser *plano* o *escamoso* (con células planas en la superficie), *cilíndrico* o *columnar* (con células cilíndricas en la superficie) o cúbico (con células cúbicas en la superficie).

La ilustración de arriba a la izquierda muestra cómo la membrana basal de epitelio plano simple une al epitelio con los tejidos conectivos que se encuentran debajo. Las demás ilustraciones muestran los otros cinco tipos de tejido epitelial.





## Epitelio glandular

Los órganos que producen secreciones se componen de un tipo especial de epitelio llamado *epitelio glandular*.

El secreto es cómo secreta

Las glándulas se clasifican como endocrinas o exocrinas de acuerdo con cómo secretan sus productos:

- Las *glándulas endocrinas* liberan sus secreciones a la sangre o la linfa. Por ejemplo, la médula de las glándulas suprarrenales secreta adrenalina y noradrenalina al torrente sanguíneo.
- Las *glándulas exocrinas* liberan sus secreciones en conductos que se dirigen a superficies externas o internas. Por ejemplo, las glándulas sudoríparas secretan sudor en la superficie de la piel.

Se pueden mezclar

Las *glándulas mixtas* contienen células tanto endocrinas como exocrinas. El páncreas es una glándula mixta. Como glándula endocrina produce insulina y glucagón, y como glándula exocrina entrega jugo pancreático a los intestinos.

---

# Tejido conectivo

El tejido conectivo, una categoría que incluye hueso, cartílago y tejido adiposo (graso), une y sirve de soporte para estructuras del cuerpo. El tejido conectivo se clasifica como *laxo* o *denso*.

Déjalo suelto

El *tejido conectivo laxo (areolar)* tiene espacios grandes que separan las fibras y las células. Contiene gran cantidad de líquido intercelular.



Problemas densos de tejido

El *tejido conectivo denso* provee soporte estructural y tiene mayor concentración de fibras. El tejido conectivo denso se clasifica en regular e irregular:

- El *tejido conectivo denso regular* consiste en fibras compactadas en un patrón regular. Incluye a los tendones, ligamentos y aponeurosis (láminas fibrosas planas que unen músculos a los huesos u otros tejidos).
- El *tejido conectivo denso irregular* tiene fibras compactadas en un patrón irregular. Se encuentra en la dermis, submucosa del tubo digestivo, cápsulas fibrosas y fascias.

Goloso y adiposo

Llamado con frecuencia *grasa*, el *tejido adiposo* es un tipo especializado de tejido conectivo laxo en el que una gota de lípidos (grasas) ocupa la mayor parte de la célula. Se distribuye ampliamente de manera subcutánea, sirve como aislamiento para

conservar calor corporal y para amortiguar órganos internos, como almacenamiento de exceso de comida y guarda provisiones de energía. El tejido adiposo también funciona como tejido endocrino, pues produce la hormona que suprime el apetito, la leptina.



---

## Tejido muscular

El *tejido muscular* consiste en células musculares con aporte sanguíneo abundante. Las células musculares miden hasta varios centímetros de largo y tienen forma elongada que beneficia su *contractilidad* (habilidad para contraerse).

No todos los músculos son iguales

Existen tres tipos básicos de tejido muscular:

1. *Tejido muscular estriado*, cuyo nombre deriva de su apariencia rayada o estriada. Se contrae de manera voluntaria.
2. *Tejido muscular cardíaco*, que se clasifica en ocasiones como estriado debido a que también se compone de este tipo de tejido. Sin embargo, difiere de otros tejidos musculares estriados de dos modos: sus fibras son unidades celulares separadas que no contienen muchos núcleos y se contrae de manera involuntaria.
3. *Tejido muscular liso*, que consiste en células largas en forma de huso y no tiene el patrón de estrías que se observa en el tejido estriado. Su actividad es estimulada por el sistema nervioso autónomo, por lo que no se encuentra bajo control voluntario.

## El tapiz del cuerpo

El tejido muscular liso recubre las paredes de muchos órganos internos y otras estructuras, como las vías respiratorias, desde la tráquea hasta los conductos alveolares, las arterias y venas, los conductos linfáticos más grandes, los intestinos, los músculos erectores del pelo, el iris y el cuerpo ciliar del ojo.

---

## Tejido nervioso

La principal función del *tejido nervioso* es la comunicación. Sus propiedades primarias son la *irritabilidad* o *excitabilidad* (la capacidad para reaccionar a diferentes agentes físicos y químicos) y la *conductividad* (capacidad para transmitir la reacción resultante de un punto a otro).



### Especialistas del tejido nervioso

Las *neuronas* son células altamente especializadas que generan y conducen impulsos nerviosos. Una neurona característica consiste en un cuerpo celular con extensiones citoplasmáticas (varias dendritas en un polo y un solo axón en el polo opuesto). Estas extensiones permiten que la neurona conduzca impulsos a través de distancias largas.

### Las neuronas necesitan protección

La *neuroglía* forma la estructura de soporte del tejido nervioso, que aísla y protege a las neuronas. Estas células se encuentran sólo en el sistema nervioso central.



## Preguntas de autoevaluación

1. El plano anatómico que divide al cuerpo de manera longitudinal en regiones derecha e izquierda es el:  
A. Plano coronal

- B. Plano sagital
- C. Plano transverso
- D. Plano oblicuo

**Respuesta:** B. Los *planos anatómicos* son líneas imaginarias utilizadas para dividir al cuerpo y sus órganos. El plano sagital es el que divide el cuerpo de manera longitudinal en regiones derecha e izquierda.

2. La estructura con el papel más importante en la función celular es:

- A. El núcleo
- B. El aparato de Golgi
- C. El ribosoma
- D. La mitocondria

**Respuesta:** A. El núcleo, que actúa como centro de mando de la célula, tiene un papel importante en el crecimiento, el metabolismo y la reproducción celular.

3. El cuerpo humano tiene cuatro tipos básicos de tejido:

- A. Muscular, cartilaginoso, glandular y conectivo
- B. Hueso, cartílago, glándulas y tejido adiposo
- C. Tejido conectivo denso, denso regular y denso irregular
- D. Epitelial, conectivo, muscular y nervioso

**Respuesta:** D. Los tejidos son grupos de células que realizan la misma función general. El cuerpo humano tiene cuatro tipos básicos: epitelial, conectivo, muscular y nervioso.

4. La meiosis termina cuando:

- A. Se forman dos células hijas nuevas, cada una con número haploide de cromosomas
- B. Se forma una célula hija y ésta es una copia exacta de la original
- C. Se forman cuatro células hijas nuevas, cada una con número haploide de cromosomas
- D. Se forman cuatro células hijas nuevas, cada una con número diploide de cromosomas

**Respuesta:** C. La meiosis termina al final de la telofase II. El resultado son cuatro células hijas, cada una con número haploide (23) de cromosomas.

---

## Puntuación

- ☆☆☆ Si contestaste las cuatro preguntas correctamente, ¡fantástico! Estás en medio de un asombroso viaje a través del cuerpo humano.
- ☆☆ Si contestaste tres preguntas de manera correcta, ¡muy bien! Tu camino será fácil. Pronto conocerás el cuerpo por dentro y por fuera.
- ☆ Si contestaste menos de tres preguntas de manera correcta, ¡anímate, viajero. Con muchas más evaluaciones por delante, conquistarás toda esta información en poco tiempo.

---

## Bibliografía

- Hall, J. (2015). *Guyton and Hall textbook of medical physiology* (13th ed.). Philadelphia, PA: Elsevier.
- Saladin, K. (2014). *Anatomy & physiology: The unity of form and function* (7th ed.). New York, NY: McGraw Hill.

# Capítulo 2

## Genética

### Objetivos



En este capítulo aprenderás:

- ◆ La manera en la que se transmiten los rasgos genéticos
- ◆ El papel de los cromosomas y genes en la herencia
- ◆ Factores que afectan la predominancia de rasgos genéticos
- ◆ Las causas de los defectos genéticos

Tus genes determinan cómo te ves, cómo funciona tu cuerpo e incluso si eres propenso a ciertas enfermedades.



## Una mirada a la genética

La *genética* es el estudio de la herencia, el paso de rasgos genéticos de los padres a sus hijos. Las personas heredan no sólo rasgos físicos, como el color de los ojos, sino también rasgos bioquímicos y fisiológicos, que incluyen la tendencia a desarrollar ciertas enfermedades o trastornos. La información genética es almacenada en genes que están unidos a la doble hélice del ácido desoxirribonucleico (ADN) para formar cromosomas.

### Herencia familiar

Los padres *transmiten* rasgos genéticos a su descendencia en las células germinales o *gametos*. Existen dos tipos de gametos humanos: óvulo y espermatozoide.

---

## Cromosomas

El núcleo de cada célula germinal contiene estructuras llamadas *cromosomas*. Cada cromosoma contiene una cadena de material genético llamada *ADN*. El ADN es una molécula larga compuesta por miles de segmentos denominados *genes*. Estos genes contienen el código para las proteínas que influyen en cada rasgo que hereda una persona, desde el tipo de sangre hasta la forma del dedo del pie. Los cromosomas

existen en pares, excepto en las células germinales.

### A contar cromosomas

Un óvulo humano contiene 23 cromosomas, al igual que un espermatozoide, cada uno similar en tamaño y forma a los cromosomas en el óvulo. Cuando se unen un óvulo y un espermatozoide, se emparejan los cromosomas correspondientes. El resultado es una célula fecundada con 46 cromosomas (23 pares) en su núcleo.

### Generación XX (o XY)

De los 23 pares de cromosomas en cada célula humana viviente, los dos cromosomas sexuales del par 23 determinan el sexo de una persona. Los otros 22 pares se llaman *autosomas*.

En una mujer, los dos cromosomas sexuales son relativamente grandes y cada uno de ellos se designa con la letra X. En el hombre, un cromosoma sexual es X y el otro es un cromosoma más pequeño designado con la letra Y.

Cada gameto producido por un hombre contiene ya sea un cromosoma X o uno Y, mientras que los producidos por la mujer contienen un cromosoma X. Cuando un espermatozoide con cromosoma X fecunda a un óvulo, la descendencia es mujer (dos cromosomas X). En cambio, cuando un espermatozoide con cromosoma Y fecunda a un óvulo, la descendencia es hombre (un cromosoma X y uno Y).

### Dividiendo el tesoro familiar

Los óvulos y espermatozoides se forman a través de la división celular conocida como *meiosis*. En la meiosis, se divide cada uno de los 23 pares de cromosomas en una célula. Después, la célula se divide y cada célula nueva (un óvulo o un espermatozoide) recibe un conjunto de 23 cromosomas (para más información sobre la meiosis, véase el capítulo 1, p. 14, *El cuerpo humano*).

---

## Genes

Los *genes* son segmentos de una cadena de ADN organizados en secuencia dentro de un cromosoma. Esta secuencia determina las propiedades de un organismo.

### Locus pocus

La ubicación de un gen específico en un cromosoma se llama *locus*. El locus de cada gen es específico y no varía de persona a persona. Lo anterior permite que cada uno de los miles de genes en un óvulo se unan a los genes correspondientes de un espermatozoide cuando los cromosomas se emparejan durante la fecundación.

### ¿Cómo me veo?

La información genética de un gen almacenada en un locus determina la constitución genética, o *genotipo*, de una persona. La manifestación observable en el exterior de un genotipo se conoce como *fenotipo*.



## El genoma en un vistazo

El genoma humano está hecho de una larga serie de moléculas de ácido desoxirribonucleico (ADN), una por cada cromosoma. El ADN tiene cuatro “ladrillos” químicos denominados *bases*. Cada genoma humano contiene cerca de 3 mil millones de estas bases acomodadas en un orden que es único para cada persona. Para incrementar su complejidad, se encuentran más de 30 000 genes alineados a lo largo del ADN.

Considera su tamaño: si la secuencia de ADN se recolectara en libros, se necesitaría el equivalente a 200 volúmenes de directorios telefónicos de Manhattan (1 000 páginas cada uno) para almacenarlo completamente.



## El genoma humano

El *genoma* es un conjunto completo de cromosomas que contiene toda la información genética de una persona (véase *El genoma en un vistazo*).

¿Dónde están los genes?

Durante varios años, los científicos estudiaron de manera intensa el genoma humano para determinar la secuencia completa de cada molécula de ADN, así como la ubicación e identidad de todos los genes. El proyecto se completó con éxito en abril de 2003.



### Encuentren al culpable

La secuenciación de la información genética permite al personal médico identificar las causas de la enfermedad, en lugar de sólo tratar los síntomas. Otros beneficios incluyen el desarrollo futuro de pruebas de diagnóstico más específicas y la creación de nuevos tratamientos y métodos para evitar situaciones que desencadenan una enfermedad.

Además, el personal médico ya puede detectar en los pacientes un error génico presente en una de cada 500 personas que indica riesgo aumentado de desarrollar cáncer de colon. De manera similar, los individuos que tienen antecedentes personales o familiares de cáncer de mama u ovario pueden ser estudiados para detectar predisposición genética a esas enfermedades. Otros investigadores se encuentran buscando genes asociados con decenas de otras enfermedades que incluyen enfermedades crónicas como asma y diabetes.

## Predominio de rasgos hereditarios

Cada progenitor contribuye con un conjunto de cromosomas (y un conjunto de genes) a su descendencia. Por ello, cada descendiente tiene dos genes para cada locus (ubicación dentro del cromosoma) en sus cromosomas autosómicos.

### La variación es lo que condimenta la vida

Algunas características, o *rasgos*, son determinadas por un gen que puede tener muchas variantes. Las variaciones del mismo gen se llaman *alelos*. Una persona que tiene alelos idénticos en cada cromosoma es un *homocigoto* para ese rasgo. Si los alelos son diferentes, se dice que son *heterocigotos*. Otros rasgos, denominados *poligénicos*, requieren la interacción de más de un gen.

## Herencia autosómica

En los cromosomas autosómicos, un alelo puede ejercer mayor influencia en la determinación de un rasgo específico, el cual se llama el *gen dominante*. El alelo con menor influencia es conocido como *gen recesivo*. La descendencia expresa el rasgo de un alelo dominante, ya sea si ambos o sólo un cromosoma en un par lo contiene. Para que un alelo recesivo se exprese, es necesario que ambos cromosomas contengan la versión recesiva del alelo (véase *Cómo se expresan los genes*).



¡Eureka!

### Cómo se expresan los genes

Los genes son responsables de los rasgos heredados. La *expresión génica* se refiere al efecto que tiene un gen en la estructura o función celular. Sin embargo, el efecto varía de acuerdo con el gen.

#### Genes dominantes

Si los genes pudieran hablar, los genes dominantes serían escandalosos, habladores y demandantes en cada conversación. Los genes dominantes (como el del cabello oscuro) pueden expresarse y transmitirse a la descendencia incluso si sólo uno de los padres posee el gen.

#### Genes recesivos

A diferencia de los genes dominantes, los recesivos prefieren esconderse detrás de la cortina. Un gen recesivo (como el del cabello claro) se expresa sólo cuando ambos padres lo transmiten a su descendencia.

#### Genes codominantes

Creyentes de la igualdad, los genes codominantes (como los genes que dirigen tipos específicos de síntesis de hemoglobina en los eritrocitos) permiten la expresión de ambos alelos.

#### Genes ligados al sexo

Los genes ligados al sexo se encuentran en los cromosomas sexuales. Casi todos ellos se hallan en el cromosoma X y son recesivos. En el hombre, los genes ligados al sexo se comportan como genes dominantes debido a que no existe un segundo cromosoma X.

## Herencia ligada al sexo

Los cromosomas sexuales son el X y el Y. El cromosoma X es mucho más grande que el cromosoma Y; por lo tanto, los hombres (quienes poseen cromosomas XY) tienen menos material genético que las mujeres (quienes poseen cromosomas XX), lo que significa que sólo cuentan con una copia de la mayoría de los genes en el cromosoma X. La herencia de esos genes se llama *herencia ligada a X* o *herencia ligada al sexo*.

### No hay X para todos

Una mujer transmite una copia de cada uno de sus genes ligados a X a cada uno de sus hijos, ya sean hombres o mujeres. Debido a que un hombre sólo transmite un cromosoma X a sus hijas (los hijos varones reciben un cromosoma Y), él transmite genes ligados a X únicamente a sus hijas, nunca a sus hijos.



## Herencia multifactorial

La *herencia multifactorial* refleja la interacción de al menos dos genes y la influencia de factores ambientales.

### Aumentan las expectativas

La estatura es un ejemplo clásico de un rasgo multifactorial. De manera general, la estatura de la descendencia alcanza un punto máximo entre la talla de ambos padres. Sin embargo, los hábitos nutricionales, cuidados de salud y otros factores ambientales también influyen en el desarrollo de estos rasgos, como la estatura. Un niño mejor nutrido, más sano, de dos padres de talla menor, puede ser más alto que cualquiera de los dos.

### Todo se junta al final

Algunas enfermedades también tienen predisposición genética mediante herencia multifactorial, lo cual significa que el gen que causa una enfermedad puede expresarse sólo bajo ciertas condiciones ambientales.

Los factores que pueden contribuir a la herencia multifactorial incluyen:

- Uso de drogas, alcohol u hormonas por cualquiera de los padres

- Hábito tabáquico materno
- Exposición materna o paterna a radiación
- Infecciones en la madre durante el embarazo
- Enfermedades preexistentes en la madre
- Factores nutricionales
- Salud de la madre y el padre
- Incompatibilidad sanguínea materno fetal
- Mal cuidado en el período prenatal

## Defectos genéticos

Los *defectos genéticos* son aquellos que son consecuencia de alteraciones en los genes o cromosomas. Se clasifican en trastornos autosómicos, ligados al sexo o multifactoriales. Algunos defectos surgen de manera espontánea, mientras que otros pueden ser causados por teratógenos ambientales. Los *teratógenos* son agentes ambientales (como infecciones, toxinas, enfermedades maternas, fármacos, sustancias químicas y agentes físicos) que pueden causar defectos estructurales o funcionales en el feto en desarrollo. También pueden causar aborto espontáneo, complicaciones durante el parto, defectos ocultos en etapas posteriores del desarrollo (como problemas cognitivos o de conducta), además de tumores benignos o malignos.

### Cambio de planes permanente

Un cambio permanente en el material genético se conoce como *mutación*. Las mutaciones pueden ser el resultado de la exposición a la radiación, algunas sustancias químicas o virus. También pueden ocurrir de manera espontánea y presentarse en cualquier parte del genoma.

Toda célula tiene defensas en contra del daño genético. A pesar de ello, si una mutación no se identifica o se repara a tiempo, puede producir un nuevo rasgo con el potencial de ser transmitido a la descendencia. Algunas mutaciones no tienen efectos, algunas otras cambian la expresión de un rasgo, y otras incluso pueden cambiar la manera en la que funciona una célula. Algunas mutaciones causan defectos graves o mortales, como anomalías congénitas y cáncer.

---

## Trastornos autosómicos

En los trastornos autosómicos ocurre un error en un sitio único de la cadena de ADN. Los trastornos de gen único son heredados en patrones identificables de manera clara que son los mismos que se observan en la herencia de rasgos normales. Debido a que cada persona tiene 22 pares de autosomas y un solo par de cromosomas sexuales, la mayor parte de los trastornos hereditarios son autosómicos.

### El tipo asertivo

La *transmisión autosómica dominante* implica la transmisión de un gen anómalo que es dominante. Los trastornos autosómicos dominantes por lo general afectan tanto a hombres como a mujeres por igual. Los hijos de un padre afectado tienen 50% de probabilidad de ser afectados.

### Comportamiento pasivo agresivo

La *herencia autosómica recesiva* implica la transmisión un gen anómalo que es recesivo. Los trastornos autosómicos recesivos suelen afectar tanto a hombres como a mujeres por igual. Si ambos padres se encuentran afectados, toda su descendencia estará afectada. Cuando ninguno de los padres está afectado, pero cargan un gen defectuoso, cada hijo tiene un 25% de probabilidad de resultar afectado. Si sólo uno de los padres se encuentra afectado y el otro no es portador, ninguno de sus hijos se verá afectado, pero todos cargarán el gen defectuoso. Si uno de los padres está afectado y el otro es portador, el 50% de sus hijos resultarán afectados. Debido a este patrón de transmisión, los trastornos autosómicos recesivos pueden ocurrir aun cuando no hay antecedentes familiares de la enfermedad.

---

## Trastornos ligados al sexo

Los trastornos genéticos causados por genes que se localizan en los cromosomas sexuales se llaman *trastornos ligados al sexo*.

La mayor parte de las personas que tienen trastornos recesivos ligados a X son hombres. Eso es porque los hombres tienen sólo un cromosoma X. Las mujeres tienen un segundo cromosoma X que vence a la X "enferma".



### Las X mandan

La mayoría de los trastornos ligados al sexo son controlados por los genes en el cromosoma X, por lo general, como rasgos recesivos. Ya que los hombres sólo tienen un cromosoma X, un solo gen recesivo ligado a X puede causar una enfermedad en un hombre. Las mujeres reciben dos cromosomas X, así que pueden ser homocigotas para una enfermedad (y exhibir la enfermedad), homocigotas para un alelo normal (y no tener ni ser portadoras de la enfermedad) o heterocigotas (portar pero no exhibir la enfermedad).

La mayoría de las personas que muestran rasgos recesivos ligados a X son hombres con padres no afectados. En casos raros, el padre se encuentra afectado y la

madre es portadora. Todas las hijas de un hombre afectado son portadoras. Un hombre no afectado nunca transmite el rasgo a su hijo. Los hijos hombres no afectados de una mujer portadora no transmiten la enfermedad.

La evidencia está en el pasado

En la herencia dominante ligada al sexo, la evidencia del rasgo heredado se encuentra de manera habitual en la historia familiar. Una persona con el rasgo anómalo debe tener un padre afectado. Si el padre tiene un trastorno dominante ligado a X, todas sus hijas y ninguno de sus hijos se verán afectados. Si una madre tiene un trastorno dominante ligado a X, cada uno de sus hijos tiene un 50% de probabilidad de resultar afectado.

---

## Trastornos multifactoriales

La mayoría de los trastornos multifactoriales son resultado de varios genes y varios factores ambientales que actúan de manera conjunta. En la herencia poligénica, cada gen tiene un pequeño efecto aditivo, por lo que la combinación de errores genéticos es impredecible. Los trastornos multifactoriales pueden ser consecuencia de una expresión subóptima de muchos genes diferentes, no de un error específico.

Se pueden mezclar

Algunos trastornos multifactoriales son evidentes al nacimiento, como el labio y paladar hendido, enfermedades cardíacas congénitas, anencefalia, pie equino varo y mielomeningocele. Otras alteraciones, como la diabetes mellitus de tipo II, hipertensión arterial, hiperlipidemia, la mayoría de las enfermedades autoinmunitarias y muchos tipos de cáncer, no aparecen sino hasta después. Los factores ambientales influyen de manera más probable en el desarrollo de trastornos multifactoriales durante la vida adulta.

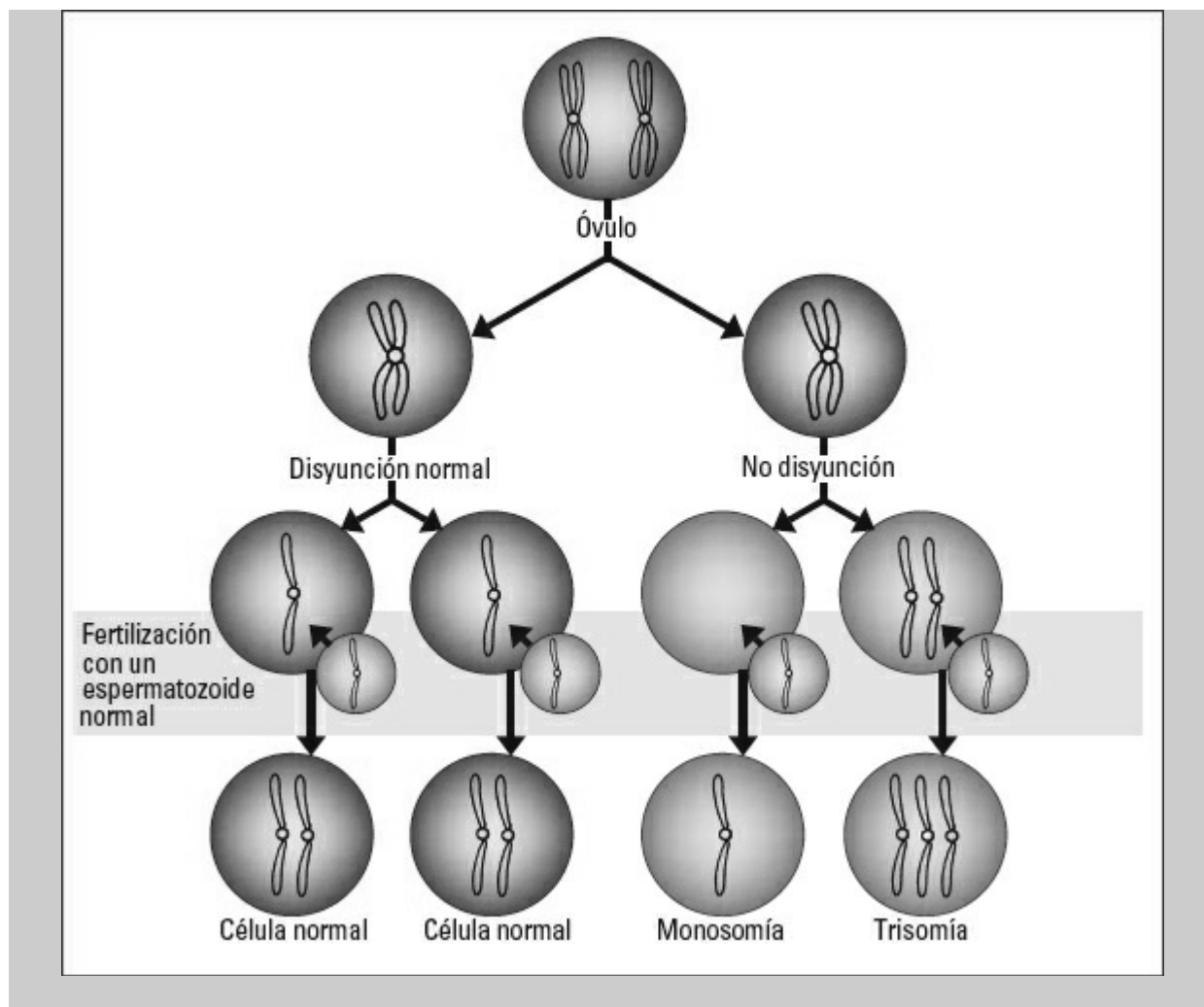


**¡Eureka!**

### Disyunción y no disyunción de los cromosomas

La ilustración muestra la disyunción y no disyunción de un óvulo. Cuando la disyunción ocurre de manera normal, la fecundación con un espermatozoide normal da lugar a un cigoto con el número correcto de cromosomas. En la no disyunción, los cromosomas duplicados no se separan, lo que produce una célula trisómica y una célula monosómica.





## Defectos cromosómicos

Las aberraciones en la estructura de los cromosomas o en el número de ellos causan un tipo de trastornos llamados *anomalías congénitas* o *defectos al nacimiento*. Las aberraciones genéticas incluyen pérdida, adición o cambios en el arreglo del material genético.

Las aberraciones cromosómicas con importancia clínica tiene lugar durante la meiosis, un proceso increíblemente complejo que puede salir mal de muchas formas. Los factores que pueden contribuir de manera potencial incluyen la edad materna, la radiación y el consumo de sustancias con fines terapéuticos o recreativos.

### Juntos pero no compatibles

La *traslocación*, o reubicación de un segmento de cromosoma a un cromosoma que no es homólogo, ocurre cuando los cromosomas se separan y se unen en un arreglo anómalo. Las células tienen una cantidad habitual de material genético, así que no suele haber anomalías visibles. Sin embargo, los hijos de las personas con cromosomas traslocados pueden tener graves defectos genéticos, como monosomías o trisomías.

Una *monosomía* es un estado en el que el número de cromosomas presentes es uno

menos que el habitual. Una monosomía autosómica es incompatible con la vida. La presencia de un cromosoma excedente se conoce como *trisomía*. La mezcla de células tanto anómalas como normales produce *mosaicismo* (dos o más linajes celulares en la misma persona). Los efectos del mosaicismo dependen del número y ubicación de las células atípicas. Algunos resultados frecuentes de la traslocación son el síndrome de Down y la trisomía 13.

### Decir adiós siempre es difícil

Tanto en la meiosis como en la mitosis, los cromosomas se separan habitualmente en un proceso llamado *disyunción*. El fallo durante la separación se llama *no disyunción*, y causa una distribución desequilibrada de cromosomas entre las dos células resultantes. Si la no disyunción ocurre poco después de la fecundación, puede afectar a todas las células resultantes. La incidencia de la no disyunción aumenta con la edad de los padres (véase *Disyunción y no disyunción de los cromosomas*, p. 33).



## Preguntas de autoevaluación

1. ¿Cuál es el número total de cromosomas en una célula fecundada?

- A. 12
- B. 23
- C. 46
- D. 52

**Respuesta:** C. Hay 46 cromosomas (23 pares) en el núcleo de una célula fecundada.

2. De acuerdo con la teoría genética, si un niño tiene fibrosis quística significa que:

- A. Ambos padres transmiten el gen de fibrosis quística
- B. Uno de los padres transmite el gen de fibrosis quística
- C. Uno de los abuelos tiene fibrosis quística
- D. Ninguno de los padres tiene el gen de fibrosis quística

**Respuesta:** A. Debido a que el gen de la fibrosis quística es recesivo, se expresa sólo cuando ambos padres lo transmiten a su descendencia.

3. La presencia de un cromosoma excedente se conoce como:

- A. Monosomía
- B. Trisomía
- C. Mosaicismo
- D. No disyunción

**Respuesta:** B. Una *trisomía* es la presencia de un cromosoma excedente que resulta de la no disyunción.

4. ¿Cuál de las definiciones corresponde al término *mutación*?

- A. Agente ambiental responsable de un defecto genético
- B. Cambio permanente en el material genético
- C. Interacción de al menos dos genes anómalos
- D. Expresión de un gen recesivo en la descendencia

**Respuesta:** B. Una *mutación* es un cambio permanente en el material genético, que puede ser resultado de la exposición a radiación, algunos químicos o virus. También pueden ocurrir mutaciones de manera espontánea.

5. Un niño tiene ojos cafés y cabello marrón. Esta descripción revela su:

- A. Fenotipo

- B. Genotipo
- C. Genoma
- D. Autosomas

**Respuesta:** A. El *fenotipo* es la manifestación externa y detectable de la huella genética, o *genotipo*, de una persona.

---

## Puntuación

- ☆☆☆ Si contestaste las cuatro preguntas correctamente, ¡excelente! Eres un *gen-io* cuando se trata de genética.
- ☆☆ Si contestaste cuatro preguntas de manera correcta, ¡muy bien! Tu entendimiento de la genética es dominante.
- ☆ Si contestaste menos de cuatro preguntas de manera correcta, no te preocupes. Otro vistazo a este capítulo te ayudará a dar el paso de X a Y.

---

## Bibliografía

Hall, J. (2015). *Guyton and Hall textbook of medical physiology* (13th ed.). Philadelphia, PA: Elsevier.

Saladin, K. (2014). *Anatomy & physiology: The unity of form and function* (7th ed.). New York, NY: McGraw Hill.

# Capítulo 3

## Organización química

### Objetivos



En este capítulo aprenderás:

- ◆ La composición química del cuerpo
- ◆ Estructura del átomo
- ◆ Diferencias entre compuestos inorgánicos y orgánicos



Sin los  
químicos en  
las cantidades  
correctas,  
moriría.

# Una mirada a la química del cuerpo

El cuerpo humano está compuesto por sustancias químicas. En realidad, todas sus actividades son químicas. Para entender al cuerpo humano y sus funciones, necesitas entender su química.

Todo se reduce a la química

El nivel químico es el nivel más simple e importante de la organización estructural. Sin las sustancias químicas correctas en las cantidades adecuadas, las células del cuerpo, y en algún momento el cuerpo, morirían.

---

## Principios de química

Cada célula contiene miles de sustancias químicas diferentes que interactúan entre sí de manera constante. Las diferencias en la composición química distinguen a los tipos de tejido. Aún más, los planos de la herencia (el ácido desoxirribonucleico [ADN] y el ácido ribonucleico [ARN]) se guardan de forma química.

Mi materia favorita

La *materia* es todo lo que tiene masa y ocupa un lugar en el espacio; puede ser sólida, líquida o gaseosa.

Tipos de energía

La *energía* es la capacidad de realizar un trabajo, de poner la masa en movimiento. La energía puede ser *potencial* (almacenada) o *cinética* (de movimiento). Los tipos de energía incluyen química, eléctrica y radiante.

---

## Composición química

Un *elemento* es materia que no se puede descomponer en formas más simples mediante reacciones químicas ordinarias. Todas las formas de materia se componen de elementos químicos. Cada uno de los elementos químicos en la tabla periódica tienen un símbolo químico; por ejemplo: N es el símbolo químico del nitrógeno (véase *Comprender los elementos y compuestos químicos*).

Es elemental

Los elementos que conforman el 96% del peso total del cuerpo son el carbono, hidrógeno, nitrógeno y oxígeno. El calcio y el fósforo corresponden a otro 2.5% (véase *¿De qué está hecho el cuerpo?*, p. 38).

---

## Estructura atómica

Un *átomo* es la unidad de materia más pequeña que puede formar parte de una reacción química. Los átomos de un único tipo constituyen un elemento.

---

## Partículas subatómicas

Cada átomo tiene una parte central densa, llamada *núcleo*, y una o más capas de energía que lo rodean, denominadas *capas de electrones*. Los átomos constan de tres partículas subatómicas: *protones*, *neutrones* y *electrones*.

Equilibrando las cosas

Un protón pesa casi lo mismo que un neutrón, mientras que cada protón y neutrón pesan 1 836 veces más que un electrón.

## Protones

Los *protones* ( $p^+$ ) son partículas con carga positiva empaquetadas en el núcleo del átomo. Cada elemento tiene un número específico de protones.

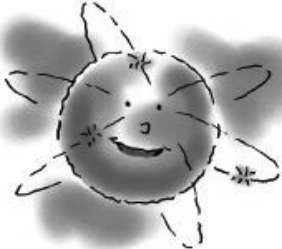


¡Eureka!

## Comprender los elementos y compuestos químicos

Puede ser confuso entender la diferencia entre elementos y compuestos. La mejor manera de recordar la diferencia es comprender cómo se unen los átomos para formar ambos.


**Primero, con los átomos**  
Un átomo constituye un elemento. Por lo anterior, un átomo de hidrógeno es el elemento hidrógeno. Ahora, esta es la parte complicada: un elemento también puede estar compuesto por más de un átomo, una molécula.



Síp, soy un átomo, la unidad de materia más pequeña que puede participar en una reacción química.

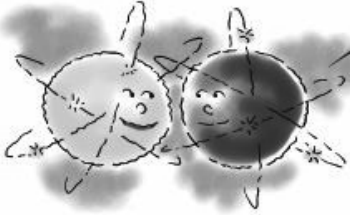
Somos átomos que estamos unidos para formar una molécula. Somos iguales, así que somos una molécula de un elemento.

**Moléculas: dos (o más) de lo mismo**  
Una *molécula* es la combinación de dos o más átomos. Si los átomos son iguales, es decir, del mismo elemento (p. ej., todos son átomos de hidrógeno), se consideran una *molécula* de ese elemento (una molécula de hidrógeno).



Sé que nos acabamos de conocer, pero creo que juntos seremos un compuesto hermoso.

**Compuestos: cuando las diferencias nos unen**  
Si los átomos que se combinan son diferentes, es decir, distintos elementos (como un átomo de carbono y uno de oxígeno), la molécula formada es un compuesto (como el compuesto monóxido de carbono o CO).



## Mente positiva

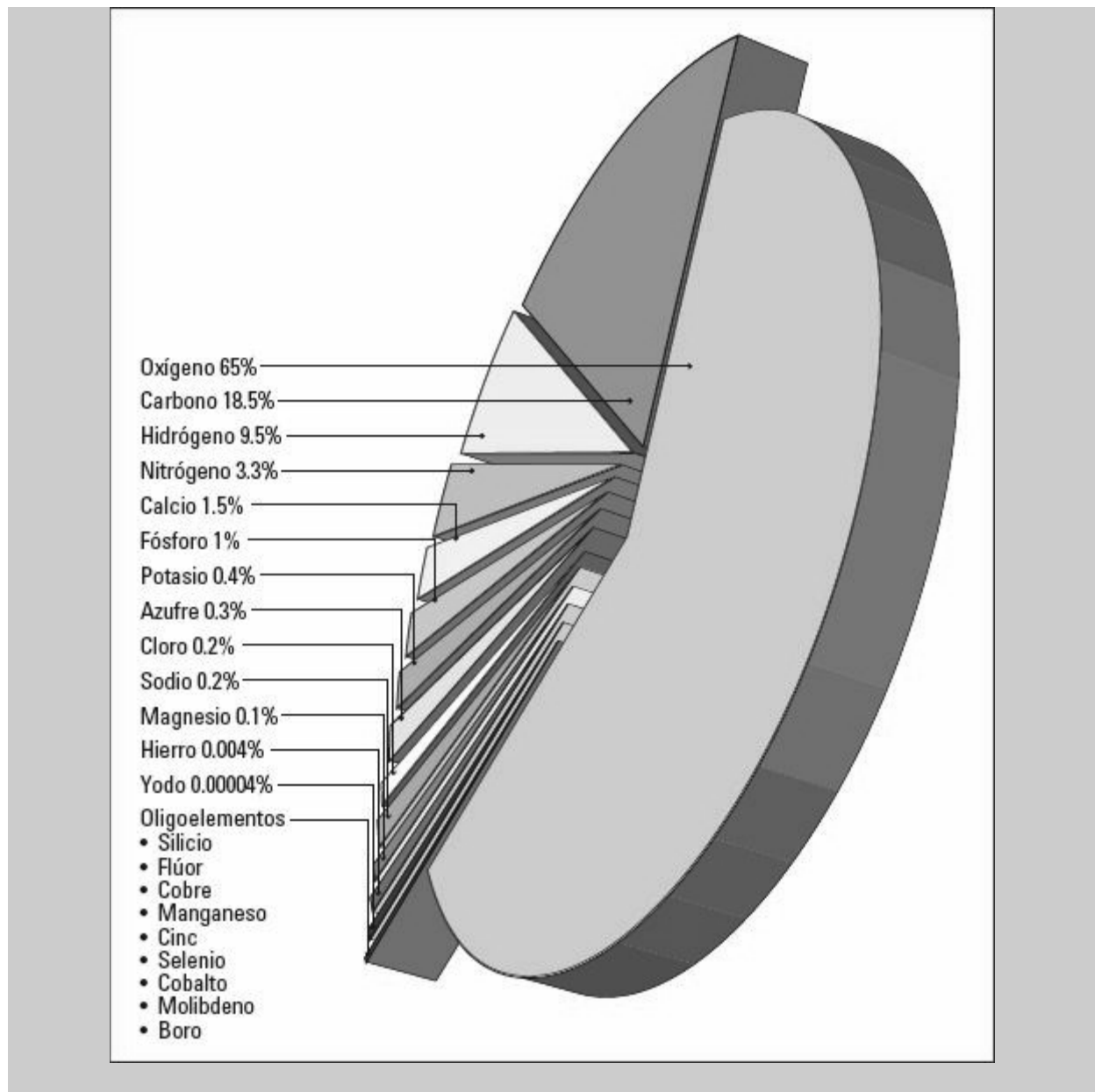
El número de protones de un elemento determina su número atómico y su carga positiva. Por ejemplo, todos los átomos de carbono, y sólo los átomos de carbono, cuentan con seis protones. Gracias a lo anterior, el número atómico del carbono es 6 (6p+).



## La máquina perfecta

### ¿De qué está hecho el cuerpo?

La siguiente gráfica muestra los elementos químicos en el cuerpo humano en orden descendente, desde el más hasta el menos abundante.



## Neutrones

Los *neutrones* (n) son partículas en el núcleo del átomo que carecen de carga (neutras).

### Números de masa

El número de masa atómica de un átomo es diferente a su número atómico. El número de *masa atómica* es la suma del número de protones y neutrones en el núcleo de un átomo. También puedes considerar al número de masa atómica como la suma de las masas de protones y neutrones. Por ejemplo, el helio, con dos protones y dos neutrones, tiene número de masa atómica de 4.

### Aislar los isótopos

No todos los átomos de un elemento tienen necesariamente el mismo número de



neutrones. Un *isótopo* es la forma de un átomo que tiene un número de neutrones diferente. Como resultado, presenta un peso atómico diferente.

### Cuestión de peso

Es importante entender qué son los isótopos para comprender otro concepto clave: el peso atómico. El *peso atómico* de un átomo es el promedio de los pesos relativos (números de masa atómica) de todos los isótopos de un elemento. Recuerda que los isótopos son formas atómicas de un mismo elemento que contienen diferente número de neutrones.

## Electrones

Los *electrones* ( $e^-$ ) son partículas con carga negativa que orbitan el núcleo en capas de electrones. Tienen un papel importante en los enlaces químicos y las reacciones químicas.

### Mantenerse neutral

El número de electrones en un átomo equivale al número de protones en su núcleo. Las cargas negativas de los electrones equilibran la carga positiva de los protones, por lo que los átomos son electrónicamente neutros.

### Juegos fuera de órbita

Los electrones viajan alrededor del núcleo en *capas*, o círculos concéntricos. Cada capa de electrones puede contener un número máximo de electrones y representa un nivel de energía específico. La capa más interna puede contener máximo dos electrones; la más externa, puede contener muchos más.

Un átomo con una cantidad impar de electrones que orbitan en su capa más externa puede ser químicamente *activo*. Lo anterior significa que es capaz de participar en reacciones químicas. Un átomo con una capa externa que contiene sólo cantidades pares de electrones es químicamente inactivo, o *estable*.

### El valor de la valencia

La *valencia* de un átomo (su habilidad para combinarse con otros átomos) es igual al número de electrones no apareados en su capa externa. Por ejemplo, el sodio ( $\text{Na}^+$ ) tiene una valencia de más uno (+1) porque su capa externa tiene una cantidad impar de electrones.



---

## Enlaces químicos

Un *enlace químico* es una fuerza de atracción que une los átomos de una molécula. La formación de un enlace químico requiere frecuentemente de energía. La rotura de un enlace químico suele conducir a la liberación de energía.

Enlaces para cada ocasión

Existen varios tipos de enlaces químicos:

- Un *enlace hidrógeno* sucede cuando dos átomos, del mismo elemento o no, se unen a un átomo de hidrógeno. Por ejemplo, el oxígeno y el nitrógeno forman en muchas ocasiones enlaces hidrógeno.
- Un *enlace iónico* (electrovalente) ocurre cuando los electrones de valencia se transfieren de un átomo a otro.
- Un *enlace covalente* se forma cuando los átomos comparten pares de electrones de valencia (véase *Así son los enlaces iónicos y covalentes*).

---

## Reacciones químicas

Una *reacción química* involucra electrones desapareados en la capa externa de los átomos. En esta reacción ocurre uno de dos eventos:

1. Los electrones desapareados de la capa externa de un átomo se transfieren a la capa externa de otro átomo.

2. Un átomo comparte sus electrones desapareados con otro átomo.

## Diferentes tipos de reacciones

La energía, concentración de partículas, velocidad y orientación determinan si se llevará a cabo una reacción química. Los cuatro tipos básicos de reacciones químicas son *síntesis*, *descomposición*, *intercambio* y *reversibilidad* (véase *Comparación de las reacciones químicas*, p. 42).



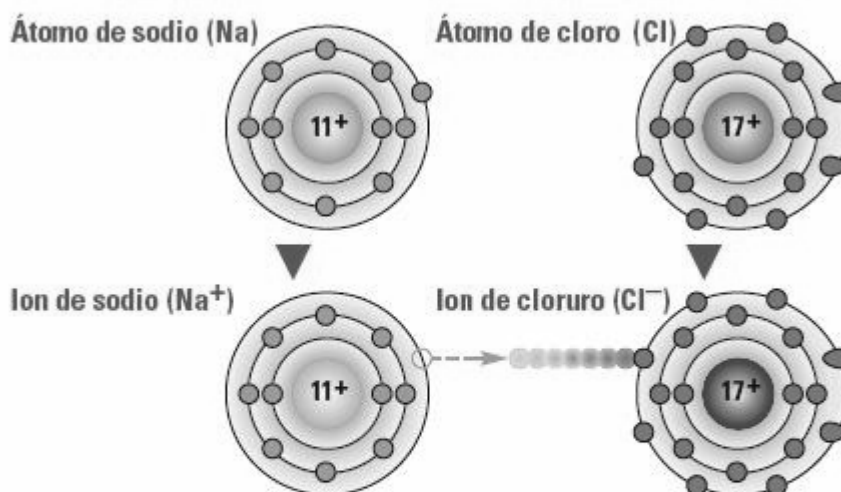
¡Eureka!

## Así son los enlaces iónicos y covalentes

Un *enlace químico* es una fuerza de atracción que une los átomos de una molécula. Examinemos los enlaces iónicos y covalentes.

### Enlaces iónicos

En un enlace iónico, un electrón es transferido de un átomo a otro. Mediante fuerzas de atracción, un electrón es transferido desde un átomo de sodio (Na) a uno de cloro (Cl). El resultado es una molécula de cloruro de sodio (NaCl).



### Enlaces covalentes

En un enlace covalente, los átomos comparten un par de electrones. A continuación, verás lo que sucede cuando dos átomos de hidrógeno (H) forman un enlace covalente.



¡Eureka!

## Comparación de las reacciones químicas

Cuando ocurren las reacciones químicas, éstas involucran electrones desapareados en las capas externas de los átomos. A continuación, se describen los cuatro tipos básicos de reacciones químicas.

### Reacción de síntesis (anabolismo)

Una reacción de *síntesis* combina dos o más sustancias (reactantes) para formar una sustancia (producto) nueva y más compleja. En consecuencia, se forma un enlace químico.



### Reacción de descomposición (catabolismo)

En una reacción de *descomposición*, una sustancia se descompone, o rompe, en dos o más sustancias más simples, lo cual lleva a que se rompa el enlace químico.



### Reacción de intercambio

Una *reacción de intercambio* es la combinación de una reacción de descomposición y una de síntesis. Esta reacción sucede cuando dos sustancias complejas se descomponen en sustancias más simples. Posteriormente, estas sustancias simples se unen (a través de la síntesis) con otras sustancias simples para formar nuevas sustancias complejas.



### Reacción reversible

En una reacción *reversible*, el producto se revierte a sus reactantes originales y viceversa. Las reacciones reversibles pueden necesitar condiciones especiales, como calor o luz.

## Compuestos inorgánicos y orgánicos

Aunque la mayoría de las *biomoléculas* (moléculas producidas por células vivas) forman *compuestos orgánicos* (compuestos que contienen carbono), algunas conforman *compuestos inorgánicos* (compuestos sin carbono).

## Compuestos inorgánicos

Los compuestos inorgánicos suelen ser pequeños e incluyen el agua y los *electrólitos* (ácidos inorgánicos, bases y sales).

### El reservorio del cuerpo

El agua es la sustancia más abundante del cuerpo. Esta sustancia lleva a cabo cierto número de funciones vitales, a saber:

- Forma de manera fácil enlaces covalentes polares, lo que permite el transporte de solventes.
- Actúa como lubricante en el moco y otros líquidos corporales.
- Participa en reacciones químicas, como la descomposición de nutrientes durante la digestión.
- Permite que el cuerpo mantenga una temperatura más o menos constante (mediante

la absorción y liberación paulatina de calor).



### Ioniza y divide

Los ácidos, las bases y las sales son *electrólitos*, compuestos cuyas moléculas consisten en iones con carga positiva (*cationes*) e iones con carga negativa (*aniones*), que se ionizan (separan en iones) dentro de una solución:

- Los *ácidos* se ionizan en iones de hidrógeno ( $H^+$ ) y aniones. En otras palabras, los ácidos se separan en un ion de hidrógeno con carga positiva y un anión con carga negativa.
- Las *bases* se ionizan en hidróxido y cationes. Las bases se separan en iones hidróxido con carga negativa y cationes con carga positiva.
- Las *sales* se forman cuando los ácidos reaccionan con las bases. En el agua, las sales se ionizan en cationes y aniones, pero no en iones de hidrógeno o hidroxilo.

### Todo está en el equilibrio

Los líquidos corporales deben lograr un equilibrio acidobásico para mantener la *homeostasis* (el equilibrio dinámico del cuerpo). La acidez de una solución es determinada por el número de iones de hidrógeno que contiene. Cuantos más iones de hidrógeno haya, más ácida será la solución. Por el contrario, cuantos más iones hidroxilo contenga una solución, será más básica, o *alcalina*.



---

## Compuestos orgánicos

La mayoría de las biomoléculas forman *compuestos orgánicos*, o sea, que contienen enlaces de carbono o carbono-hidrógeno. *Hidratos de carbono*, *lípidos*, *proteínas* y *ácidos nucleicos* son ejemplos de compuestos orgánicos.

### Hidratos de carbono

En el cuerpo, los hidratos de carbono incluyen a los azúcares, el almidón y el glucógeno.

#### Proveedores de energía

Las principales funciones de los hidratos de carbono son liberar y almacenar energía. Estos son los tres tipos de hidratos de carbono:

1. Los *monosacáridos*, como la ribosa y desoxirribosa, son azúcares con tres a siete átomos de carbono.
2. Los *disacáridos*, por ejemplo, la lactosa y maltosa, contienen dos monosacáridos.
3. Los *polisacáridos*, como el glucógeno, son hidratos de carbono con numerosos monosacáridos.



### Para recordar

Para recordar la diferencia entre los tres tipos de hidratos de carbono, recuerda los prefijos:  
**Mono-** significa uno.  
**Di-** significa dos, por lo que los disacáridos contienen dos monosacáridos  
**Poli-** significa muchos, así que puedes esperar que los polisacáridos contengan muchos monosacáridos.

# Lípidos

Los *lípidos* son biomoléculas insolubles en agua. Los principales lípidos son *triglicéridos*, *fosfolípidos*, *esteroides*, *lipoproteínas* y *eicosanoides*.

## Aislar y proteger

Los *triglicéridos* son los lípidos más abundantes tanto en la comida como en el cuerpo. Estos lípidos son grasas naturales que aíslan y protegen. También funcionan como la fuente de energía más concentrada del cuerpo. Los triglicéridos contienen tres moléculas de ácidos grasos unidas químicamente a una molécula de glicerol.

## Los tabiques de la célula

Los *fosfolípidos* son los componentes estructurales más importantes en la membrana celular; consisten en una molécula de glicerol, dos moléculas de ácidos grasos y un grupo fosfato.

## El colesterol no tiene grasa

Los *esteroides* son lípidos simples sin ácidos grasos en sus moléculas. Se agrupan en cuatro categorías principales, cada una con diferentes funciones:

- *Sales biliares*: emulsionan grasas durante la digestión y ayudan a la absorción de vitaminas liposolubles (vitaminas A, D, E y K).
- *Hormonas*: sustancias químicas con un efecto específico en las células.
- *Colesterol*: componente de la membrana celular en animales; es necesario para formar a todos los demás esteroides.
- *Vitamina D*: ayuda a regular la concentración de calcio en el cuerpo.



## Transportistas y otros lípidos que trabajan duro

Las *lipoproteínas* ayudan a transportar lípidos a varias partes del cuerpo. Los

*eicosanoides* incluyen a las *prostaglandinas*, que, entre otras funciones, modifican la respuesta a las hormonas, promueven la inflamación y abren las vías aéreas, y a los *leucotrienos*, que también forman parte de la respuesta alérgica y de inflamación.

## Proteínas

Las *proteínas* son el compuesto orgánico más abundante en el cuerpo. Se componen de “ladrillos” llamados *aminoácidos*. Los aminoácidos se unen mediante enlaces *peptídicos* (enlaces químicos que unen a un grupo carboxilo de un aminoácido con el grupo amino de otro).



### La fábrica de “ladrillos”

Muchos aminoácidos unidos forman un *polipéptido*. Uno o más polipéptidos conforman una proteína. La secuencia de aminoácidos en

la cadena de polipéptidos de una proteína determina su forma, y ésta determina cuál será su función:

- Proveer estructura y protección
- Promover la contracción muscular
- Transportar diversas sustancias
- Regular procesos
- Servir como enzima (el grupo más grande de proteínas, que funcionan como catalizadores de reacciones químicas cruciales)

## Ácidos nucleicos

La principal función de los *ácidos nucleicos* es almacenar y transmitir información genética. Los ácidos nucleicos ADN y ARN están compuestos de bases nitrogenadas, azúcares y grupos fosfato. La molécula principal de la herencia, el ADN, contiene dos cadenas largas de desoxirribonucleótidos que se enredan en una forma de doble



hélice.

## Mantenerse unidos

En la columna de las cadenas se alternan unidades de desoxirribosa y fosfato. Los pares de adenina-timina y guanina-citosina mantienen las dos cadenas unidas.

## El ARN y su función especial

A diferencia del ADN, el ARN tiene una estructura de cadena simple, la cual contiene ribosa en lugar de desoxirribosa y reemplaza la base timina por uracilo. El ARN transmite información genética desde el núcleo de la célula hacia el citoplasma, y en este sitio guía la síntesis de proteínas a partir de los aminoácidos.



## Preguntas de autoevaluación

1. Los elementos químicos más abundantes en el cuerpo humano son:

- A. Fósforo, hidrógeno y oxígeno
- B. Carbono, oxígeno y silicio
- C. Oxígeno, carbono e hidrógeno
- D. Oxígeno, carbono y nitrógeno

**Respuesta:** C. Hay 22 elementos químicos en el cuerpo humano, y los tres más abundantes son oxígeno (65%), carbono (18.5%) e hidrógeno (9.5%).

2. Los protones son partículas empaquetadas de manera compacta en el núcleo del átomo y tienen:

- A. Carga positiva
- B. Carga negativa
- C. Carga neutra
- D. Carga mixta

**Respuesta:** A. Los protones son partículas con carga positiva en el núcleo del átomo.

3. Un ejemplo de un compuesto orgánico es:

- A. El agua
- B. Un electrólito
- C. Una proteína
- D. Un ácido

**Respuesta:** C. Los compuestos orgánicos son aquellos que contienen por lo menos un átomo de carbono. Algunos ejemplos incluyen hidratos de carbono, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos.

---

## Puntuación

- ☆☆☆ Si contestaste las tres preguntas correctamente, ¡felicidades! Tú y este capítulo han logrado la homeostasis.
- ☆☆ Si contestaste dos preguntas de manera acertada, ¡excelente! Tú y este capítulo van juntos como si fueran aminoácidos que forman una cadena de polipéptidos.
- ☆ Si contestaste sólo una pregunta de manera correcta, no te preocupes,

organiza tus ideas y regresa más tarde para revisar este capítulo.

---

## Bibliografía

Hall, J. (2015). *Guyton and Hall textbook of medical physiology* (13th ed.) Philadelphia, PA: Elsevier.

Saladin, K. (2014). *Anatomy & physiology: The unity of form and function* (7th ed.). New York, NY: McGraw Hill.

# Capítulo 4

## Sistema integumentario

### Objetivos



- ◆ Funciones básicas de la piel
- ◆ Capas de la piel y sus componentes
- ◆ Anexos (cabello, uñas y glándulas) del sistema integumentario

*La piel sirve como el primer mecanismo de defensa del cuerpo al protegerlo frente a invasores.*



# Una mirada al sistema integumentario

El sistema integumentario es el sistema más grande del cuerpo e incluye la piel, el *tegumento común*, y sus anexos (cabello, uñas y ciertas glándulas).

No es sólo otra cara bonita

El sistema integumentario realiza varias funciones vitales, a saber:

- Protección de estructuras internas
- Percepción sensitiva
- Regulación de la temperatura corporal
- Excreción de algunos líquidos
- Síntesis de vitamina D

---

## Protección

La piel mantiene la integridad de la superficie del cuerpo mediante procesos de migración y descamación. Puede reparar heridas en la superficie al intensificar los mecanismos de reemplazo celular habituales. La capa superficial de la piel, conocida como *epidermis*, protege al cuerpo de sustancias químicas dañinas e invasión de patógenos.

Células de Langerhans, ¡al rescate!

Las *células de Langerhans* son células especializadas dentro de la epidermis. Estas células facilitan la respuesta inmunitaria al ayudar a que los linfocitos procesen los antígenos que entran en la piel.

El protector solar de la piel

Los *melanocitos*, otro tipo de célula de la piel, brindan protección al producir el pigmento marrón *melanina*, que ayuda a filtrar luz (radiación) ultravioleta (UV). La exposición a la luz UV puede estimular la producción de melanina.



Los  
melanocitos  
protegen al  
cuerpo de la luz  
ultravioleta.

---

## Percepción sensitiva

Las fibras de los nervios sensitivos se originan en las raíces nerviosas a lo largo del bulbo raquídeo y suministran sensibilidad a áreas específicas de la piel llamadas *dermatomas*.

Soy muy sensible

Estas fibras nerviosas transmiten varios tipos de sensación, como temperatura, tacto, presión, dolor y comezón, desde la piel hasta el sistema nervioso central. Las fibras nerviosas autónomas llevan impulsos hacia el músculo liso en las paredes de los vasos sanguíneos de la piel, los músculos alrededor de las raíces del cabello y las glándulas sudoríparas.

---

## Regulación de la temperatura corporal

Abundantes nervios, vasos sanguíneos y glándulas eccrinas dentro de la capa profunda de la piel ayudan a controlar la temperatura corporal (termorregulación).

A calentar motores...

Cuando la piel está expuesta al frío, o la temperatura interna del cuerpo disminuye, los vasos sanguíneos se constriñen para reducir el flujo sanguíneo, y así conservar calor corporal.

Y poner paños fríos

Si la piel se calienta mucho o aumenta la temperatura interna del cuerpo, las pequeñas arterias en la piel se dilatan para incrementar el flujo sanguíneo, y de esta manera reducir el calor corporal (véase *El papel de la piel en la termorregulación*).

## Excreción

La piel también es un órgano excretor. Las glándulas sudoríparas excretan sudor que contiene agua, electrólitos, urea y ácido láctico.



¡Eureka!

### El papel de la piel en la termorregulación

Gran número de nervios, vasos sanguíneos y glándulas eccrinas dentro de la capa profunda de la piel ayudan a la termorregulación. La primera parte de la ilustración muestra cómo el cuerpo conserva el calor corporal; la segunda parte muestra cómo el cuerpo lo disminuye. Así realiza su trabajo la piel.

#### Es hora de calentar motores

La piel es expuesta al frío o disminuye la temperatura interna del cuerpo.



Los vasos sanguíneos se constriñen en respuesta a estímulos del sistema nervioso autónomo.



El flujo sanguíneo en la piel disminuye y el calor corporal se conserva.



El aumento del flujo sanguíneo reduce el calor corporal. Si lo anterior no disminuye la temperatura, las glándulas eccrinas actúan para incrementar la producción de sudor, y así la evaporación enfría la piel.



Se dilatan (expanden) pequeñas arterias en la segunda capa de la piel.



#### Es hora de enfriar las cosas

La piel se calienta demasiado o aumenta la temperatura interna del cuerpo.



El agua sí funciona

Mientras que el agua elimina desechos del cuerpo a través de los más de dos millones de poros, la piel también previene que escapen los líquidos corporales. Aquí, la piel protege al cuerpo al prevenir la deshidratación causada por la pérdida de líquidos corporales internos, además de mantener sus niveles al regular el contenido y volumen del sudor. También evita que entren al cuerpo líquidos no deseados del ambiente.

---

## Síntesis de vitamina D

La luz ultravioleta del sol activa un compuesto precursor localizado en las células de la piel que producen vitamina D.

## Capas de la piel

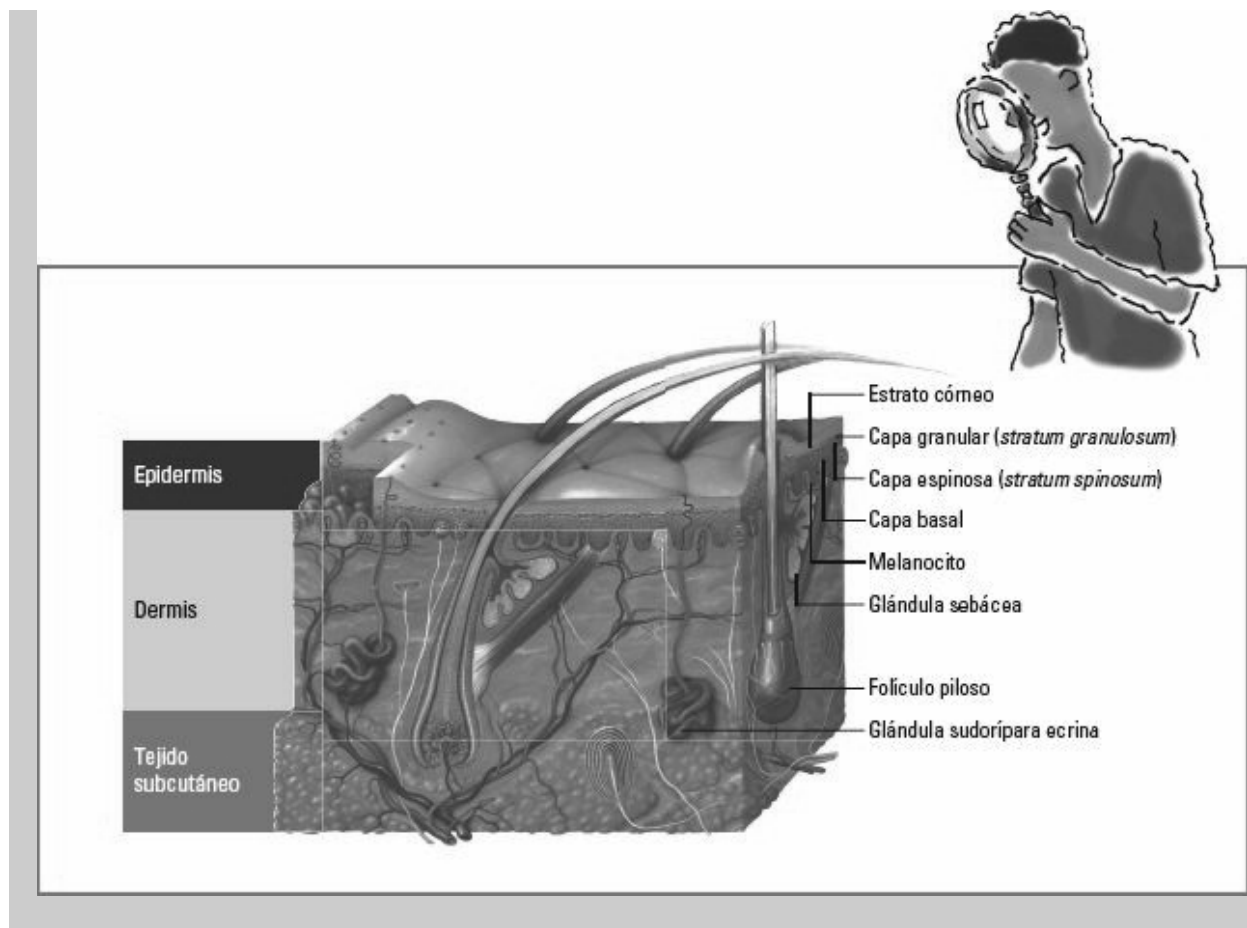
Dos capas bien delimitadas de la piel, la *epidermis* y la *dermis*, se localizan sobre la tercera capa de *tejido subcutáneo*, a veces llamada *hipodermis* (véase *Una mirada a la piel*).



### Zoom

#### Una mirada a la piel

Los principales componentes de la piel incluyen la epidermis, la dermis y los anexos epidérmicos.



## Epidermis

La *epidermis* es la capa más externa de la piel, su grosor va desde menos de 0.1 mm, en los párpados, hasta más de 1 mm, en las palmas de las manos y plantas de los pies. Es translúcida, esto significa que permite el paso parcial de la luz.

Lo que hay dentro, fuera y en medio

La epidermis se compone de tejido avascular, estratificado y plano (laminar o en forma de placa), y se divide en cinco capas distintas. Cada capa es nombrada de acuerdo con su estructura o función.

- El *estrato córneo* (*stratum corneum*) es la capa externa; consiste en capas organizadas de manera compacta de membranas celulares y queratina.
- El *estrato lúcido* (*stratum lucidum*), o capa translúcida, evita la penetración o pérdida de agua. Puede estar ausente en la piel delgada.
- El *estrato granuloso* (*stratum granulosum*), o *capa granular*, es responsable de la formación de queratina y, al igual que el estrato lúcido, puede faltar en algunos tipos de piel delgada.
- El estrato espinoso (*stratum spinosum*), o *capa espinosa*, también ayuda en la formación de queratina y contiene gran cantidad de ácido ribonucleico.
- El *estrato basal* (*stratum basale*), o *capa basal*, es la capa interna y produce células nuevas para reemplazar a las células queratinizadas que se desprenden o desechan.



continuamente.

¡Mira, mamá! ¡Sin sangre!

La epidermis no contiene vasos sanguíneos. El alimento, las vitaminas y el oxígeno se transportan a esta capa a través de estructuras con forma de dedo llamadas *crestas de Rete*, que contienen una red de pequeños vasos sanguíneos. Estas crestas de Rete descienden desde la epidermis y ascienden desde la dermis para aumentar el contacto entre ambas capas.

---

## Dermis

La *dermis*, también llamada *corium*, es la segunda capa de la piel. Es un sistema elástico que contiene y da sostén a vasos sanguíneos y linfáticos, nervios y anexos epidérmicos.

¿Qué hay en la Matrix?

La mayor parte de la dermis está conformada por un material extracelular conocido como *matriz extracelular*.

La matriz contiene:

- *Colágeno*: una proteína constituida por fibroblastos que da fuerza y resistencia a la dermis.
- *Fibras elásticas*: unen al colágeno y hacen flexible a la piel.



### Para recordar

Puedes recordar qué capa de la piel es cuál al recordar que el prefijo *epi-* significa sobre. Entonces, la *epi* dermis está sobre la dermis.

Más capas

La dermis tiene dos capas:

- La *dermis papilar* cuenta con proyecciones en forma de dedos que se llaman *papilas*. Éstas conectan la dermis con la epidermis. Contiene surcos específicos que en los dedos se conocen como *huellas dactilares*. Estos surcos también ayudan a que los dedos de las manos y pies se agarren a las superficies.
- La *dermis reticular* recubre una capa de tejido subcutáneo. Está conformada por fibras de colágeno y provee fuerza, estructura y elasticidad a la piel.

---

## Tejido subcutáneo

Debajo de la dermis está la tercera capa, el *tejido subcutáneo*, que es una capa de

grasa. Contiene vasos sanguíneos y nervios más grandes, así como células adiposas llenas de lípidos. Esta capa de tejido subcutáneo graso yace sobre los músculos y huesos. Las funciones del tejido subcutáneo incluyen el aislamiento, absorción de golpes y almacenamiento de reservas energéticas.

## Anexos epidérmicos

Encontramos un gran número de anexos epidérmicos a lo largo de la piel, incluyendo el cabello y las glándulas sebáceas y sudoríparas (véase *Piel, cabello y uñas: cambios con la edad*).

### Cabello

Los *cabellos* son columnas largas y delgadas compuestas de queratina. En el extremo inferior de cada cabello hay un bulbo o raíz. En la superficie, la raíz está mellada por una *papila*, un conjunto de tejido conectivo y vasos sanguíneos.



Hará que los cabellos se te pongan de punta

Cada cabello se encuentra en una vaina recubierta de epitelio, conocida como *folículo piloso*. El *músculo erector del pelo*, un grupo de fibras de músculo liso, se extiende a través de la dermis para unirse con la base del folículo. Cuando el músculo se contrae, los cabellos se erizan. Los folículos pilosos presentan gran aporte sanguíneo

y nervioso.



## La tercera edad

### Piel, cabello y uñas: cambios con la edad

En el sistema integumentario, los cambios asociados con la edad pueden implicar a la piel, cabello y uñas.

#### De piel sensible

La piel de las personas cambia conforme envejecen. Por ejemplo, pueden notar líneas alrededor de sus ojos (patas de gallo), boca y nariz. Estas líneas resultan de la pérdida de grasa subcutánea, adelgazamiento de la dermis, disminución del colágeno y la elastina, y disminución del 50% en el reemplazo celular. La piel de las mujeres muestra cambios por la edad alrededor de 10 años antes que la piel de los hombres debido a que es más delgada y seca.

Debido a la tasa disminuida de reemplazo celular en la piel, las heridas pueden sanar más lento y ser propensas a infecciones en las personas mayores. En personas de edad muy avanzada, la piel pierde su elasticidad y puede aparentar que es casi transparente.

Otros cambios incluyen la sequedad de las membranas mucosas, que es resultado de la disminución de la actividad y el número activo de las glándulas sudoríparas. El tamaño, número y función disminuidos de las glándulas sudoríparas, combinado con la pérdida de grasa subcutánea, dificulta la regulación de la temperatura corporal.

La producción de melanocitos también disminuye a medida que una persona envejece. Sin embargo, los melanocitos proliferan a menudo en áreas definidas, lo que causa manchas marrones (lentigo senil o solar). Esto ocurre de manera típica en áreas expuestas frecuentemente al sol. Otras enfermedades de la piel habituales en personas mayores son la queratosis senil (piel seca y áspera) y angioma senil (un tumor benigno de vasos sanguíneos dilatados que resulta del debilitamiento de las paredes de los capilares).

#### Pelo por pelo

También ocurren cambios en el cabello con la edad. El pigmento del cabello disminuye y puede volverse gris o blanco. La pérdida del pigmento hace que el cabello se adelgace. Para los 70 años de edad, es tan delgado como el de un bebé. Los cambios hormonales pueden causar pérdida del vello púbico. Al mismo tiempo, el vello facial aumenta de manera frecuente en las mujeres durante la posmenopausia y disminuye en los hombres.

#### Para morderse las uñas

El envejecimiento también puede alterar las uñas, que pueden crecer a velocidad diferente, aumentar los surcos longitudinales y la descamación, volverse más frágiles y mostrar más malformaciones. Las uñas de los pies también pueden cambiar de color y volverse más gruesas.

---

## Uñas

Las *uñas* se sitúan sobre la superficie distal al final de cada dedo de la mano y el pie. Están compuestas de un tipo de queratina especializado.

En un lecho de uñas

El *cuerpo ungueal*, rodeado en tres lados por los bordes de la uña, el *paroniquio* a los lados y el *eponiquio* en el borde, yace sobre el *lecho ungueal*. El cuerpo ungueal está formado por la matriz, que se extiende de manera proximal cerca de 0.5 cm por debajo del eponiquio.

En la luna

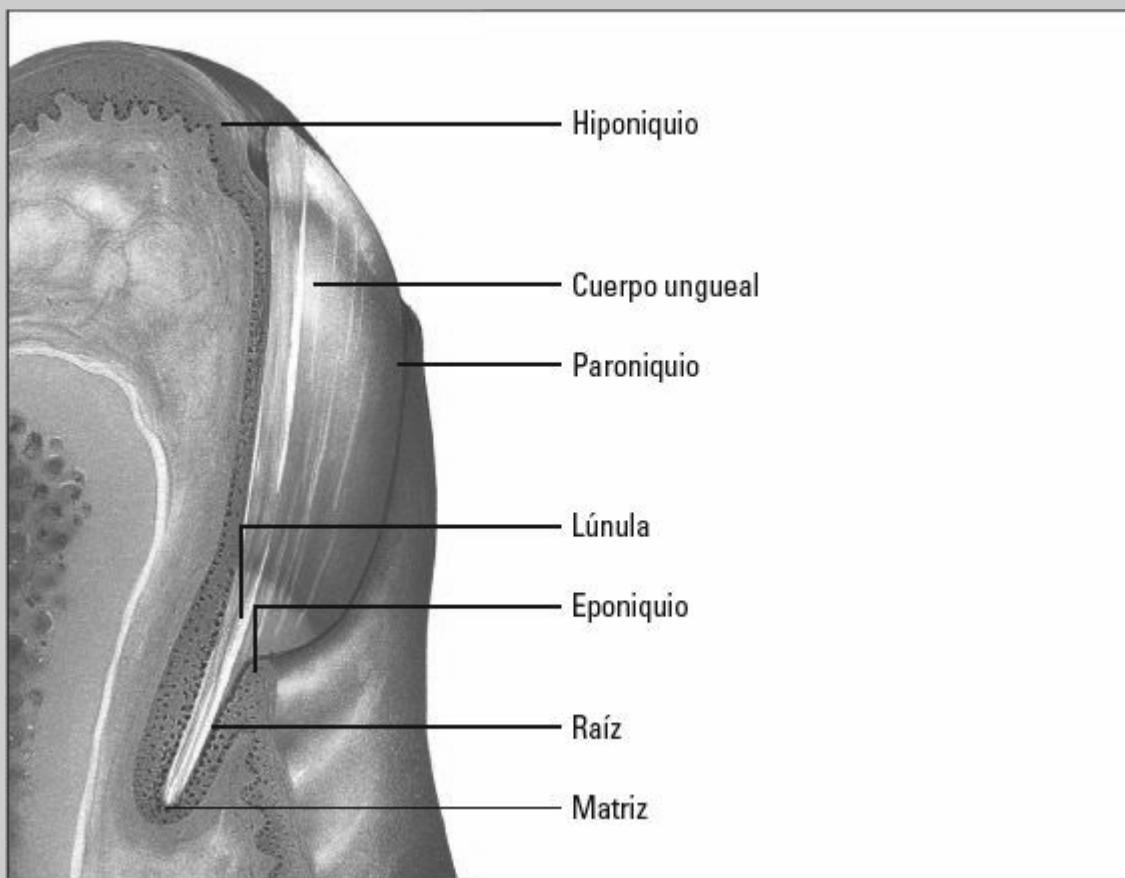
La porción distal de la matriz puede verse a través de la uña como un área en forma de luna creciente llamada *lúnula*. El cuerpo ungueal traslúcido, distal a la lúnula, expone el lecho ungueal. El lecho vascular da el característico color rosa debajo de las uñas (véase *Una uña a gran escala*, p. 54).



## Zoom

### Una uña a gran escala

La ilustración muestra los componentes anatómicos de la uña.



---

## Glándulas sebáceas

Las *glándulas sebáceas* son parte del folículo piloso y están en toda la piel, excepto en las palmas y plantas. Son más abundantes en cuero cabelludo, cara, torso y genitales externos.

### Aceites esenciales

Las glándulas sebáceas producen *sebo*, una mezcla de queratina, grasa y residuos de

celulosa. El sebo combinado con el sudor forma una capa grasosa y ácida con moderada actividad antibacteriana y antimicótica que protege la superficie de la piel. El sebo sale a través del orificio del folículo piloso y llega a la superficie de la piel.

---

## Glándulas sudoríparas

Existen dos tipos de glándulas sudoríparas: glándulas ecrinas y glándulas apocrinas.

### Glándulas ecrinas

Las *glándulas ecrinas* se distribuyen en todo el cuerpo y producen un líquido sin olor, acuoso y con una concentración de sodio igual a la del plasma. Un conducto del glomérulo secretor atraviesa la dermis y la epidermis para salir a la superficie de la piel.



### A liberar la presión

Las glándulas ecrinas en las palmas y plantas secretan líquido principalmente en respuesta al estrés emocional. Por ejemplo, tus glándulas ecrinas podrían secretar líquido mientras resuelves un examen. El resto de los tres millones de glándulas ecrinas responden sobre todo al estrés térmico para regular de manera eficaz la temperatura. Las glándulas ecrinas se encuentran en todas partes, excepto en los labios y el glande.

# Glándulas apocrinas

Las *glándulas apocrinas* se localizan principalmente en el área axilar y anogenital (ingle). Estas glándulas tienen un glomérulo secretor y se encuentran en una capa de la dermis más profunda que en la que están las glándulas ecrinas. Las glándulas apocrinas están conectadas con la parte superior del folículo piloso mediante un conducto.

¿Qué huele tan mal?

Las glándulas apocrinas comienzan a funcionar durante la pubertad. Sin embargo, no tienen ninguna función biológica conocida. El mal olor corporal surge a medida que las bacterias descomponen las sustancias producidas por estas glándulas.



## Preguntas de autoevaluación

1. Son algunas de las funciones principales de la piel:

- A. Sostén, nutrición y sensibilidad
- B. Protección, percepción sensitiva y regulación de la temperatura
- C. Transporte de líquidos, percepción sensitiva y regulación del envejecimiento
- D. Protección, respuesta motora y filtración

**Respuesta:** B. Las principales funciones de la piel son proteger del daño y sustancias químicas nocivas, evitar la invasión de bacterias, la percepción sensitiva de tacto, temperatura y dolor, y regular la temperatura corporal.

2. La capa más superficial de la piel es:

- A. La epidermis
- B. La dermis
- C. La hipodermis
- D. La dermis papilar

**Respuesta:** A. La epidermis es la capa más superficial de la piel, compuesta por epitelio plano estratificado avascular.

3. ¿Qué estructura del sistema integumentario es considerada un anexo epidérmico?

- A. Vaso sanguíneo
- B. Nervio
- C. Estrato basal
- D. Cabello

**Respuesta:** D. Los anexos de la epidermis son: uñas, cabello, glándulas sebáceas, glándulas ecrinas y glándulas apocrinas.

4. El sebo es una mezcla de:

- A. Celulosa, grasa y queratina
- B. Colágeno y elastina
- C. Sustancias acuosas y sodio
- D. Proteínas, agua y electrolitos

**Respuesta:** A. El sebo se produce en las glándulas sebáceas, y es una mezcla de queratina, grasa y desechos de celulosa.

5. Las glándulas sudoríparas que se distribuyen de manera amplia en todo el cuerpo son:

- A. Apocrinas

- B. Ecrinas
- C. Adiposas
- D. Sebáceas

**Respuesta:** B. Las glándulas ecrinas se distribuyen ampliamente en todo el cuerpo y producen un líquido inodoro y acuoso.

---

## Puntuación

- ☆☆☆ Si contestaste las cinco preguntas correctamente, ¡asombroso! Tienes cubierto al sistema integumentario.
- ☆☆ Si respondiste cuatro preguntas de manera correcta, ¡genial! Estás arañando la superficie de este sistema.
- ☆ Si contestaste menos de cuatro preguntas de manera correcta, no sudes. Sólo regresa a revisar este capítulo.

---

## Bibliografía

Hall, J. (2015). *Guyton and Hall textbook of medical physiology* (13th ed.) Philadelphia, PA: Elsevier.

Saladin, K. (2014). *Anatomy & physiology: The unity of form and function* (7th ed.). New York, NY: McGraw Hill.

# Capítulo 5

## Sistema musculoesquelético

### Objetivos



En este capítulo aprenderás:

- ◆ Principales músculos y huesos del cuerpo
- ◆ Tipos de tejido muscular y sus funciones
- ◆ Tipos de huesos y sus funciones
- ◆ Funciones, movimiento y estructura de los tendones, ligamentos, cartílagos y bolsas sinoviales en el cuerpo

### Una mirada al sistema musculoesquelético

El sistema musculoesquelético se compone de músculos, tendones, ligamentos, huesos, articulaciones, cartílagos y bolsas sinoviales. Estas estructuras dan al cuerpo humano su forma y la capacidad de moverse.



Las estructuras del sistema musculoesquelético trabajan juntas para brindar soporte y generar movimiento.



## ¿Cómo se mueve el cuerpo?

Diferentes partes del sistema musculoesquelético trabajan en conjunto con el sistema nervioso para producir movimientos voluntarios. Los músculos se contraen al ser estimulados por impulsos del sistema nervioso.

Usa la fuerza

Durante la contracción, el músculo se acorta y tira de los huesos de los que está unido. La fuerza se aplica al tendón y el hueso se aleja, se acerca o rota alrededor de otro hueso, de acuerdo con el tipo de músculo que se haya contraído. La mayoría de los movimientos involucran a grupos de músculos en lugar de un solo músculo.

## Músculos

Existen tres tipos principales de músculos en el cuerpo humano. Se clasifican de acuerdo con el tejido que contienen:

1. Músculo *cardíaco* (corazón): está hecho de un tipo de tejido estriado especializado.

2. Músculo *liso* (involuntario): contiene tejido muscular liso.

3. Músculo *esquelético* (voluntario y reflejo): se compone de tejido estriado.



## Para recordar

Para recordar las funciones de los músculos, piensa en *millas por hora (MPH)*:

**M**ovimiento

**P**ostura

**C**alor (**H**eat)

### El tipo unido

Este capítulo trata solamente acerca del músculo esquelético (el tipo de músculo que está unido a los huesos). El cuerpo humano tiene alrededor de 600 músculos esqueléticos (véase *Los principales músculos esqueléticos*).

---

## Funciones musculares

Los músculos esqueléticos mueven partes del cuerpo o el organismo como un todo. Son responsables de movimientos tanto voluntarios como reflejos. Los músculos esqueléticos también mantienen la postura y generan calor corporal.

---

## Estructura muscular

El músculo esquelético está conformado por células largas y grandes llamadas *fibras musculares*. Cada fibra posee muchos núcleos y series de estructuras fibrosas internas cada vez más pequeñas (véase *La estructura muscular de cerca*, p. 60).

### De afuera hacia adentro

Las estructuras de una fibra muscular desde el exterior al interior son:

- *Endomisio*: capa de tejido conectivo que rodea a una fibra muscular.
- *Sarcolema*: membrana plasmática de la célula que se sitúa debajo del endomisio y justo por encima del núcleo de la célula.
- *Sarcoplasma*: se trata del citoplasma de la célula muscular contenido en el sarcolema.
- *Miofibrillas*: pequeñas estructuras filiformes que viajan por toda la longitud de la fibra y corresponden a la mayor parte de ésta.
- *Miosina* (filamentos gruesos) y *actina* (filamentos delgados): fibras aún más

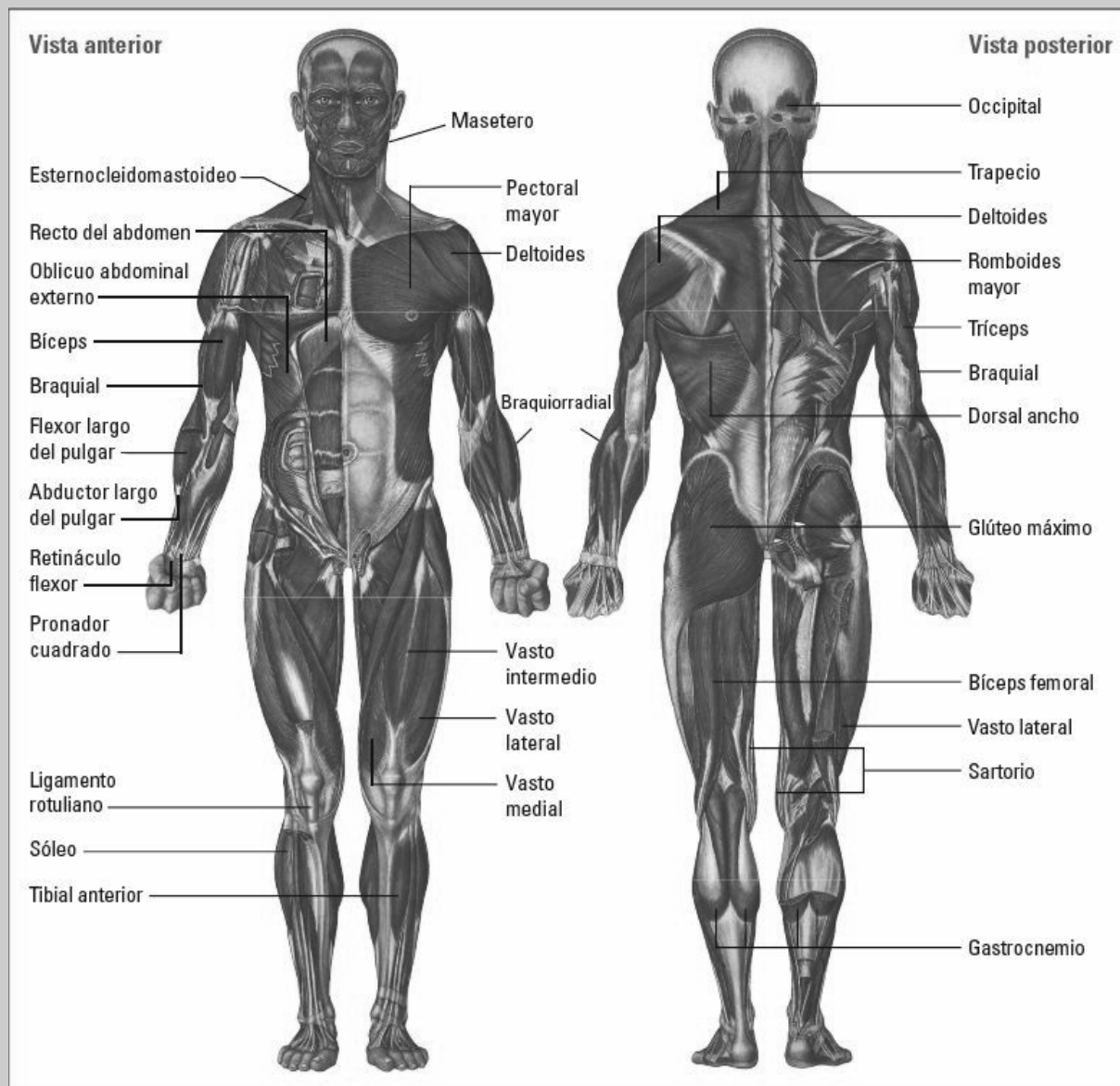
delgadas adentro de las miofibrillas. Hay alrededor de 1 500 de miosina y 3 000 de actina.



## La máquina perfecta

### Principales músculos esqueléticos

Esta ilustración muestra las vistas anterior y posterior de algunos de los principales músculos.



## Zoom

### La estructura muscular de cerca

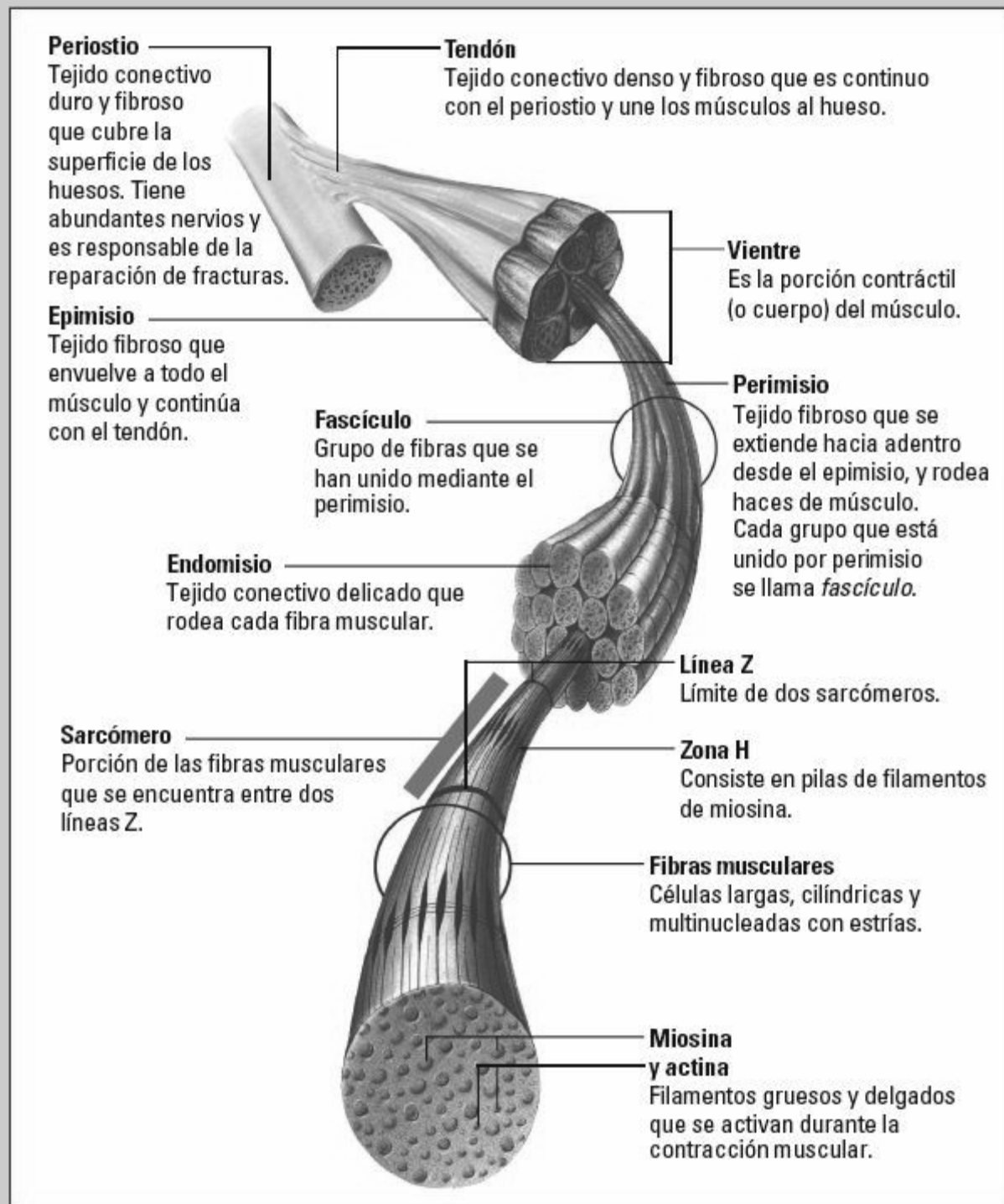
El músculo esquelético contiene grupos celulares llamados *fibras musculares*. Esta ilustración muestra el músculo y sus fibras.

### En un aprieto

El *perimisiso*, una vaina de tejido conectivo, une las fibras musculares en un haz (*fascículo*). El *epimisiso* mantiene juntos los fascículos. En los extremos del músculo, se convierte en tendón.

### Rodeado

El *sarcolema* es una membrana delgada que cubre una fibra muscular. Las pequeñas miofibrillas dentro de las fibras musculares contienen fibras aún más delgadas llamadas *miosina* (filamentos gruesos) y *actina* (filamentos delgados).



## Sarcómeros de lado a lado

La miosina y actina están dentro de compartimentos llamados *sarcómeros*. Los sarcómeros son las unidades funcionales del músculo esquelético. Durante la contracción muscular, la miosina y actina se deslizan una sobre otra para reducir la longitud del sarcómero.

## Rayas de “Zebra”

Los compartimentos de los sarcómeros de todas las miofibrillas en una fibra están alineados. Cuando una fibra muscular se ve al microscopio, de forma transversal (en ángulos rectos en relación con el eje largo) se ven rayas llamadas *estrias* (o líneas Z). Las líneas Z marcan el inicio de los sarcómeros.

## Un fascículo de fascículos

Una vaina fibrosa de tejido conectivo, llamada *perimisia*, une las fibras musculares en un haz, o *fascículo*. Una vaina aún más fuerte, el *epimisia*, une todos los fascículos para formar el músculo. Cuando el epimisia se extiende más allá del músculo, se convierte en un tendón.



---

## Inserciones musculares

La mayoría de los músculos esqueléticos se unen a los huesos, ya sea de manera directa o indirecta.

### El enfoque directo

En las inserciones directas, el epimisio del músculo se une al periostio, la membrana fibrosa que recubre al hueso.

### Tira una indirecta

En la inserción indirecta, la forma más frecuente, el epimisio se extiende más allá del músculo en forma de tendón, o *aponeurosis*, y se inserta al hueso.

## Contracción

Durante la contracción, uno de los huesos a los que se encuentra unido el músculo se mantiene relativamente inmóvil, mientras que otro de ellos se mueve hacia el que está estacionario.

### Origen e inserción

El punto en que el músculo se une al hueso estacionario, o donde se mueve menos, se llama *origen*. El punto en el que el músculo se une al hueso más móvil se llama *inserción*. El origen se encuentra de manera frecuente en el extremo proximal del hueso. El sitio de inserción está en el extremo distal.

---

## Crecimiento muscular

El músculo se desarrolla cuando hay hipertrofia de las fibras musculares. La fuerza y tamaño de los músculos varían entre individuos debido a factores como el ejercicio, nutrición, sexo, edad y constitución genética. Los cambios en cuanto a nutrición o ejercicio afectan la fuerza y tamaño de los músculos en una persona (véase *Cambios musculares relacionados con la edad*).



---

## Movimientos musculares

El músculo esquelético permite varios tipos de movimiento. El nombre funcional de un músculo corresponde al tipo de movimiento que permite. Por ejemplo, un músculo flexor permite doblar (*flexión*), un aductor permite el movimiento hacia el eje del cuerpo (*aducción*) y otros permiten el movimiento circular (*circunducción*) (véase *Fundamentos del movimiento corporal*).

---

## Músculos del esqueleto axial

Los músculos del esqueleto axial son esenciales para la respiración, el habla, la expresión facial, la postura y la masticación. Entre ellos se incluyen:

- Músculos de la cara, lengua y cuello
- Músculos de la masticación
- Músculos de la columna vertebral localizados a lo largo de la columna vertebral
- Músculos de la caja torácica



## La tercera edad

### Cambios musculares relacionados con la edad

A medida que una persona envejece, la disminución en la estatura es un cambio visible del sistema musculoesquelético. Esto ocurre debido a la curvatura exagerada de la columna y a que los espacios intervertebrales se hacen más angostos. Lo anterior da lugar a que el tronco se acorte y los brazos parezcan más largos.

Otros cambios que aparecen con el envejecimiento son la disminución de la masa muscular, que puede llevar a debilidad muscular y reducción de la densidad ósea, que a su vez lleva a que los huesos se fracturen con mayor facilidad. Además, la producción de colágeno disminuye, lo que hace que las articulaciones y sus estructuras de sostén pierden resistencia y elasticidad. El líquido sinovial se vuelve más viscoso y las membranas sinoviales se hacen fibrosas, lo que da lugar a articulaciones rígidas.

El envejecimiento también puede dificultar la marcha. Por lo general, las personas mayores caminan con pasos cortos y una postura más abierta para ganar estabilidad y equilibrio.



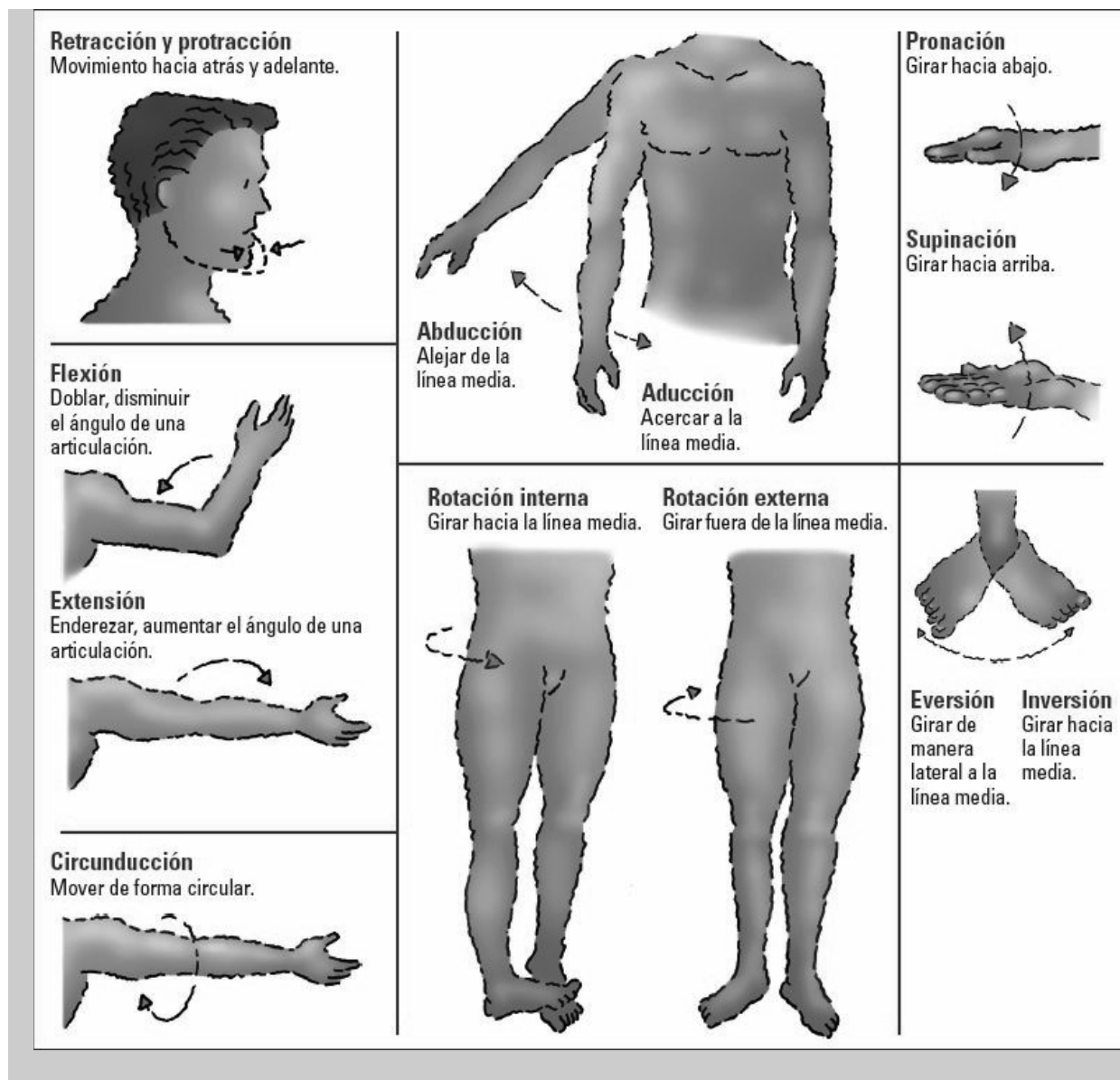
## La máquina perfecta

### Fundamentos del movimiento corporal

El movimiento muscular simple se demuestra de mejor manera en las articulaciones diartrodiales, que permiten 13 movimientos angulares y circulares:

- El hombro muestra circunducción.
- El codo muestra flexión y extensión.
- La cadera muestra rotación interna y externa.
- El brazo muestra abducción y aducción.
- La mano muestra supinación y pronación.
- La mandíbula muestra retracción y protracción.
- El pie muestra eversión e inversión.





## Músculos del esqueleto apendicular

El esqueleto apendicular incluye los músculos de:

- Hombro
- Cavidad abdominal y pélvica
- Extremidades superiores e inferiores

Los músculos de las extremidades superiores se clasifican de acuerdo con los huesos que mueven. Los músculos que mueven el brazo se catalogan en los que tienen origen en el esqueleto axial y los que tienen origen en la escápula.

## Tendones y ligamentos

Los *tendones* son bandas de tejido conectivo fibroso que unen los músculos al periostio, la membrana fibrosa que cubre el hueso. Los tendones permiten a los

huesos moverse cuando los músculos esqueléticos se contraen.

Los *ligamentos* son bandas de tejido conectivo fibroso densas, fuertes y flexibles que unen huesos a otros huesos.

## Huesos

El esqueleto humano consta de 206 huesos: 80 forman el *esqueleto axial*, llamado así por estar en el eje o línea media del cuerpo, y 126 forman el *esqueleto apendicular*, en relación con las extremidades, o apéndices, del cuerpo (véase *Una mirada a los huesos principales*).

### Ojo con el eje

Los huesos del esqueleto axial incluyen:

- Huesos craneales y faciales
- Hueso hioides
- Vértebras
- Costillas y esternón

### Apéndices en el eje

Los huesos del esqueleto apendicular incluyen:

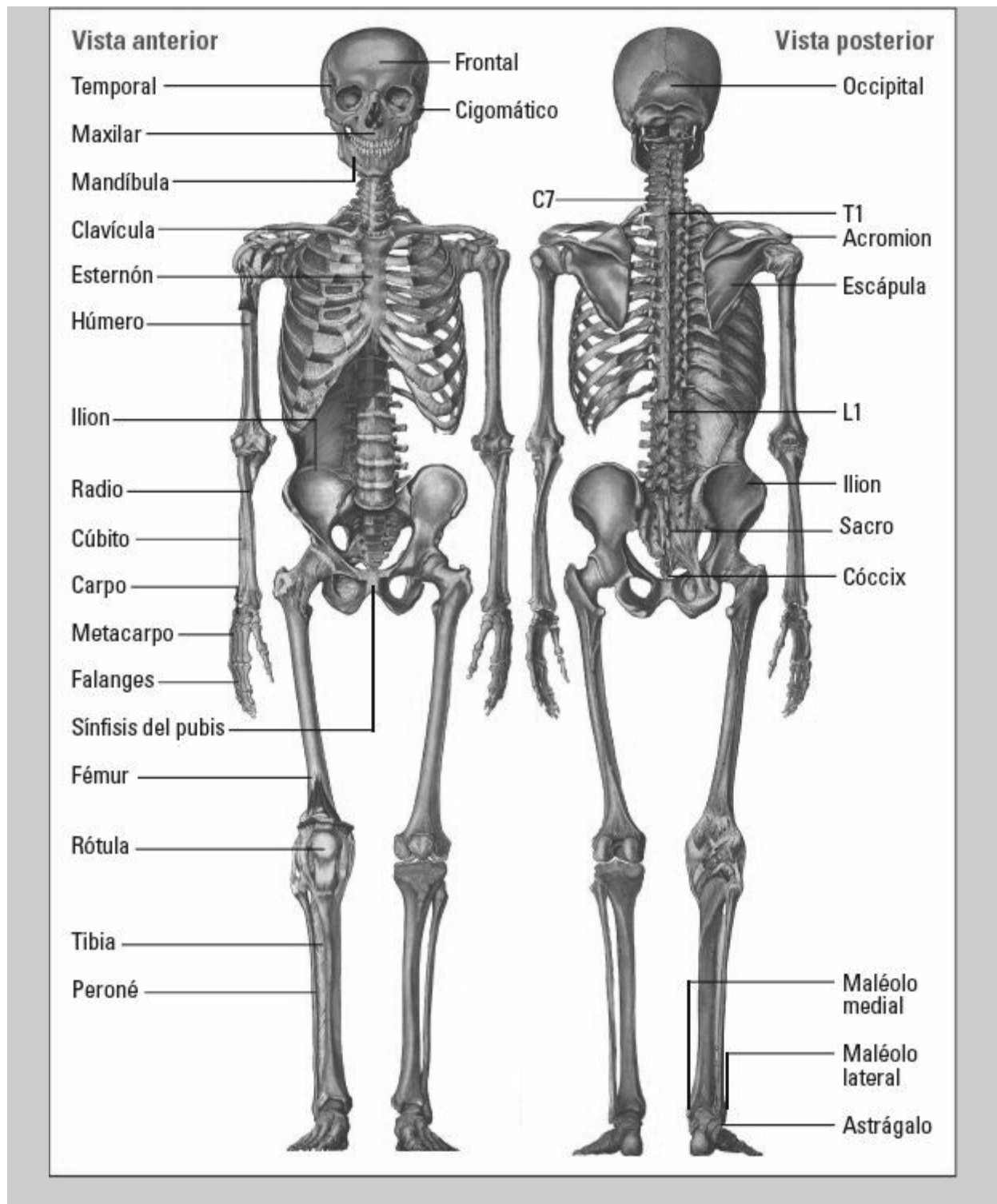
- Clavícula
- Escápula
- Húmero, radio, cúbito (ulna), carpianos, metacarpianos y falanges
- Huesos pélvicos
- Fémur, rótula, peroné (fibula), tibia, tarsianos, metatarsianos y falanges



## La máquina perfecta

### Una mirada a los huesos principales

Estas ilustraciones muestran los principales huesos y grupos óseos en el cuerpo.



## Clasificación de los huesos

Por lo general, los huesos se clasifican por su forma. En consecuencia, los huesos pueden clasificarse como:

- Largos (como el húmero, radio, fémur y tibia) (véase *Los huesos largos*)
- Cortos (como los del carpo y tarso)
- Planos (como la escápula, costillas y cráneo)

- Irregulares (como las vértebras y mandíbula)
- Sesamoideos (huesos pequeños en un tendón, como la rótula)

---

## Funciones de los huesos

Los huesos realizan diversas funciones anatómicas (mecánicas) y fisiológicas. Los huesos:

- Protegen tejidos y órganos internos.
- Estabilizan y brindan soporte al cuerpo.
- Proveen una superficie para que se unan músculos, ligamentos y tendones.
- Producen movimiento mediante un mecanismo de palanca cuando se contraen.
- Producen eritrocitos en la médula ósea (*hematopoyesis*).
- Almacenan sales minerales (como el 99% del calcio en el cuerpo).

---

## Aporte de sangre

La sangre llega a los huesos por tres caminos:

1. *Conductos de Havers*: conductos diminutos que se encuentran paralelos al eje del hueso y por los que pasan las arteriolas.
2. *Conductos de Volkmann*: conductos que contienen vasos que conectan un canal de Havers con otro y al exterior del hueso.
3. *Vasos*: a los extremos de los huesos y dentro de la médula ósea.



---

## Formación del hueso

A los 3 meses de gestación, el esqueleto del feto se compone de cartilago. Al llegar a los 6 meses, el cartilago fetal se ha convertido en un esqueleto de hueso (véase *Crecimiento y remodelación ósea*, pp. 68 y 69).

La osificación es un trabajo duro

Después del nacimiento, algunos huesos, sobre todo los del carpo y tarso, se *osifican* (se endurecen). Este cambio es consecuencia de la *osificación endocondral*, un proceso por el cual los *osteoblastos*, células formadoras de hueso, producen *osteoides* (un material de colágeno que se osifica).



## Zoom

### Los huesos largos

Las principales partes de un hueso largo, que se muestran a continuación, son la *diáfisis* (cuerpo) y la *epífisis* (extremos). La *metáfisis* es el extremo acampanado de la diáfisis, y es en donde el cuerpo se une con la epífisis. El periostio rodea la diáfisis, y el endostio rodea la cavidad medular. En la línea epifisaria, el cartílago separa la epífisis de la diáfisis.

#### Dos tipos de tejido óseo

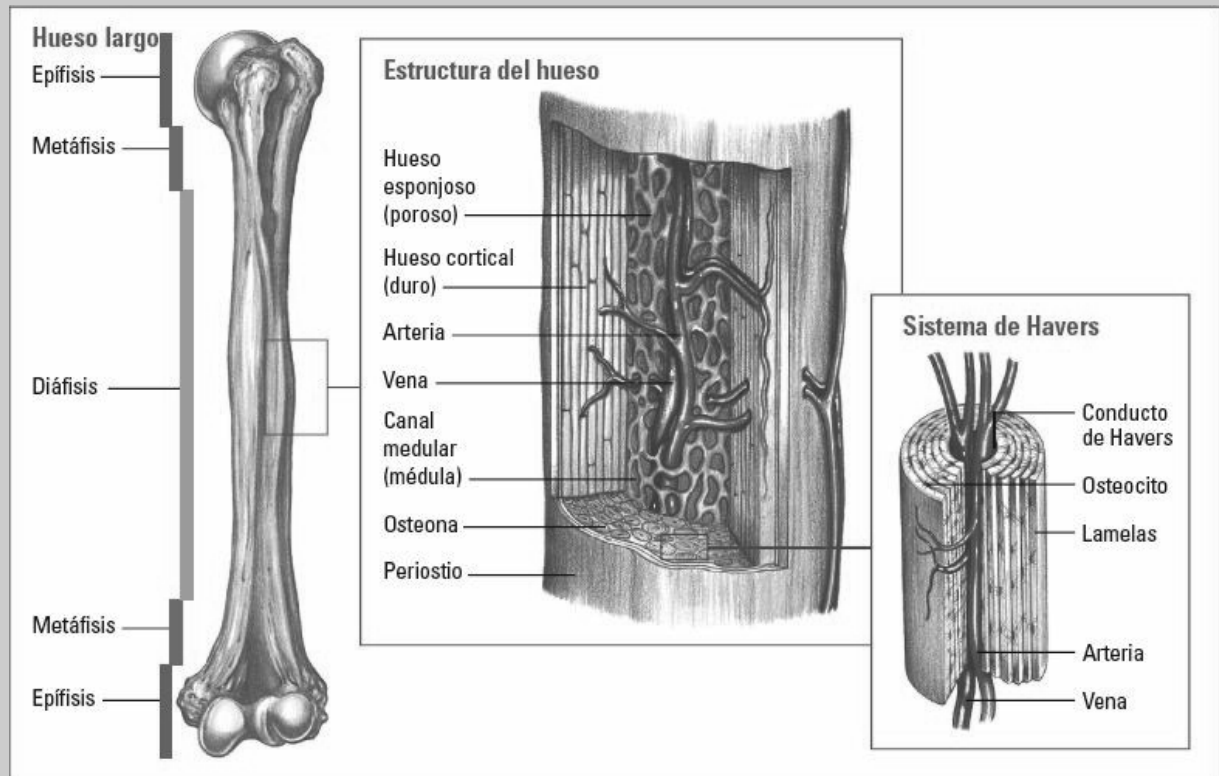
Cada hueso se compone de una capa exterior de hueso denso, compacto y liso que contiene a los canales de Havers, y de una capa interna porosa de hueso esponjoso que no tiene estos canales.

#### Hueso esponjoso

El hueso esponjoso está formado por pequeñas espículas, llamadas *trabéculas*, que se entrelazan para formar un enrejado. La médula roja llena los espacios entre las trabéculas de algunos huesos. El hueso esponjoso llena las regiones centrales de la epífisis y la parte interna de los huesos cortos, planos e irregulares.

#### Hueso compacto

El hueso compacto se encuentra en la diáfisis de los huesos largos y las capas externas de los huesos cortos, planos e irregulares. El hueso se compone de capas de matriz calcificada con espacios que contienen osteocitos (células óseas). Las *lamelas* (laminillas de hueso) se organizan alrededor de los canales centrales (de Havers). Los osteocitos se encuentran en pequeñas cavidades entre las lamelas, llamadas *lagunas*. Los canalículos (canales pequeños) conectan a las lagunas para formar las unidades estructurales del hueso. Los canalículos proporcionan los nutrientes al tejido óseo.





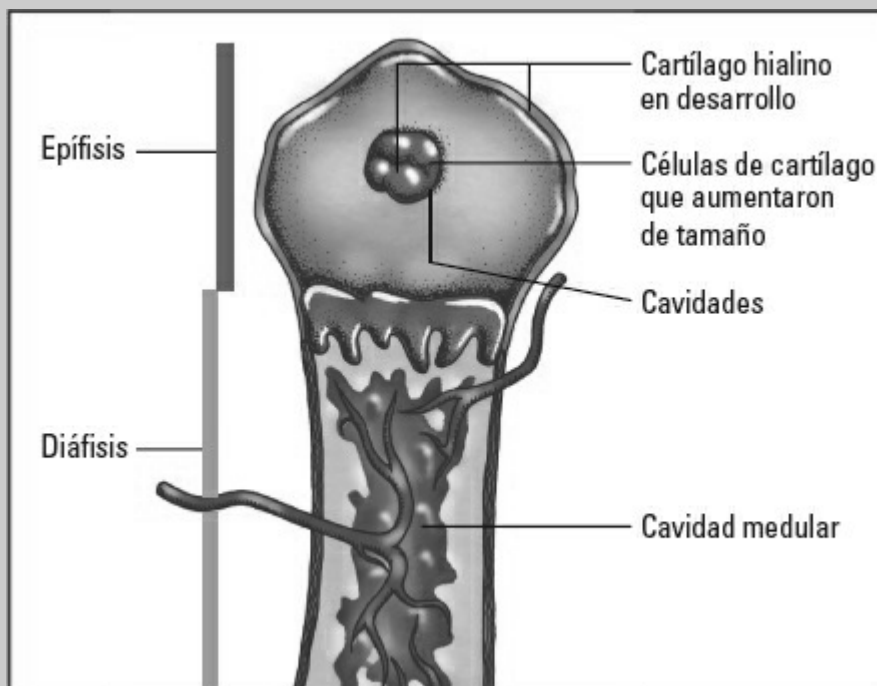
## Zoom

### Crecimiento y remodelación ósea

La osificación del cartílago en hueso, u *osteogénesis*, comienza alrededor de la novena semana de desarrollo fetal. La diáfisis de los huesos largos ya está formada al momento del nacimiento, y las epífisis se osifican cerca de este momento. Estas son las etapas del crecimiento y remodelación de las epífisis de un hueso largo.

#### Creación de un centro de osificación

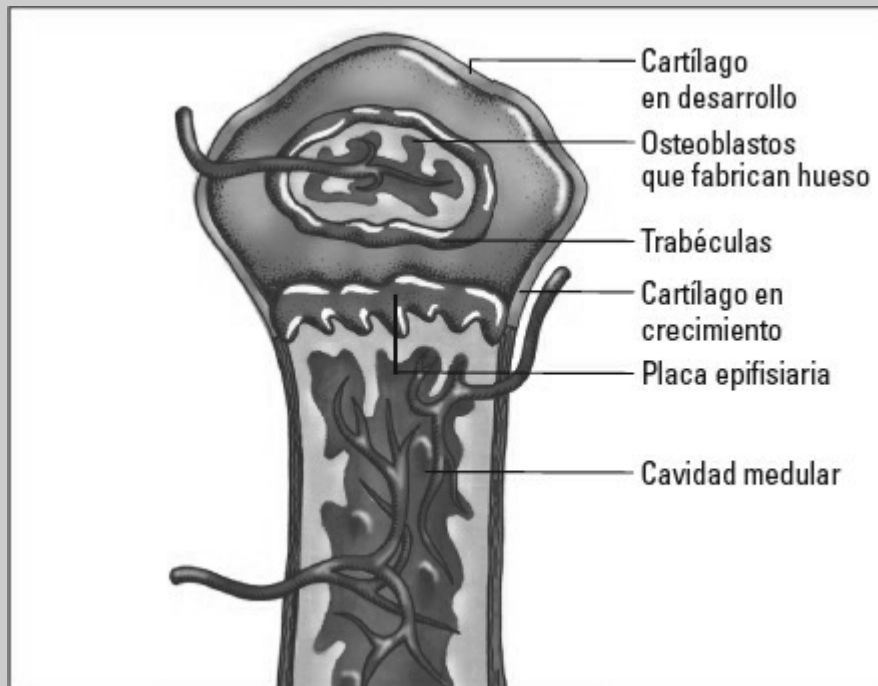
Cerca del noveno mes, se forma un centro de osificación. Algunas células de cartílago aumentan su tamaño y estimulan la osificación de células a su alrededor. Las células que aumentaron su tamaño mueren y dejan pequeñas cavidades. El cartílago nuevo se sigue desarrollando.



#### Los osteoblastos forman el hueso

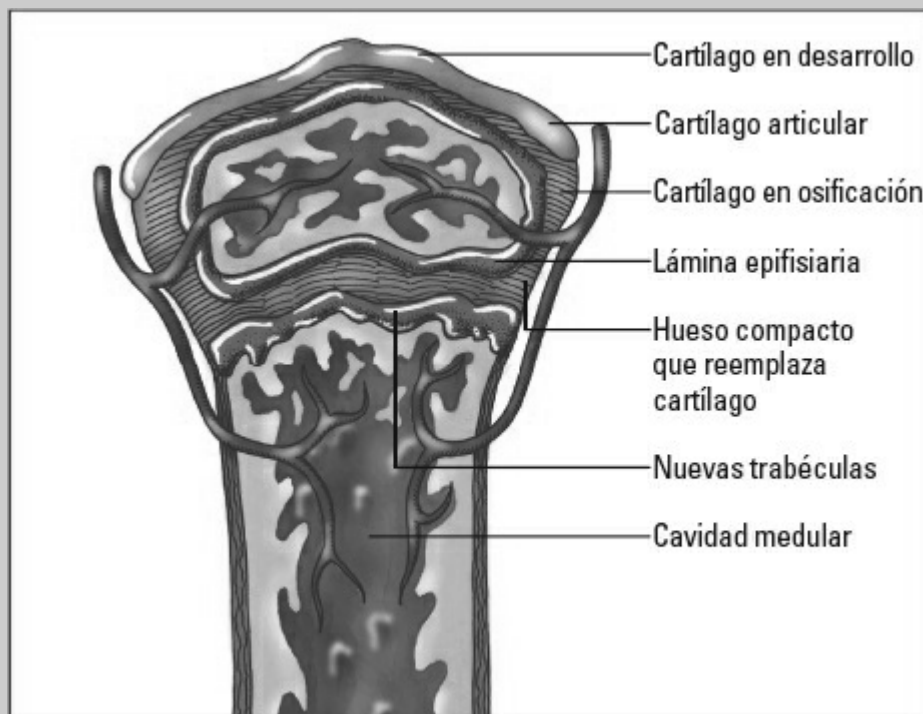
Los osteoblastos comienzan la formación de hueso en el cartílago, y forman la red de trabéculas del

hueso esponjoso. El cartílago continúa formándose en las superficies exteriores de la epífisis y a lo largo de la lámina epifisaria.



### Aumenta la longitud del hueso

El cartílago es reemplazado por hueso compacto cerca de las superficies exteriores de la epífisis. Sólo las células de cartílago en la superficie superior de la lámina epifisaria continúan multiplicándose de modo acelerado, esto causa que la epífisis se aleje de la diáfisis. Este nuevo cartílago se osifica a fin de crear trabéculas en el lado medular de la lámina epifisaria.

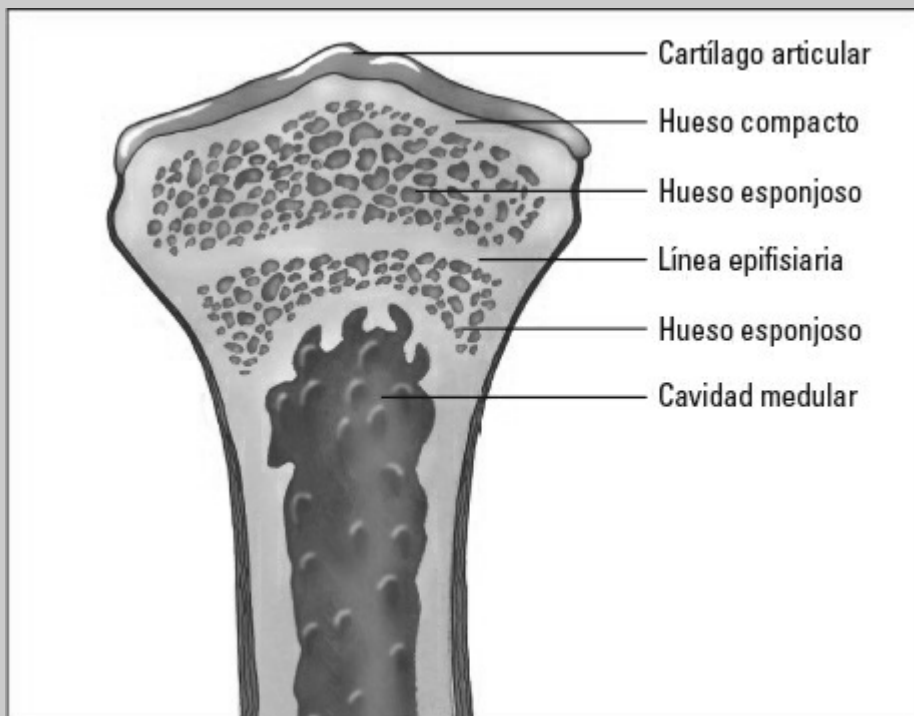


### Remodelación

Los osteoclastos producen enzimas y ácidos que desintegran las trabéculas creadas por la lámina epifisaria, lo que amplía la cavidad medular. En la epífisis, los osteoclastos desintegran hueso y dejan disponible al calcio para que nuevos osteoblastos lo utilicen y den a la epífisis su forma y proporción en el adulto. En adultos jóvenes, la lámina epifisaria se osifica por completo (se cierra) y se convierte en la



línea epifisaria. Este proceso detiene el crecimiento longitudinal del hueso.



La densidad ósea comienza a disminuir después de los 30 años de edad en las mujeres y después de los 45 años en los hombres.



---

## Remodelación ósea

Los responsables de la *remodelación* (proceso continuo en el que el hueso es creado y destruido) son dos tipos de osteocitos: osteoblastos y osteoclastos.

### Blastos a los huesos

Los *osteoblastos* depositan hueso nuevo, mientras que los *osteoclastos* incrementan el diámetro de los huesos largos. Los osteoclastos promueven el crecimiento longitudinal óseo al reabsorber el hueso que se ha depositado con anterioridad. Este crecimiento continúa hasta que las *láminas epifisarias* se osifican en la parte final de la adolescencia. Las placas epifisarias son cartílago que separa la *diáfisis*, o cuerpo, del hueso de las *epífisis*, o extremos.



### Para recordar

Para recordar la función de los osteocitos (remodelación ósea), recuerda que se encuentran en el “cito” (sitio) de construcción.

## Cartílago

El *cartílago* es un tejido conectivo denso que se compone de fibras incrustadas en una sustancia fuerte con una consistencia similar al gel. A diferencia del rígido hueso, el cartílago tiene una flexibilidad similar a la del plástico.

El cartílago sostiene y da forma a varias estructuras, como el conducto auditivo, la laringe y los discos intervertebrales. También amortigua y absorbe golpes para evitar que estos se transmitan directamente al hueso. El cartílago no tiene aporte sanguíneo o inervación, por lo que su capacidad para sanar se encuentra afectada.

Los tres tipos de cartílago son:

1. Hialino
2. Fibroso
3. Elástico

### Conector común

El *cartílago hialino* es el tipo más común de cartílago; recubre las superficies articulares de los huesos (el lugar en donde un hueso, o más, se unen en una articulación). También conecta las costillas al esternón y lo vemos en la tráquea, los bronquios y el tabique nasal.

### El tipo fuerte y rígido

El *cartílago fibroso* conforma la sínfisis del pubis y los discos intervertebrales. Este tipo de cartílago se compone de pequeñas cantidades de matriz y abundantes elementos fibrosos. Es fuerte y rígido.

### Mantenerse flexible

El *cartílago elástico*, el tipo más maleable, se ubica en el conducto auditivo, el oído externo y la epiglotis. Un gran número de fibras elásticas brindan a este tipo de cartílago elasticidad y resistencia.

## Articulaciones

Las *articulaciones* son puntos de contacto donde dos huesos se mantienen unidos. Algunas articulaciones también permiten tener flexibilidad y movimiento.

### Clasificación de las articulaciones

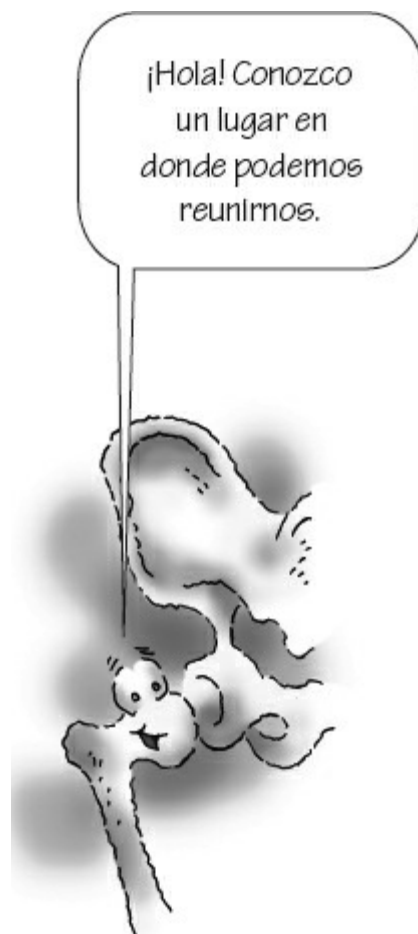
Las articulaciones pueden clasificarse de acuerdo con su función (amplitud de

movimiento) o por su estructura (de qué están hechas). El cuerpo tiene tres tipos principales de articulaciones divididos por función y otros tres tipos divididos por estructura.

## Clasificación funcional

Por función, pueden clasificarse en:

1. Sinartrosis (inmóviles como las suturas del cráneo)
2. Anfiartrosis (con poco movimiento, como la articulación esternocostal)
3. Diartrosis (con movimiento libre, como el codo)



## Clasificación estructural

Por estructura, pueden clasificarse en:

1. Fibrosas
2. Cartilaginosas
3. Sinoviales

### *Articulaciones fibrosas*

En las *articulares fibrosas*, las superficies articulares de los dos huesos se encuentran unidas estrechamente por tejido conectivo fibroso, por lo que sólo es posible poco movimiento. Las articulaciones fibrosas incluyen las *suturas*, las *sindesmosis* (como la articulación radiocubital) y las *gonfosis* (como las articulaciones alveolodentales).

### ***Articulaciones cartilagosas***

En las *articulaciones cartilagosas* (también denominadas *anfiartrosis*), el cartílago conecta un hueso con otro. Las articulaciones cartilagosas permiten poco movimiento. Sus tipos son:

- *Sincondrosis*: suelen ser articulaciones temporales en las que el cartílago hialino se convierte en hueso al llegar a la edad adulta, como las láminas epifisarias de los huesos largos.
- *Sínfisis*: articulaciones con un cojinete de fibrocartílago, como la sínfisis del pubis.

### ***Articulaciones sinoviales***

Las superficies adyacentes en las *articulaciones sinoviales* se separan por un líquido viscoso (*líquido sinovial*) que lubrica la unión y mediante el cartílago. Están unidas por ligamentos cubiertos de una membrana que produce líquido sinovial. Las articulaciones que se mueven libremente (diartrosis) y las sinoviales forman la mayor parte de las articulaciones de los brazos y las piernas.

Otras características de las articulaciones sinoviales son:

- *Cavidad articular*: espacio potencial que separa las superficies de ambos huesos.
- *Cápsula articular*: espacio en forma de bolsa con una capa externa cubierta de una membrana sinovial vascular.
- *Ligamentos de refuerzo*: tejido fibroso que conecta los huesos con la articulación y refuerza la cápsula articular.

Las articulaciones sinoviales se mueven de manera libre e incluyen la mayor parte de las articulaciones de los brazos y las piernas.



---

## Subdivisiones de las articulaciones

Con base en su estructura y el tipo de movimiento que permiten, las articulaciones sinoviales se clasifican en diversas subdivisiones: planas, trocleares, trocoides, elipsoideas, en silla de montar y esferoideas.

Que se deslicen

Las *articulaciones planas* tienen una superficie plana, o ligeramente curva, que permite movimientos deslizantes. Sin embargo, cuando están unidas por ligamentos, no pueden moverse en todas las direcciones. Algunos ejemplos de articulaciones planas son las del tarso y el carpo de los pies y manos.

Abre la puerta

Las *articulaciones trocleares* (bisagra o gínglimo) tienen una porción de hueso convexa que se une a la porción cóncava de otro. El movimiento de una articulación troclear es similar a la bisagra de una puerta, y está limitada a la flexión y extensión. Las articulaciones del codo y rodilla son trocleares.



### Articulaciones pivote

La porción redondeada de un hueso en una *articulación trocoide* (en pivote) encaja en el surco de otro hueso. Las articulaciones trocoides permiten sólo la rotación uniaxial del primer hueso alrededor del segundo. Un ejemplo de articulación trocoide es la cabeza del radio, la cual gira alrededor de la escotadura radial del cúbito.

### La elipsis de la mano

En las *articulaciones elipsoideas (condíleas)*, una superficie ovalada de un hueso encaja con la concavidad de otro. Las articulaciones elipsoideas permiten flexión, extensión, abducción, aducción y circunducción. Ejemplos de este tipo de articulaciones son la radiocarpiana y metacarpofalángicas.

### Ensilla al caballo

Las *articulaciones en silla de montar* son similares a las elipsoideas, pero permiten mayor amplitud de movimiento. La única articulación en silla de montar en el cuerpo es la carpometacarpiana del pulgar.

### A mover la cadera

Las *articulaciones esferoideas* reciben su nombre gracias a la forma en que se conectan sus huesos. La cabeza esférica de un hueso encaja en la cavidad cóncava de otro. Las únicas articulaciones esferoideas en el cuerpo son las del hombro y la cadera.

## Bolsas sinoviales

Las *bolsas sinoviales* son sacos de líquido que se ubican en puntos de fricción alrededor de las articulaciones, entre tendones, ligamentos y huesos.

### Reductores de estrés

Las bolsas sinoviales funcionan como colchones que disminuyen el estrés sobre las estructuras adyacentes. La bolsa sinovial subacromial (en el hombro) y la prerrotuliana (en la rodilla) son ejemplos de bolsas sinoviales.



## Preguntas de autoevaluación

1. ¿Cuál es el tipo de músculo que se considera voluntario?

- A. Cardíaco
- B. Liso
- C. Esquelético
- D. Epimisio

**Respuesta:** C. El músculo esquelético es voluntario, lo que significa que se puede mover cuando quieras. El sistema muscular se compone principalmente de músculo esquelético.

2. ¿Cuál de los siguientes enunciados sobre el cartílago es verdadero?

- A. Recibe aporte sanguíneo abundante
- B. Protege estructuras del cuerpo
- C. Es completamente flexible
- D. Amortigua y absorbe el impacto

**Respuesta:** D. El cartílago es responsable de sostener, amortiguar y dar forma a algunas estructuras del cuerpo. Los tipos de cartílago son fibroso, hialino y elástico.

3. El tipo de articulación que permite movimiento libre se clasifica como:

- A. Sinartrosis
- B. Cartilaginosa
- C. Diartrosis
- D. Fibrosa

**Respuesta:** C. Las diartrosis incluyen los tobillos, muñecas, rodillas, caderas y hombros. Estas articulaciones permiten movimiento libre.

4. La articulación metacarpofalángica del pulgar se clasifica como:

- A. Articulaciones trocoides
- B. Articulaciones en silla de montar
- C. Articulaciones trocleares
- D. Articulaciones planas

**Respuesta:** B. Las articulaciones en silla de montar son similares a las articulaciones elipsoideas. La única articulación en silla de montar es la carpometacarpiana del pulgar.

---

## Puntuación

☆☆☆ Si contestaste cuatro preguntas de manera correcta, ¡sorprendente! Has utilizado tus músculos mentales, y estás listo para afrontar el siguiente sistema.

☆☆ Si respondiste tres preguntas de forma adecuada, ¡espléndido! Ya entiendes



la médula de este sistema.

- ☆ Si contestaste menos de tres preguntas de manera correcta, no te preocupes. Es momento de regenerar tu conocimiento y revisar de nuevo este capítulo.

---

## Bibliografía

Hall, J. (2015). *Guyton and Hall textbook of medical physiology* (13th ed.). Philadelphia, PA: Elsevier.

Saladin, K. (2014). *Anatomy & physiology: The unity of form and function* (7th ed.). New York, NY: McGraw Hill NY.

# Capítulo 6

## Sistema neurosensitivo

### Objetivos



En este capítulo aprenderás:

- ◆ Las estructuras del sistema nervioso
- ◆ Las funciones del sistema nervioso
- ◆ Los órganos de los sentidos especiales y sus funciones

## Una mirada al sistema neurosensitivo

El sistema nervioso coordina todas las funciones del cuerpo para permitir que una persona se adapte a los cambios en el ambiente interno y externo. Tiene dos tipos principales de células:

- Neuronas: las células conductoras.
- Neuroglía: las células de soporte.

### La neurona: unidad básica

La *neurona* es la unidad básica del sistema nervioso. Esta célula conductora especializada recibe y transmite impulsos electroquímicos nerviosos. Unas fibras delicadas similares a un hilo, llamadas *axones* y *dendritas*, se extienden desde el cuerpo central y transmiten señales. En una neurona típica, un axón y muchas dendritas se extienden desde la célula (véase *Las partes de una neurona*, p. 76).

### Axones

Los *axones* conducen impulsos nerviosos desde la célula. Un axón típico tiene ramas terminales y está envuelto en una cubierta lipídica, blanca y segmentada llamada

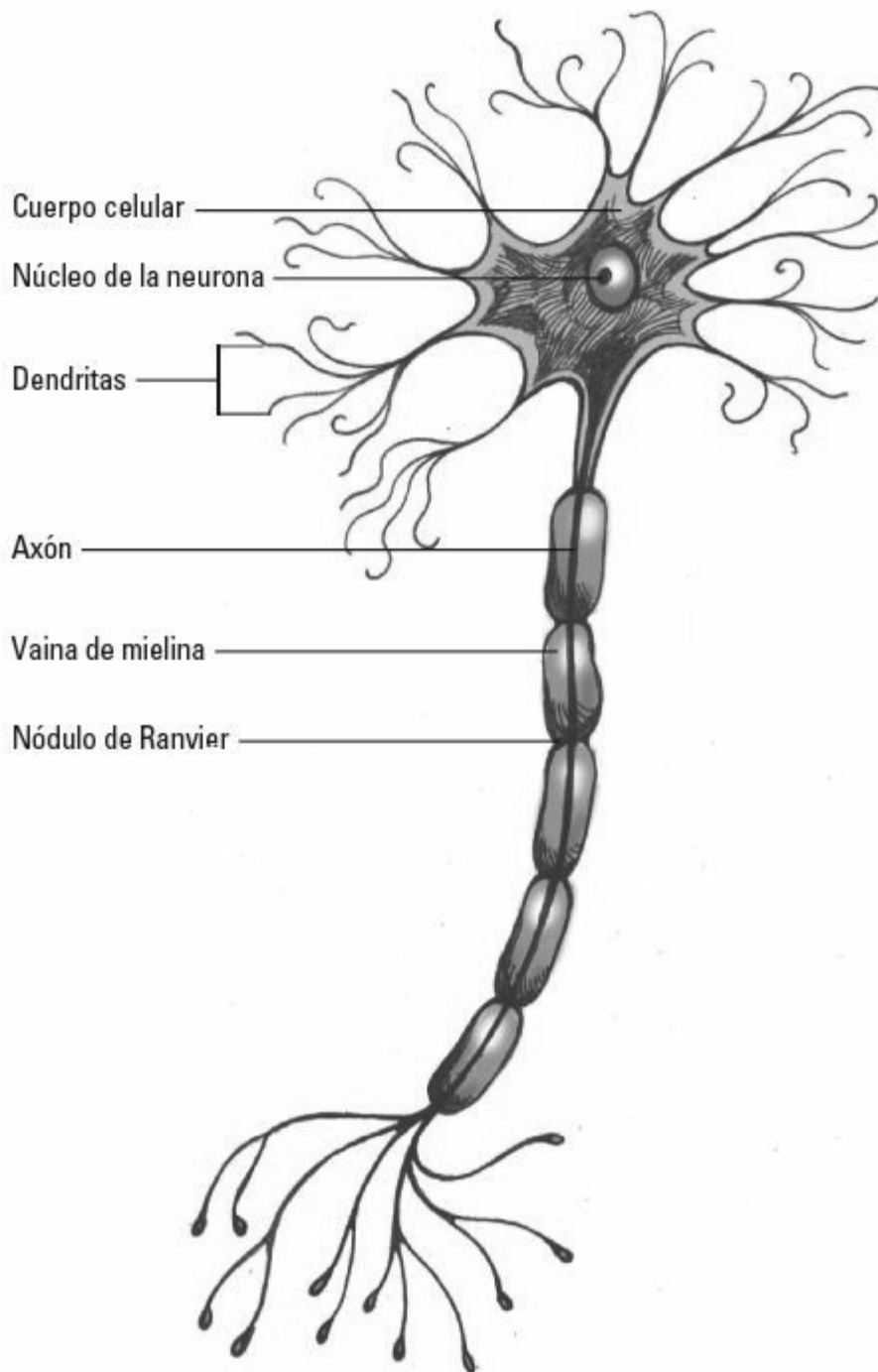
*vaina demielina* blanca. Las vainas de mielina son producidas por las *células de Schwann* en el sistema nervioso periférico o por los *oligodendrocitos* en el sistema nervioso central, y son separadas por unos espacios llamados *nódulos de Ranvier*.

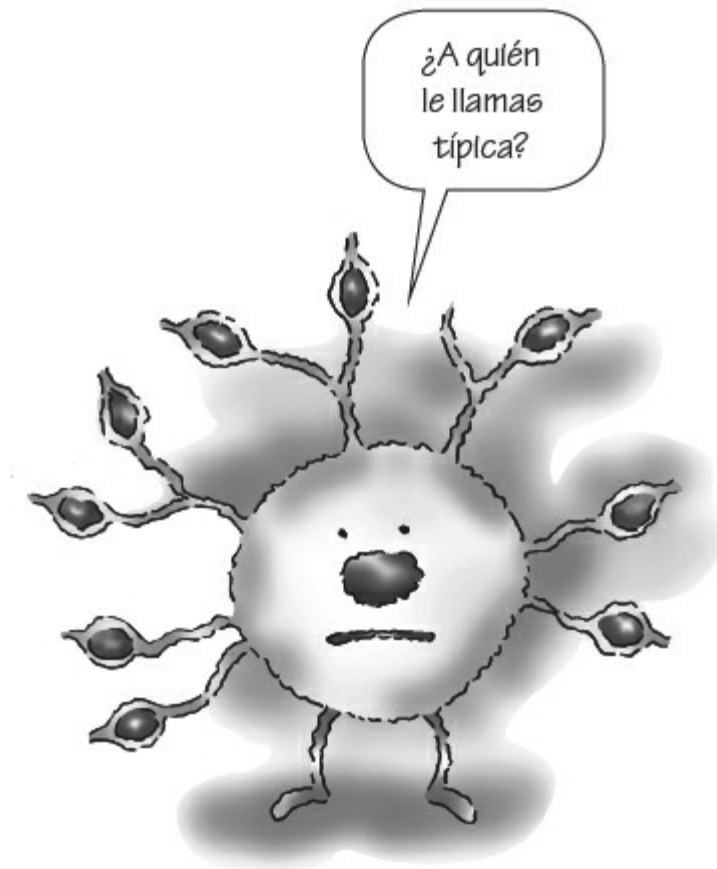


## Zoom

### Las partes de una neurona

Una neurona típica, como la que se muestra aquí, tiene un axón y numerosas dendritas. Una vaina de mielina recubre al axón.





## Dendritas

Las *dendritas* son extensiones cortas, gruesas y ramificadas de manera difusa del cuerpo de la célula, y reciben impulsos desde otras células. Estas estructuras conducen los impulsos hacia el cuerpo neuronal.

Enviemos el mensaje

Las neuronas son responsables de la *neurotransmisión*, la conducción de impulsos electroquímicos a través del sistema nervioso. La actividad neuronal puede ser provocada por:

- Estímulos mecánicos, como el tacto y la presión
- Estímulos térmicos, como el calor y el frío
- Estímulos químicos, como las sustancias químicas externas o las del cuerpo, por ejemplo, la histamina (véase *¿Cómo ocurre la neurotransmisión?*, p. 78)

## El arco reflejo

El arco reflejo, un ciclo de relevo rápido que proporciona una respuesta muscular veloz frente a estímulos sensitivos dañinos, necesita una neurona sensitiva (aférente)

y una neurona motora (eferente). El estímulo desencadena un impulso sensitivo que viaja a lo largo de la raíz dorsal de la médula espinal. Una vez ahí, ocurren dos transmisiones sinápticas al mismo tiempo. Una sinapsis continúa el impulso por una neurona sensitiva hacia el cerebro, mientras que otra sinapsis entrega el impulso a una interneurona que lo transmite a una motoneurona (véase *El arco reflejo*, p. 79).



---

## Neuroglía

La *neuroglía* (conocida como *células gliales*) son las células de soporte del sistema nervioso. Éstas representan cerca del 40% de la masa del encéfalo.

Conoce a la neuroglía

Hay cuatro tipos de neuroglía:

1. La *astroglía*, o *astrocitos*, existe en todo el sistema nervioso. Provee nutrientes a las neuronas y ayuda a que mantengan su potencial eléctrico. También forma parte de la barrera hematoencefálica, la cual impide que las moléculas nocivas entren al encéfalo.
2. Las *células ependimarias* recubren a las cuatro pequeñas cavidades del encéfalo, los *ventrículos*, y a los plexos coroideos. Ayudan a producir líquido cefalorraquídeo (LCR).
3. La *microglía* se compone de células fagocíticas que ingieren y digieren microorganismos y residuos de las neuronas dañadas.

4. La *oligodendroglía* sostiene y aísla eléctricamente a los axones del sistema nervioso central (SNC) mediante vainas de mielina protectoras.



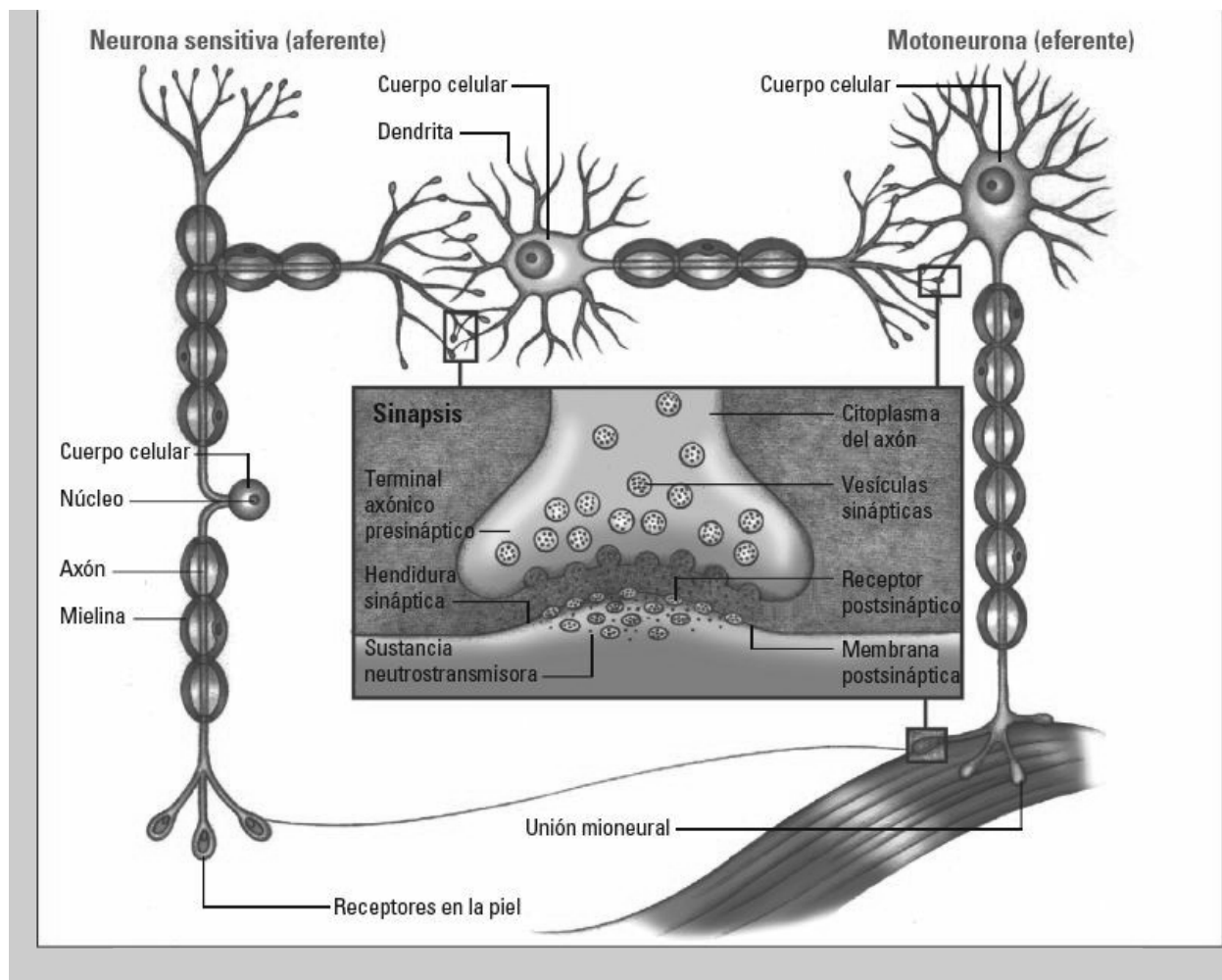
**¡Eureka!**

### **¿Cómo ocurre la neurotransmisión?**

Las neuronas reciben y transmiten estímulos mediante mensajes electroquímicos. Las dendritas de la neurona reciben el impulso enviado por otras células y lo conducen hacia el cuerpo celular. Después, el axón conduce el impulso hacia adelante.

#### **Para estimular o inhibir**

Cuando el impulso llega al final del axón, estimula vesículas sinápticas en el terminal axónico presináptico. Una sustancia neurotransmisora es liberada en la hendidura sináptica entre neuronas. Esta sustancia se difunde a través de la hendidura sináptica y se une a receptores específicos en la membrana postsináptica. Lo anterior estimula o inhibe la activación de la neurona postsináptica.

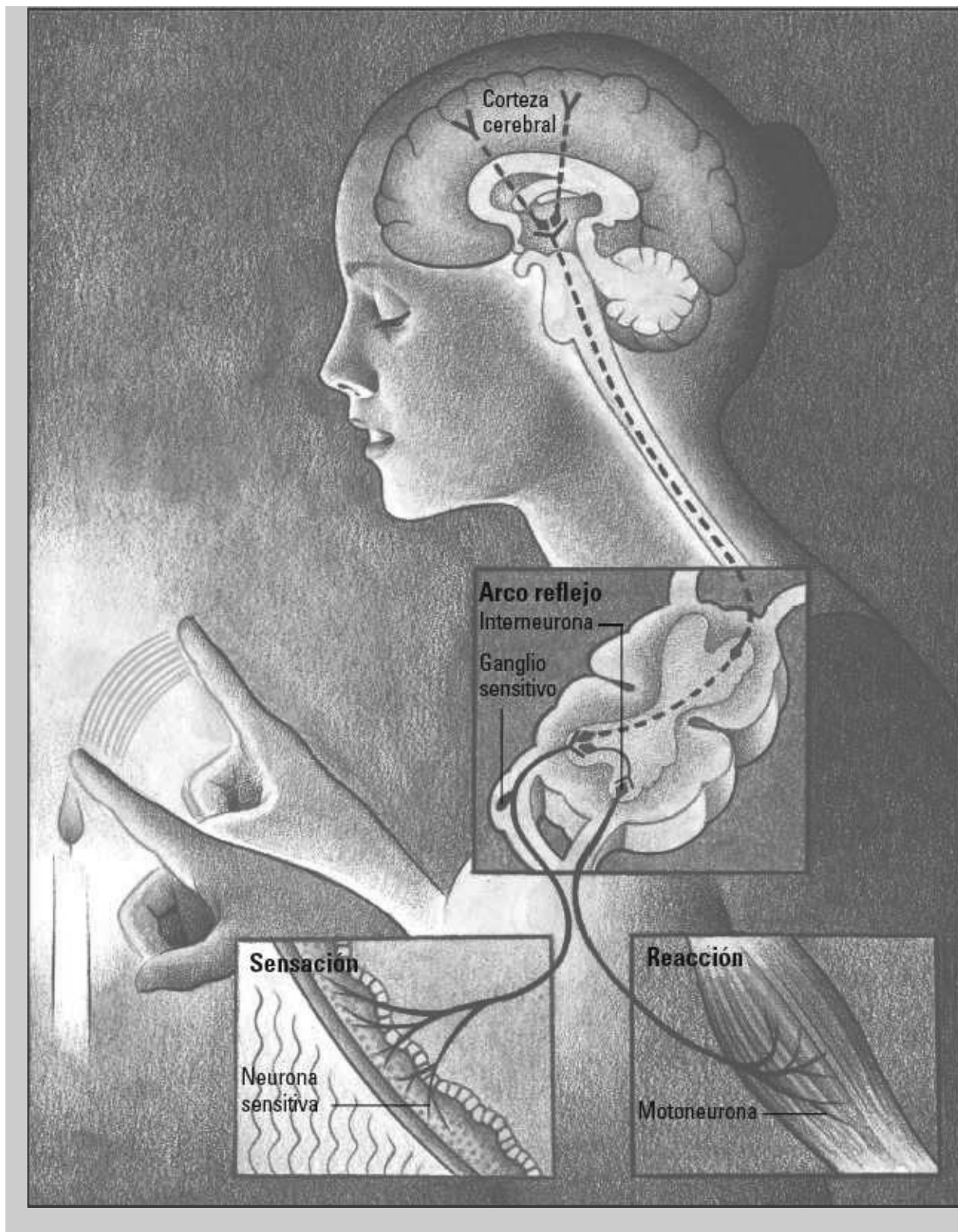


**¡Eureka!**

## El arco reflejo

El *arco reflejo* es la transmisión de impulsos sensitivos a una motoneurona a través de la raíz dorsal. La motoneurona lleva el impulso a un músculo o glándula, para producir una respuesta.





## Sistema nervioso central

El sistema nervioso central incluye al encéfalo y a la médula espinal. Este sistema, encapsulado por los huesos del cráneo y la columna vertebral, se encuentra protegido por el líquido cefalorraquídeo (LCR) y las meninges (duramadre, aracnoides y

piamadre).

---

## Encéfalo

El encéfalo está conformado por el cerebro, el cerebelo, el tronco del encéfalo, el diencefalo (tálamo e hipotálamo), el sistema límbico y el sistema reticular activador.

## Cerebro

El *cerebro* es la parte más grande del encéfalo. Contiene el centro nervioso que controla la actividad sensitiva y motora, así como la inteligencia.

### Un toque de gris

La capa exterior del cerebro, la *corteza cerebral*, está compuesta por fibras nerviosas sin mielina (*sustancia gris*). La capa interna del cerebro consiste en fibras nerviosas cubiertas con mielina (*sustancia blanca*).

### En equilibrio

Los *ganglios basales*, que controlan la coordinación motora y la estabilidad, se encuentran en la sustancia blanca.

### Dos hemisferios que se unen

El cerebro cuenta con dos hemisferios: derecho e izquierdo. Un conjunto de fibras nerviosas, conocido como  *cuerpo calloso*, une ambos hemisferios, lo que permite la comunicación entre centros homólogos de cada uno. La superficie del cerebro tiene *giros* (circunvoluciones) y *surcos* (fisuras).

### Los cuatro lóbulos

Cada hemisferio cerebral se divide en cuatro lóbulos, de acuerdo con rasgos anatómicos y sus diferencias funcionales. Estos lóbulos (frontal, temporal, parietal y occipital) llevan el nombre de los huesos del cráneo que se encuentran sobre ellos (véase *Una mirada a las principales estructuras cerebrales*, p. 82).

## Cerebelo

El *cerebelo* es la segunda región más grande del encéfalo. Se encuentra detrás y debajo del cerebro. Igual que el cerebro, tiene dos hemisferios. También tiene una corteza externa de sustancia gris y un núcleo de sustancia blanca. El cerebelo sirve para mantener el tono muscular, coordinar el movimiento muscular y controlar el equilibrio.

Los ganglios basales, que controlan la coordinación motora y la estabilidad, se encuentran en la sustancia blanca.



## Tronco del encéfalo

El *tronco del encéfalo* se encuentra inmediatamente debajo del cerebro, justo en frente del cerebelo. Continúa desde el cerebro, que está arriba, y se conecta con la médula espinal, que se encuentra debajo.

La raíz de todo es el tronco del encéfalo

El *tronco del encéfalo* está compuesto por el mesencéfalo, el puente y el bulbo raquídeo. Transmite mensajes entre las distintas partes del sistema nervioso y tiene tres funciones principales:

- Produce reacciones autónomas vitales necesarias para la supervivencia, como el aumento de la frecuencia cardíaca, y estimula la médula suprarrenal para producir adrenalina.
- Proporciona vías para fibras nerviosas entre centros neuronales superiores e inferiores.
- Sirve como el sitio de origen para 10 de los 12 pares de nervios craneales (NC).

Funciona para los dos lados

Las tres partes del tronco del encéfalo proveen vías de conducción desde y hacia la médula espinal y el encéfalo. Además, realizan las siguientes funciones:

- El *mesencéfalo* representa el centro de los reflejos para los nervios craneales III y IV, además de controlar el reflejo pupilar y los movimientos oculares.
- El *punte* ayuda a regular la respiración. Conecta el cerebelo con el cerebro y une el mesencéfalo con el bulbo raquídeo. También representa el centro reflejo para los nervios craneales del V al VIII. De igual manera, el puente actúa como un mediador de la masticación, el sentido del gusto, la secreción de saliva, la audición y el equilibrio.
- El bulbo raquídeo se une a la médula espinal a la altura del *agujero* o *foramen magno*, un orificio que se encuentra en la porción occipital del cráneo. Influyen las funciones cardíacas, respiratorias y vasomotoras. Constituye el centro para los reflejos del vómito, la tos y el hipo.

## Diencéfalo

El *diencéfalo* es la parte del encéfalo que se localiza entre el cerebro y el mesencéfalo. Está formado por el tálamo y el hipotálamo, que se encuentran en la profundidad de los hemisferios cerebrales.



### Zoom

#### Una mirada a las principales estructuras cerebrales

La siguiente imagen muestra las dos estructuras más grandes del encéfalo: el cerebro y el cerebelo. Varias fisuras dividen el cerebro en hemisferios y lóbulos:

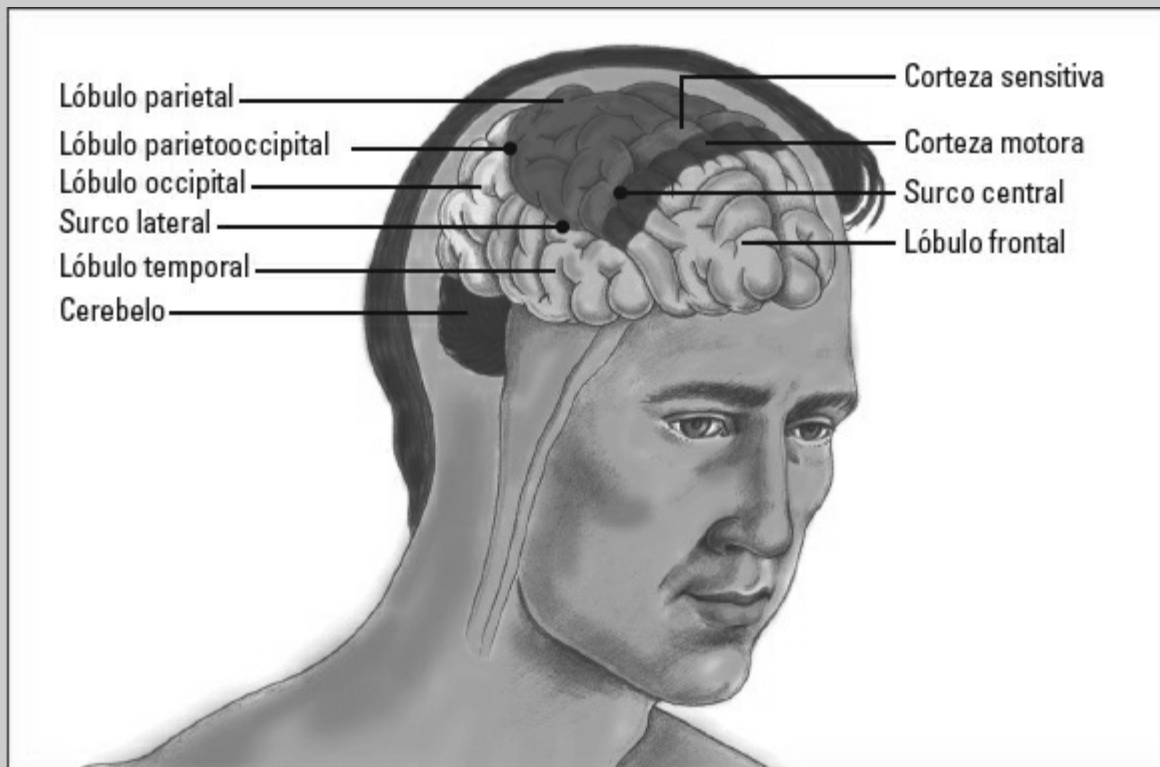
- La *cisura de Silvio*, o surco lateral, separa al lóbulo temporal de los lóbulos parietal y frontal.

- El *cisura de Rolando*, o surco central, separa los lóbulos frontales del lóbulo parietal.
- El *surco parietooccipital* separa el lóbulo occipital de ambos lóbulos parietales.

### Para cada lóbulo, una función

Cada lóbulo tiene una función particular:

- El *lóbulo frontal* influye sobre la personalidad, criterio, razonamiento abstracto, comportamiento social, expresión del lenguaje y movimientos voluntarios (en la porción motora).
- El *lóbulo temporal* controla la audición, interpretación del lenguaje, aprendizaje, comprensión, almacenamiento y evocación de los recuerdos (aunque en realidad los recuerdos se almacenan en todo el encéfalo).
- El *lóbulo parietal* interpreta e integra sensaciones, como dolor, temperatura y tacto. También interpreta tamaño, forma, distancia, vibración y textura. El lóbulo parietal del hemisferio no dominante es especialmente importante para la percepción del esquema corporal.
- El *lóbulo occipital* participa, principalmente, en la interpretación de estímulos visuales.





### Llamadas de atención

El *tálamo* deriva todos los estímulos sensitivos (excepto los olfatorios) a medida que ascienden a la corteza cerebral. Entre sus funciones se encuentran la percepción primitiva del dolor, la detección temprana de estímulos y la concentración de la atención.

### El centro de control

El *hipotálamo* controla, o altera, la temperatura corporal, el apetito, el equilibrio hídrico, las secreciones de la hipófisis, las emociones y las funciones autónomas, incluyendo el ciclo de sueño y vigilia.

## Sistema límbico

El *sistema límbico* es un área primitiva del encéfalo que se encuentra en la profundidad en el lóbulo temporal. Además de iniciar impulsos básicos (como el hambre, la agresión y la estimulación sentimental y sexual), el sistema límbico analiza todos los mensajes que viajan a la corteza cerebral (véase *Las partes del sistema límbico*).

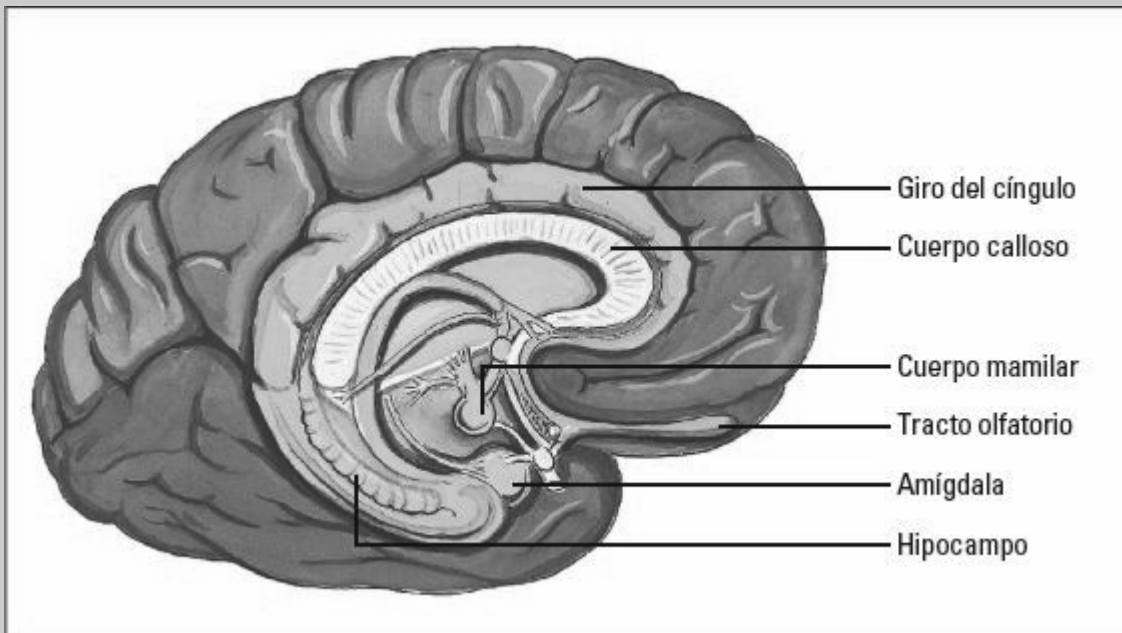
MI tálamo funciona como una estación de transmisión. Los impulsos sensitivos atraviesan sinapsis en el tálamo en su camino a la corteza cerebral.



## Zoom

### Las partes del sistema límbico

La siguiente imagen muestra las estructuras del sistema límbico.



## Sistema reticular activador

El *sistema reticular activador* es una red difusa de hormonas que se estimulan fácilmente. Se distribuye desde el tronco del encéfalo a través de la corteza cerebral. Después de analizar toda la información sensorial entrante, el sistema reticular activador la envía a las áreas apropiadas del encéfalo para que sea interpretada. Funciona como el sistema de estimulación o alerta de la corteza cerebral, y es vital para que se mantenga la consciencia (véase *Cambios neurológicos relacionados con la edad*).

## Oxígeno hacia el encéfalo

La sangre oxigenada llega al cerebro mediante cuatro arterias principales, dos vertebrales y dos carótidas.

### Convergencia vertebral

Las dos *arterias vertebrales* (ramas de las subclavias) convergen para formar la *arteria basilar*, la cual provee de sangre al encéfalo posterior.

### Dos carótidas divergían en el encéfalo

Las carótidas comunes se ramifican en las dos carótidas internas, que a su vez se vuelven a dividir para proporcionar un aporte sanguíneo al encéfalo anterior y al mesencéfalo. Estas arterias se interconectan a través del círculo arterial cerebral o polígono de Willis, una anastomosis en la base del cerebro. El polígono de Willis garantiza que la sangre circule continuamente al cerebro a pesar de la interrupción de cualquiera de los vasos principales del encéfalo (véase *Las arterias del encéfalo*).







## La tercera edad

### Cambios neurológicos relacionados con la edad

El envejecimiento afecta el sistema nervioso de muchas maneras. Por ejemplo, las neuronas del sistema nervioso central y periférico sufren cambios degenerativos. Después de los 50 años, el número de neuronas disminuye en, aproximadamente, 1% al año. Sin embargo, los efectos clínicos no son notorios hasta alcanzar una edad más avanzada.

Conforme una persona envejece, el hipotálamo se vuelve menos eficaz en la regulación de la temperatura corporal. Además, la corteza cerebral sufre una pérdida del 20% de sus neuronas. Como la transmisión nerviosa habitualmente se ralentiza, los ancianos pueden ser menos sensibles, o reaccionar de manera lenta, a los estímulos externos. Los cambios en los vasos sanguíneos también se producen con la edad. Los vasos sanguíneos tienden a estrecharse y hay menos crecimiento de capilares cerebrales. Además, en algunas personas se forman placas y ovillos neurofibrilares fuera y dentro de las neuronas, aunque en grado mucho menor que en la enfermedad de Alzheimer. El daño a las neuronas por los radicales libres aumenta con la edad, así como la inflamación cerebral. Todos estos cambios pueden llevar a que disminuya la capacidad de aprender nueva información y evocar información, como la habilidad para recordar nombres de miembros de la familia.



## Zoom

### Las arterias del encéfalo

Esta ilustración muestra la superficie inferior del encéfalo. Las arterias anterior y posterior se unen con arterias más pequeñas para formar el círculo arterial o polígono de Willis.

### Vista inferior

Arteria comunicante anterior

Arteria carótida interna izquierda

Arteria cerebral anterior

Arteria cerebral media

Arteria comunicante posterior

Arteria cerebral posterior

Arteria cerebelosa superior

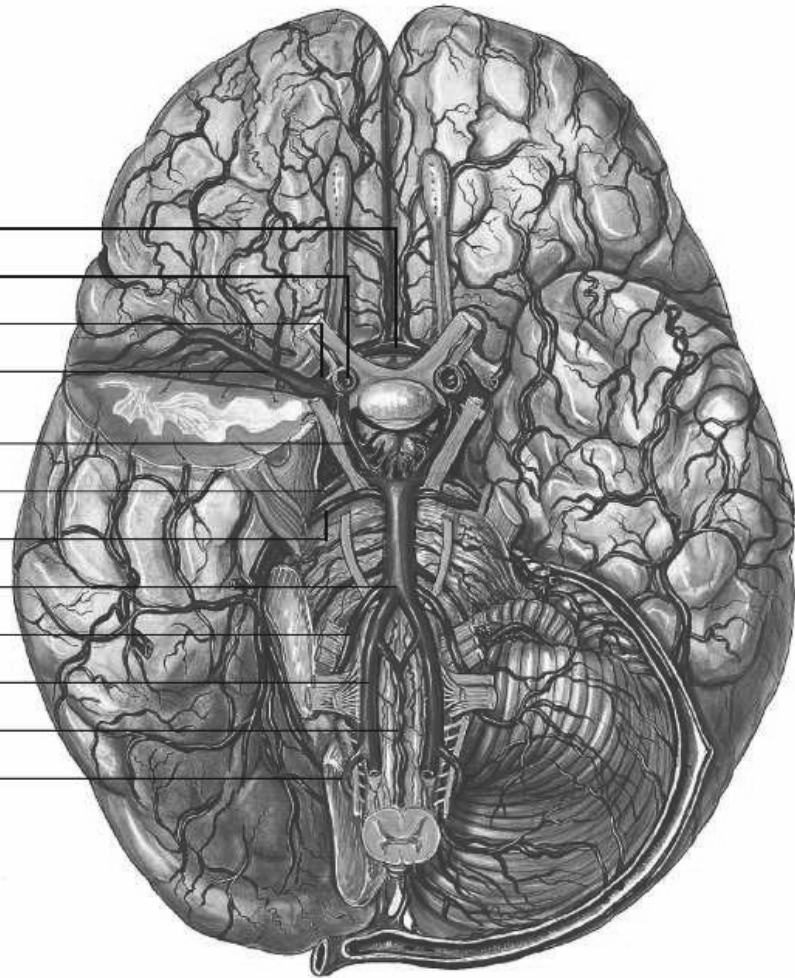
Arteria basilar

Arteria cerebelosa anteroinferior

Arteria vertebral

Arteria espinal anterior

Arteria espinal posterior



## Médula espinal

La *médula espinal* es una estructura cilíndrica en el conducto vertebral que se extiende desde el agujero magno, en la base del cráneo, hasta la porción superior de la región lumbar de la columna vertebral.

Me pones de nervios

Los *nervios espinales* o *raquídeos* surgen desde la médula espinal. En el extremo inferior de la médula espinal, están los nervios que se unen en fascículos para formar la *cauda equina*.

¿Cuál es el color de la médula espinal?

Dentro de la médula espinal, la sustancia gris, en forma de “H”, se divide en *astas*. Las astas se componen principalmente de cuerpos de neuronas. Los cuerpos neuronales en las dos astas posteriores (dorsales) transmiten principalmente información sensitiva.

Las dos astas anteriores (ventrales) participan en la actividad motora voluntaria y refleja. Las astas se encuentran rodeadas por sustancia blanca, la cual se compone de

fibras nerviosas mielinizadas agrupadas en columnas verticales, o *tractos*. En otras palabras, todos los axones que componen un tracto realizan una función general, como tacto, movimiento, dolor o presión (véase *Una mirada dentro de la médula espinal*).

## Vías sensitivas

Los impulsos sensitivos viajan a través de las vías *aferentes* (sensitivas o ascendentes) hacia la *corteza sensitiva*, en el lóbulo parietal del encéfalo. Aquí es donde se interpretan los impulsos, que emplean dos vías principales: las astas posteriores y los ganglios.

### Caliente o frío

Las sensaciones de dolor y de temperatura ingresan a la médula espinal a través del *asta posterior*. Después de cruzar inmediatamente hacia el lado opuesto de la médula espinal, estos impulsos viajan al tálamo a través del tracto espinotalámico.

### Bajo presión

El tacto, la presión, la vibración y el dolor ingresan a la médula espinal a través de estaciones de relevo llamadas *ganglios*. Los ganglios son grupos de cuerpos neuronales organizados de forma similar a un nudo en las raíces posteriores de los nervios espinales. Los impulsos viajan por la columna posterior de la médula, donde cruzan al lado opuesto y entran al tálamo. El tálamo envía la información de todos los impulsos sensitivos (excepto los olfatorios) a la corteza sensitiva para que sean interpretados.



## Para recordar

Para recordar la diferencia entre las neuronas aferentes y las eferentes, considera lo siguiente:

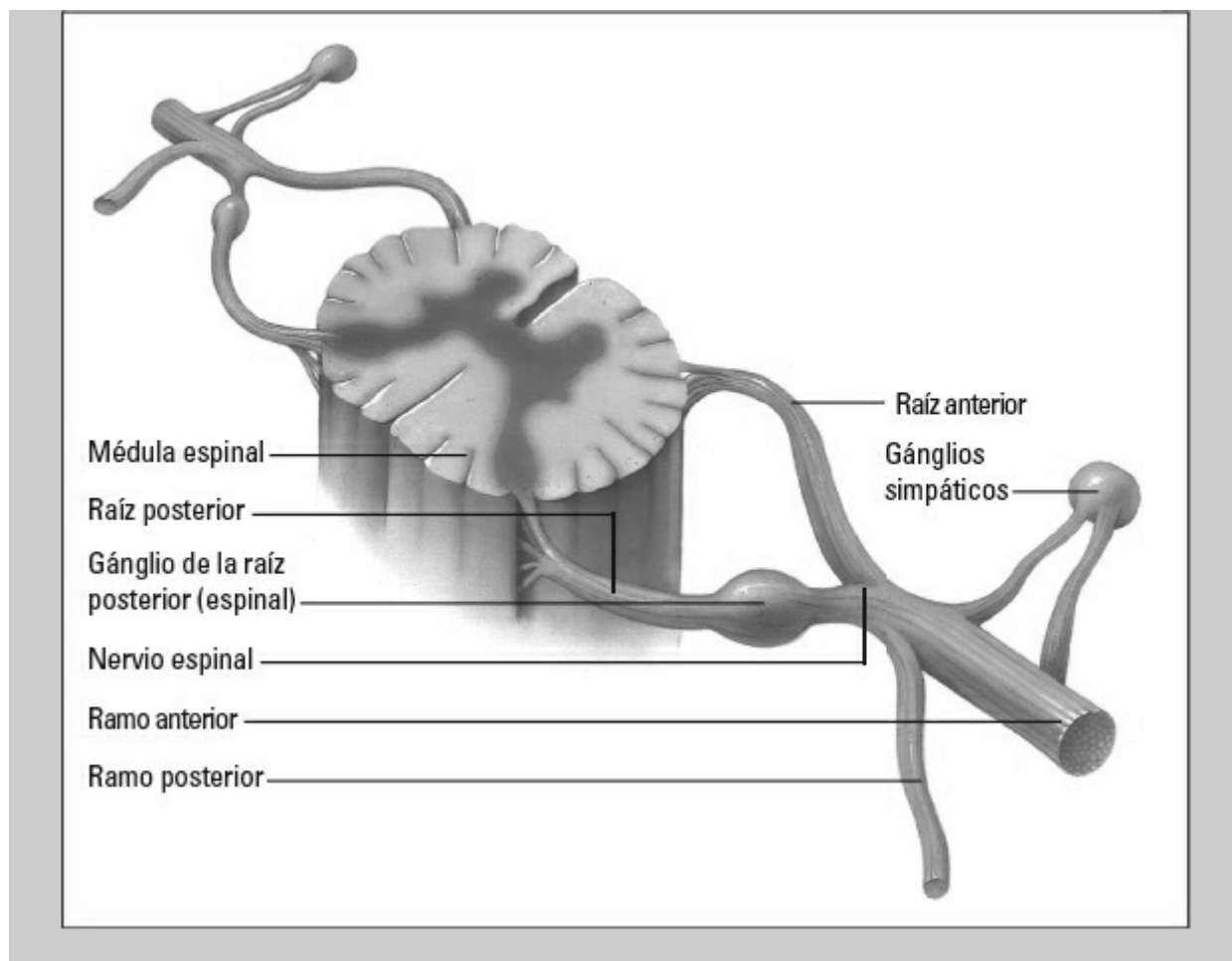
- Las neuronas **aferentes** hacen que asciendan las sensaciones al cerebro (las neuronas aferentes son sensitivas y ascendentes).
- Las neuronas **eferentes** envían impulsos con efecto fuera del cerebro (las neuronas eferentes son motoras y descendentes).



## Zoom

### Una mirada dentro de la médula espinal

Este corte transversal de la médula espinal muestra a la sustancia gris en forma de “H” dividida en astas, las cuales se conforman por cuerpos de células neuronales, principalmente. Los cuerpos neuronales en el asta posterior, o dorsal, se ocupan de forma primaria de relevar información. Los cuerpos en el asta anterior, o ventral, son necesarios para la actividad motora voluntaria o refleja.



## Vías motoras

Los impulsos motores viajan desde el cerebro hacia los músculos mediante las vías *eferentes* (motoras o descendentes). Éstas se originan en la *corteza motora* del lóbulo frontal, y llegan a las motoneuronas inferiores del sistema nervioso periférico gracias a las motoneuronas superiores.

Las motoneuronas superiores se originan en el cerebro y forman dos sistemas principales:

- Sistema piramidal
- Sistema extrapiramidal

### Afinar tu respuesta

El *sistema piramidal* (tracto corticoespinal) es responsable de los movimientos finos y complejos del músculo esquelético. Los impulsos en este sistema viajan desde la corteza motora a través de la cápsula hacia el bulbo raquídeo. En el bulbo, cruzan al lado opuesto y continúan hacia abajo por la médula espinal.

### Enciende los motores

El *sistema extrapiramidal* (tracto extracorticoespinal) controla los movimientos gruesos. Los impulsos se originan en el área premotora de los lóbulos frontales y

viajan al puente. En el puente, los impulsos cruzan al lado opuesto. Desde aquí, las señales viajan hacia abajo de la médula espinal para alcanzar el asta anterior, donde se transmiten a las neuronas motoras inferiores. Estas neuronas, a su vez, llevan los impulsos a los músculos (véase *Principales vías neuronales*).

## Respuestas reflejas

Las respuestas reflejas ocurren de manera automática, sin que esté involucrado el encéfalo, para proteger el cuerpo. Los nervios espinales, que tienen porciones tanto sensitivas como motoras, sirven como mediadores para reflejos *tendinosos profundos* (contracciones involuntarias de una fibra muscular tras un ligero estiramiento causado por la percusión del tendón), reflejos *superficiales* (reflejos que provocan que te alejes de estímulos nocivos o táctiles en la piel o mucosas) y, en los lactantes, *reflejos primitivos*.

### A las profundidades

Los reflejos tendinosos profundos incluyen las respuestas reflejas del bíceps, tríceps, braquiorradial, rótula y tendones calcáneos o aquíleos:

- El *reflejo bicipital* contrae el bíceps y produce la flexión del antebrazo.
- El *reflejo tricipital* contrae el tríceps y causa la extensión del antebrazo.
- El *reflejo braquiorradial* provoca la supinación de la mano y la flexión del antebrazo hacia el codo.
- El *reflejo rotuliano* causa la contracción del cuádriceps en el muslo y extiende la pierna.
- El *reflejo aquileo* ocasiona la flexión del pie en el tobillo (flexión plantar) (véase *Cómo desencadenar los reflejos tendinosos profundos*, p. 90).

### Vamos a la superficie

Los reflejos superficiales son reflejos de piel y membranas mucosas. Los intentos repetitivos de estimular este tipo de reflejos causan respuestas cada vez menores. A continuación se presenta la descripción de algunos reflejos superficiales:

- La *flexión plantar* de los dedos del pie ocurre cuando la parte lateral de la planta del pie de un adulto es estimulada con un depresor lingual (abatelenguas) desde el talón hasta el primer dedo.



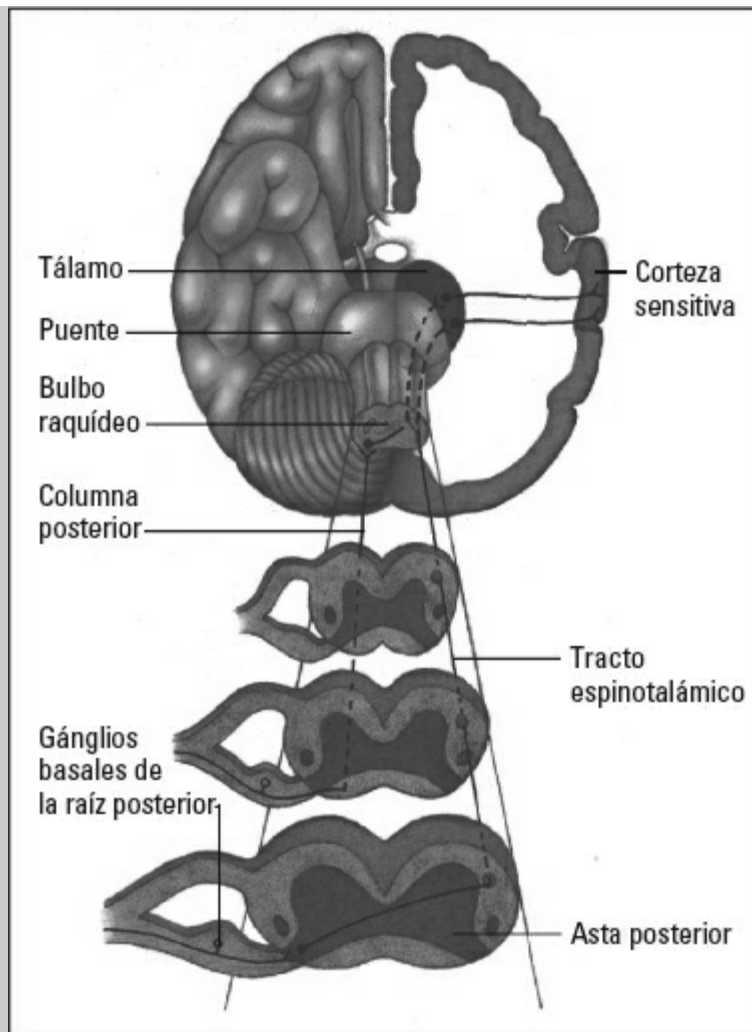
**¡Eureka!**

## Principales vías neuronales

Los impulsos sensitivos y motores viajan a través de diferentes vías desde y hasta el encéfalo para ser interpretados.

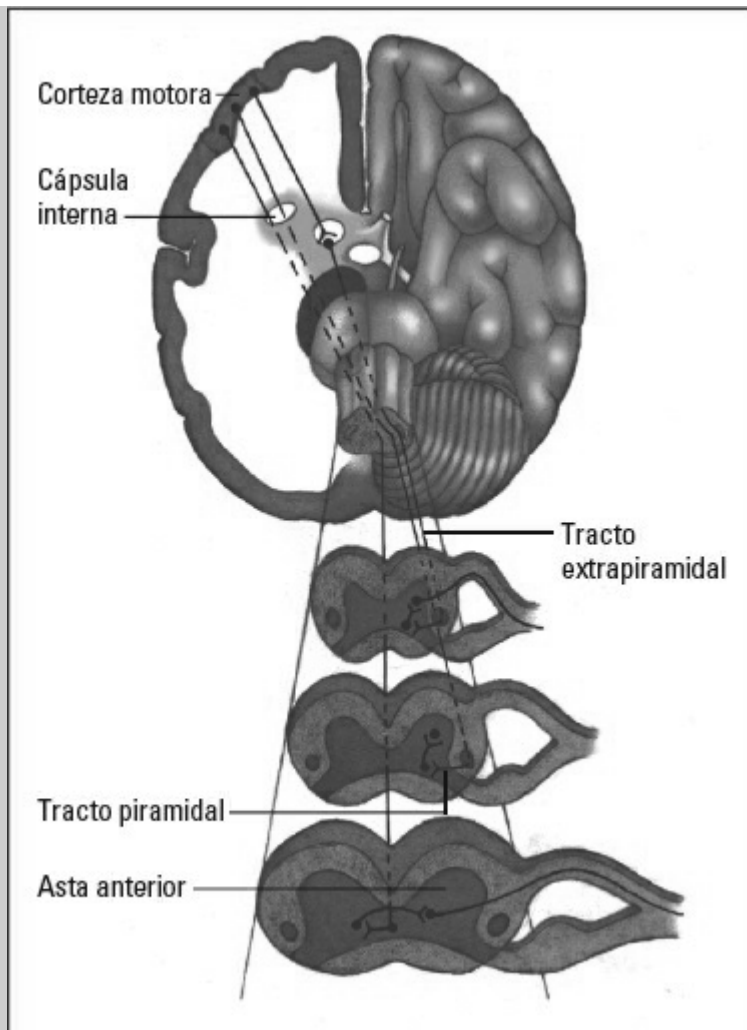
### Vías sensitivas

Las vías sensitivas (aferentes o ascendentes) viajan a través de dos vías principales hacia la corteza sensitiva del cerebro.



### Vías motoras

Los impulsos motores viajan desde la corteza motora del cerebro hasta los músculos por las vías motoras (eferente o descendente).



- El *reflejo de Babinski* es un movimiento ascendente del primer dedo del pie y en abanico de los demás dedos. Ocurre en niños menores de 2 años de edad como respuesta a la estimulación del margen externo de la planta del pie. Este reflejo es anómalo si se encuentra en adultos.
- En los hombres, el *reflejo cremastérico* se desencadena al estimular la parte interna del muslo. Lo anterior causa la contracción del músculo cremáster y la elevación del testículo en el lado estimulado.

## Cómo desencadenar los reflejos tendinosos profundos

Existen cinco reflejos tendinosos profundos. A continuación, se describen los métodos para obtener estos reflejos.

### Reflejo bicipital

Coloca el pulgar o índice sobre el tendón del bíceps, y los demás dedos sobre el tríceps. Golpea suavemente el pulgar, o índice, sobre el tendón con un martillo de reflejos. Mira y siente la contracción del bíceps y la flexión del antebrazo.





**Reflejo tricipitalM**

Golpea el tendón del tríceps cerca de 5 cm por encima del olécranon, en la superficie extensora del brazo. Espera la contracción del tríceps y la extensión del antebrazo.



**Reflejo patelar**

Golpea el tendón rotuliano justo debajo de la rótula, y espera la contracción del cuádriceps y la extensión de la pierna.



Los reflejos tendinosos profundos ayudan a proteger el cuerpo.



### **Reflejo braquiorradial**

Golpea el radio cerca de 2.5 a 5 cm por encima de la muñeca. Espera la supinación de la mano y la flexión del antebrazo por el codo.



### **Reflejo aquileo**

Golpea el tendón aquileo con el pie flexionado mientras sostienes la superficie plantar. Mira cómo se flexiona la superficie plantar en el tobillo.



- Los reflejos *abdominales* se obtienen al estimular con el tacto los costados del abdomen, tanto arriba como abajo del ombligo, mediante el movimiento desde la periferia hasta la línea media. El movimiento del ombligo hacia el lugar del estímulo es normal.

### Seres primitivos

Los reflejos primitivos son anómalos en los adultos, pero normales en lactantes (cuyo sistema nervioso central aún es inmaduro). A medida que madura el sistema neurológico, estos reflejos desaparecen. Los reflejos primitivos son los de *presión*, *succión* y *glabellar*:

- El reflejo de *presión* se obtiene al aplicar un poco de presión sobre la palma de un lactante.
- El reflejo de *succión* puede verse cuando un lactante ingiere leche. Se trata de una respuesta primitiva a estímulos orales.
- El reflejo *glabellar* se obtiene al dar pequeños golpes sobre el puente de la nariz, o entre las cejas, del lactante. La respuesta normal es el parpadeo persistente.

---

## Estructuras de protección

El encéfalo y la médula espinal están protegidos de impactos e infecciones por el cráneo, las vértebras, el líquido cefalorraquídeo y tres membranas (duramadre, aracnoides y piamadre).

### Duramadre

La *duramadre* es un tejido duro, fibroso, similar a la piel, que se compone de dos hojas: la endosteal y la meníngea.

#### La interminable dura perióstica

La hoja endosteal conforma al periostio del cráneo y continúa como un revestimiento del conducto vertebral.

La duramadre es dura

La *hoja meníngea* es una membrana gruesa que recubre el cerebro y se introduce en el tejido cerebral para brindar soporte y protección.

## Aracnoides

La *aracnoides* es delgada y fibrosa; envuelve al cerebro y la médula espinal, pero no de manera tan precisa como lo hace la piamadre.

## Piamadre

La *piamadre* es una lámina continua y delicada de tejido conectivo que recubre y contornea al tejido medular y cerebral.



Hay espacio para todo

El *espacio subdural* se encuentra entre la duramadre y la aracnoides. El *espacio subaracnoideo* se halla entre la aracnoides y la piamadre. En el espacio subaracnoideo y en los cuatro ventrículos del encéfalo hay líquido cefalorraquídeo, un líquido compuesto de agua y trazas de material orgánico (especialmente proteínas), glucosa y electrolitos. Este líquido protege al encéfalo y la médula espinal de sacudidas y golpes.

## Sistema nervioso periférico

El sistema nervioso periférico se compone de los nervios craneales, nervios espinales y el sistema nervioso autónomo (SNA).

---

## Nervios craneales

Hay 12 pares de nervios craneales que transmiten mensajes motores o sensitivos (o ambos), principalmente entre las estructuras del encéfalo, o el tronco del encéfalo, y la cabeza y cuello. Todos los nervios craneales, excepto los olfatorios y ópticos, salen del mesencéfalo, el puente o el bulbo raquídeo del tronco del encéfalo (véase *Puntos de salida de los nervios craneales*).

---

## Nervios espinales

Cada uno de los 31 pares de nervios espinales o raquídeos se nombran de acuerdo con la vértebra que se encuentra inmediatamente inferior a su salida de la médula espinal. De arriba abajo, se denominan *C1* a *S5* y el *nervio coccígeo*. Todos los nervios espinales están compuestos por neuronas aferentes (sensitivas) y eferentes (motoras), que llevan los mensajes desde y hacia regiones corporales conocidas como *dermatomas* (véase *Los nervios espinales*, p. 94).

---

## Sistema nervioso autónomo

El sistema nervioso autónomo es vasto, e *inerva* (provee de nervios) a todos los órganos internos. A veces conocidos como *nervios eferentes viscerales*, los nervios del sistema nervioso autónomo llevan mensajes a las vísceras desde centros reguladores del tronco del encéfalo y neuroendocrinos. El sistema nervioso autónomo tiene dos subdivisiones principales: el sistema nervioso simpático (toracolumbar) y el parasimpático (craneosacro).

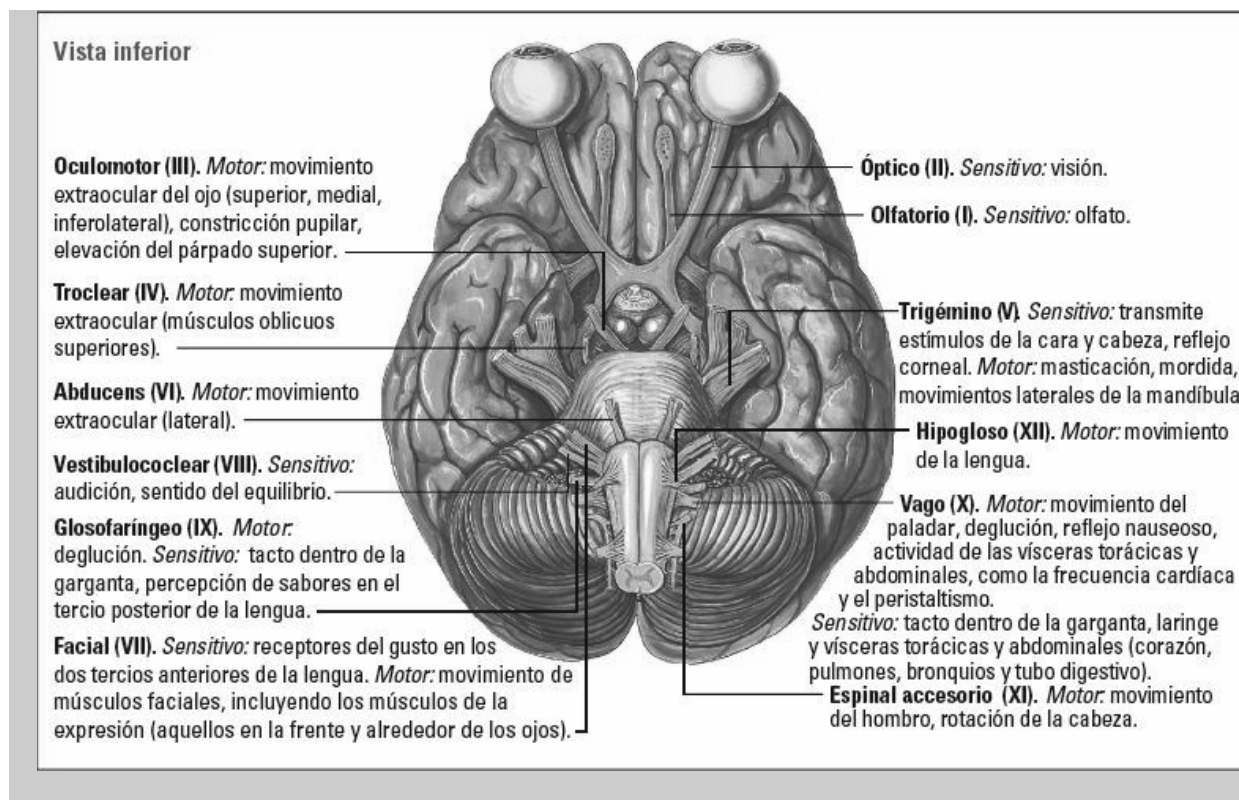
Cada nervio  
espinal recibe  
su nombre de  
la vértebra  
Inmediatamente  
*por debajo* de su  
punto de salida de la  
médula espinal.



## Zoom

### Puntos de salida de los nervios craneales

Como revela esta imagen, 10 de los 12 pares de nervios craneales salen desde el tronco del encéfalo. Los otros dos pares, los olfatorios y ópticos, salen desde el encéfalo.



Cuando un sistema estimula la contracción de ciertos músculos lisos o la secreción de una glándula, el otro sistema inhibe esta acción. Mediante esta inervación doble, las dos divisiones del sistema realizan contrapesos entre sus funciones a fin de mantener el funcionamiento del cuerpo.

## Sistema nervioso simpático

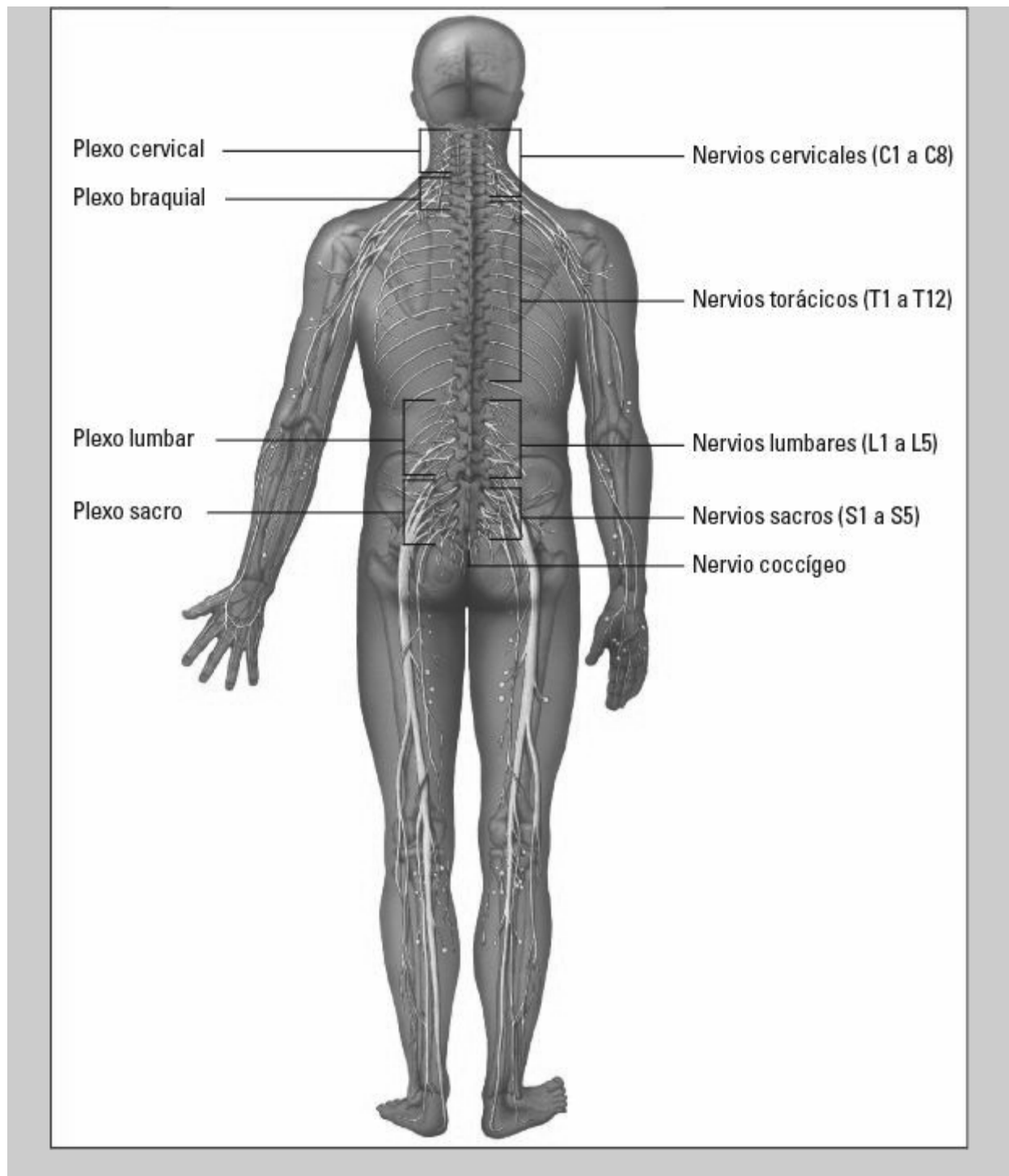
Los nervios simpáticos, denominados *neuronas preganglionares*, emergen de la médula espinal entre la primera vértebra torácica y la segunda vértebra lumbar.



## La máquina perfecta

### Los nervios espinales

Hay 31 pares de nervios espinales. Después de salir de la médula espinal, muchos nervios se unen para formar redes llamadas *plexos*, como lo muestra esta imagen.



### Ganglios ramificados

Cuando salen de la médula espinal, las neuronas preganglionares entran a pequeños ganglios cerca de la médula espinal. Los ganglios forman una cadena que propaga la señal a las *neuronas posganglionares*. Las neuronas posganglionares llegan a muchos órganos y glándulas, y pueden producir respuestas generalizadas y diseminadas por todo el cuerpo. Estas respuestas incluyen:

- Vasoconstricción
- Elevación de la presión arterial
- Incremento del flujo sanguíneo a los músculos esqueléticos



- Aumento de la frecuencia y la contractilidad cardíaca
- Incremento de la frecuencia respiratoria
- Relajación del músculo liso de los bronquiolos, el tubo digestivo y las vías urinarias
- Contracción de esfínteres
- Dilatación de la pupila y relajación del músculo ciliar
- Aumento de la secreción de las glándulas sudoríparas
- Reducción de la secreción pancreática

## **Sistema nervioso parasimpático**

Las fibras del sistema nervioso parasimpático salen del SNC mediante los nervios craneales del mesencéfalo y la médula y desde los nervios espinales entre la segunda y cuarta vértebra sacra (S2 a S4).

Hasta luego, SNC

Después de salir del SNC, la fibra larga de cada nervio parasimpático viaja hacia un ganglio cercano a un órgano o glándula particular. La fibra posganglionar corta entra al órgano o glándula. Lo anterior culmina en una respuesta más específica que involucra a un solo órgano o glándula.

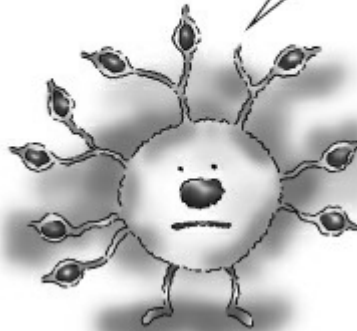
Estas respuestas pueden ser:

- Reducir la frecuencia, contractilidad y velocidad de conducción cardíaca
- Constreñir el músculo liso bronquial
- Incrementar el peristaltismo y el tono en el tubo digestivo, relajar los esfínteres
- Aumentar el tono de la vejiga y relajar los esfínteres del aparato urinario

¡Mi presión  
arterial sube  
gracias a las  
neuronas  
postganglionares!



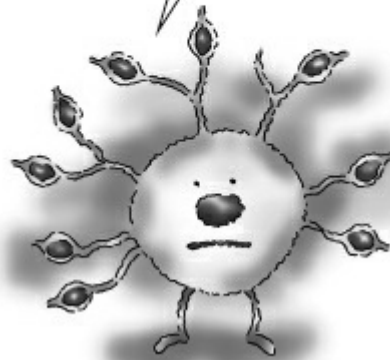
¡Más rápido!  
¡Actualízate!



Los sistemas nerviosos simpático y parasimpático trabajan juntos al enviar señales complementarias.



Ahora, tómalo con calma.



- Dilatar los vasos de genitales externos, provocar la erección del pene
- Contraer la pupila
- Aumentar secreciones pancreáticas, salivales y lagrimales

## Órganos de los sentidos especiales

La estimulación sensitiva permite que el cuerpo interactúe con el ambiente. Las terminales distales de las dendritas de las neuronas sensitivas funcionan como receptores sensitivos que envían mensajes al encéfalo. El encéfalo también recibe estos estímulos desde los órganos de los sentidos especiales (ojos, oídos y órganos del gusto y olfato).

---

### Ojo

Los *ojos* son los órganos de la visión; contienen cerca del 70% de los receptores

sensitivos del cuerpo. Aunque cada ojo mide casi 2.5 cm de diámetro, sólo es visible su superficie anterior. Las estructuras extraoculares e intraoculares trabajan de manera conjunta para desempeñar la función del ojo.

## **Estructuras extraoculares**

Los *músculos extraoculares* mantienen a los ojos en su sitio, y además controlan su movimiento. Esta actividad coordinada mantiene paralelos a ambos ojos y permite la visión binocular. Los músculos tienen actividad antagonista: mientras uno se contrae, el otro se relaja.

Las estructuras extraoculares son los párpados, las conjuntivas y el aparato lagrimal. En conjunto con los músculos extraoculares, estas estructuras brindan soporte y protegen al globo ocular.

### ***Párpados***

Los *párpados* son pliegues de piel con bordes libres que cubren la porción anterior del ojo. Los márgenes del párpado contienen folículos pilosos con pestañas y glándulas sebáceas.

En un abrir y cerrar de ojos

Cuando los ojos están abiertos, el párpado superior se extiende más allá del *limbo* (la unión de la córnea con la esclerótica) y cubre una parte del iris.

Los párpados tienen tres tipos de glándulas:

- *Glándulas de Meibomio*: glándulas sebáceas que secretan sebo, una sustancia aceitosa que mantiene lubricados los ojos.
- *Glándulas de Zeis*: glándulas sebáceas modificadas que se conectan con los folículos de las pestañas.
- *Glándulas de Moll*: glándulas sudoríparas normales.

Cuando están cerrados, los párpados superior e inferior cubren por completo el ojo.



### **Conjuntivas**

Las *conjuntivas* son membranas delgadas que revisten la superficie interna de cada párpado y la porción anterior de la esclerótica. Las conjuntivas protegen al ojo de la invasión de materiales externos. La *conjuntiva palpebral*, la porción que cubre la superficie interna de los párpados, tiene un aspecto rosa o rojo brillante. La *conjuntivabulbar*, que reviste la parte anterior de la esclerótica y se une a la porción palpebral, contiene muchos vasos sanguíneos pequeños que logran visualizarse de manera frecuente.

### **Aparato lagrimal**

Las estructuras del *aparato lagrimal* (glándulas lagrimales, punto lagrimal, saco lagrimal y conducto nasolagrimal) lubrican y protegen la córnea y conjuntiva al producir y absorber lágrimas. Las lágrimas mantienen húmeda la córnea y la conjuntiva; también contienen *lisozima*, una enzima que protege de la invasión bacteriana.

### **Llórame un río**

Cuando los párpados se abren y cierran, conducen el flujo de las lágrimas desde los conductos lagrimales hasta el *canto interno* (el ángulo medial formado entre ambos párpados). Las lágrimas se acumulan en el canto interno para después drenar a través del *punto lagrimal*, un pequeño orificio. Desde ahí, las lágrimas fluyen a través de los *conductillos lagrimales* hacia el saco lagrimal. Por último, llegan a la nariz a través del conducto nasolagrimal (véase *Una mirada a las lágrimas*, p. 98).

## **Estructuras intraoculares**

Las estructuras intraoculares, en el globo ocular, forman parte de la visión (véase *Una mirada a las estructuras intraoculares*, p. 99).

## Segmento anterior

En el segmento anterior del ojo se encuentran la esclerótica, la córnea, el iris, la pupila, la cámara anterior, el humor acuoso, el cristalino, el cuerpo ciliar y la cámara posterior.

### *Esclerótica y córnea*

La *esclerótica* es una capa blanca que recubre cuatro quintas partes de la superficie externa del globo ocular y mantiene la forma de éste. La *córnea* se continúa con la esclerótica en el limbo, en donde se revelan la pupila y el iris. La córnea es un tejido liso y transparente sin aporte sanguíneo. El epitelio corneal se une con la conjuntiva bulbar en el limbo. La córnea es muy sensible al tacto, y las lágrimas la mantienen húmeda.

### *Iris y pupila*

El *iris* es un disco contráctil que contiene músculos radiales y lisos. Tiene una abertura en el centro, la pupila. El color del ojo depende de la cantidad de pigmento en las capas endoteliales del iris. El tamaño de la pupila es controlado por los músculos en la región posterior del iris, que funcionan como esfínter y regulan la entrada de luz.



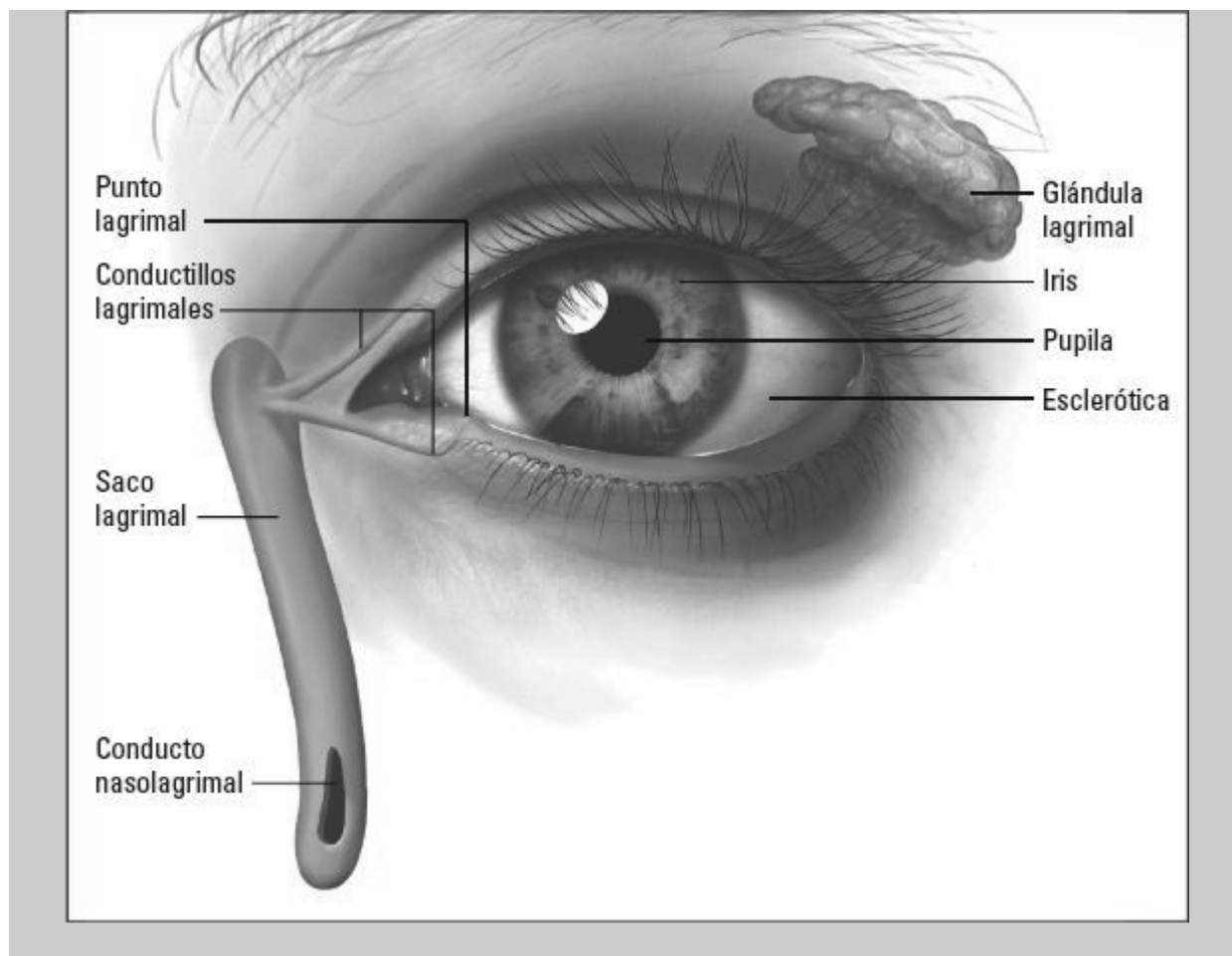
La humedad tiene una función importante en el ojo. Por ejemplo, las lágrimas protegen la córnea al mantenerla húmeda.



## Zoom

### Una mirada a las lágrimas

Las lágrimas se producen en la glándula lagrimal y drenan en la nariz a través del conducto nasolagrimal.



### ***Cámara anterior y humor acuoso***

La cámara anterior es una cavidad limitada, por delante, por la córnea y, por detrás, por el cristalino y el iris. Está llena de un líquido transparente llamado *humor acuoso*.

### ***Cristalino***

El cristalino o lente está situado directamente detrás del iris, en la apertura pupilar. El cristalino está compuesto por fibras transparentes dentro de una cápsula elástica que actúa como la lente del ojo al refractar y enfocar la luz en la retina.

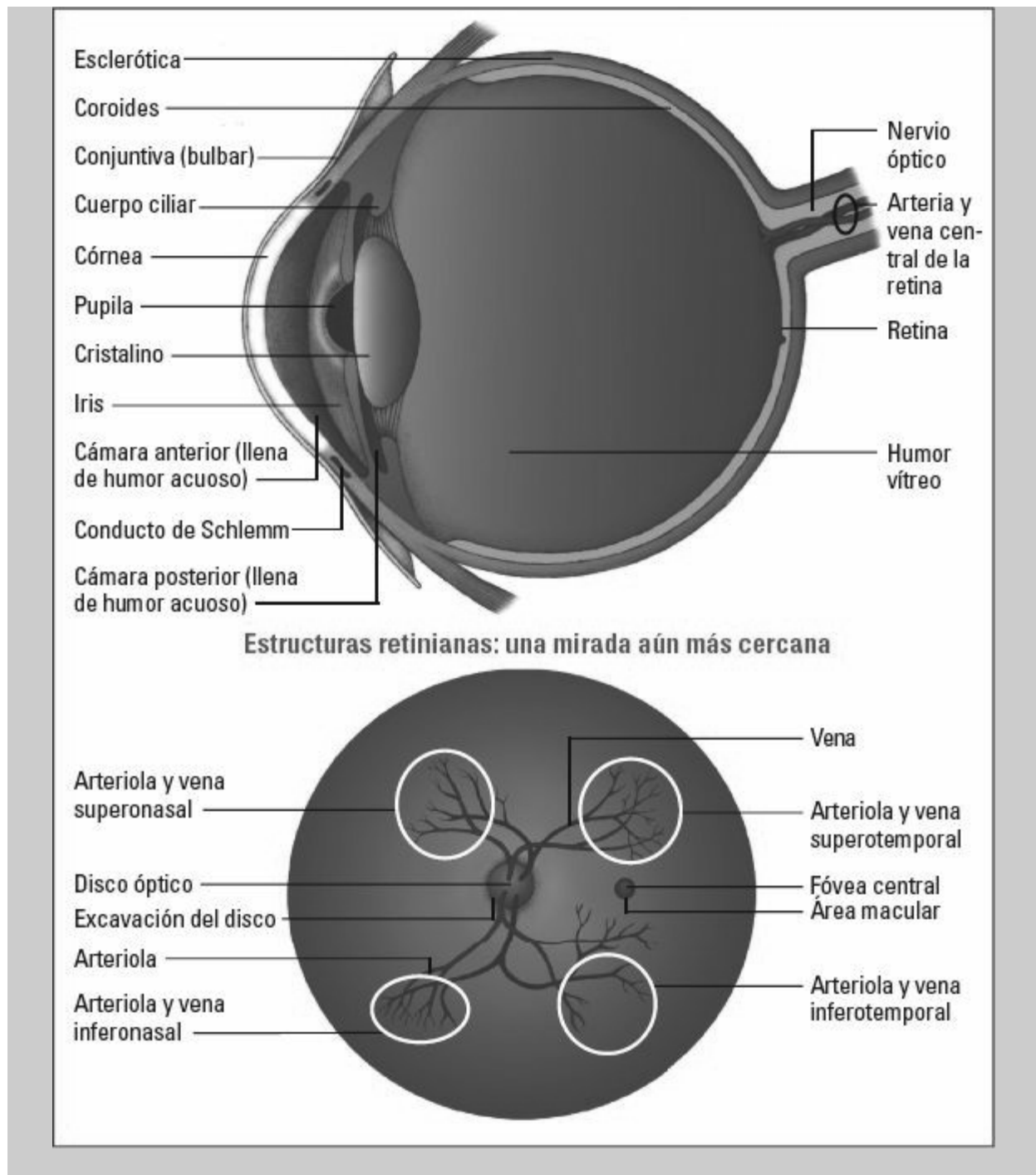


## **Zoom**

### **Una mirada a las estructuras intraoculares**

Algunas estructuras intraoculares, como la esclerótica, córnea, iris, pupila y cámara anterior, son visibles a simple vista. Otras, como la retina, sólo son visibles con un oftalmoscopio. Estas ilustraciones muestran las estructuras principales dentro del ojo.





### ***Cuerpo ciliar***

El *cuerpo ciliar*, tres músculos que junto con el iris forman la parte anterior de la úvea vascular, controla el grosor del cristalino. En conjunto con el efecto de los músculos del iris, el cuerpo ciliar regula la luz que es enfocada a través del cristalino en la retina.

### ***Cámara posterior***

La *cámara posterior* es un espacio pequeño directamente posterior al iris y anterior al cristalino. Está llena de humor acuoso.

## Segmento posterior

En el segmento posterior están el humor vítreo, la esclerótica posterior, la coroides y la retina.

### ***Humor vítreo***

El *humor vítreo* se compone de un material gelatinoso y espeso que llena el espacio detrás del cristalino. Ahí, éste mantiene en su lugar a la retina y la forma esférica del ojo.

### ***Esclerótica posterior y coroides***

La *esclerótica posterior* es una capa de color blanco, opaca y fibrosa que reviste el segmento posterior del globo ocular. Continúa por detrás en la vaina dural, que cubre el nervio óptico. La *coroides* se encuentra debajo de la esclerótica. Contiene muchas arterias y venas pequeñas.

### ***Retina***

La *retina* es la superficie más interna del globo ocular. Recibe estímulos visuales y los envía al encéfalo. Los cuatro conjuntos de vasos retinianos contienen una arteriola transparente y una vena, así como el disco óptico, la excavación de la papila, conos y bastones, y la mácula.

### El disco óptico óptimo

Las arteriolas y venas se vuelven progresivamente más delgadas a medida que se alejan del disco óptico. El *disco óptico* es un área en la retina, bien delimitada, de 1.5 mm de diámetro con forma circular u ovalada. Tiene un color amarillo cremoso o rosa, y permite que el nervio óptico ingrese a la retina a través de un punto conocido como *papila óptica*. Puede estar presente una medialuna de tejido de esclerótica, blanquecina o grisácea, a los lados del disco.

### La excavación en la superficie

La *excavación de la papila* es una depresión de color claro que está en el lado temporal del disco óptico. Cubre un tercio del centro del disco.



## Visionarios

Las neuronas fotorreceptoras, llamadas *conos* y *bastones*, componen los receptores visuales de la retina, los cuales son responsables de la visión.

## El Conde Mácula

La *mácula* se encuentra lateral al disco óptico. Es ligeramente más oscura que el resto de la retina, y en ella no son visibles los vasos retinianos. Un pequeño desnivel en el centro de la mácula, conocido como *fóvea central*, contiene la mayor concentración de conos y bastones; por lo tanto, funciona como el principal receptor de la visión y el color.

## Vía visual

Las estructuras del ojo perciben y forman imágenes para enviarlas al encéfalo a que sean interpretadas. Para interpretar estas imágenes correctamente, el cerebro depende de las estructuras a lo largo de la *vía visual*, la cual utiliza el nervio óptico, el quiasma óptico y la retina para crear los campos visuales adecuados.

## Al cruzar caminos

En el *quiasma óptico*, las fibras de los campos nasales de ambas retinas se cruzan al lado opuesto, mientras que las fibras de las porciones temporales permanecen del mismo lado. Estas fibras, tanto cruzadas como sin cruzar, forman los *tractos ópticos*. Las lesiones en uno de los nervios ópticos son capaces de producir ceguera en el ojo. Una lesión en el quiasma óptico puede causar pérdida parcial de la visión, por ejemplo, pérdida de la visión en ambos campos temporales.

## Céntrate en la fóvea central

La formación de las imágenes inicia cuando las estructuras del ojo refractan los rayos de luz desde un objeto. Por lo general, la córnea, el humor acuoso, el cristalino y el humor vítreo refractan los rayos de luz procedentes de un objeto y los enfocan en la fovea central, donde claramente se forma una imagen invertida en ambos ejes. Dentro de la retina, los conos y bastones convierten la imagen proyectada en un impulso nervioso para transmitirlo al nervio óptico.

Sigue los tractos hacia la corteza cerebral

El impulso viaja a través del quiasma óptico (donde se unen dos nervios ópticos y se vuelven a dividir en dos tractos ópticos) y continúa hacia la porción óptica de la corteza cerebral. Una vez ahí, la imagen que fue invertida en ambos ejes sobre la retina es procesada por el encéfalo para crear una imagen tal como se aprecia en realidad en el campo de visión.

El disco óptico no tiene receptores de luz y, por lo tanto, es un "punto ciego". Sin embargo, lo compenso de tal forma que no hay interrupción en lo que se observa.





---

## Oído

Los *oídos* son los órganos de la audición. También mantienen al cuerpo en equilibrio. El oído se divide en tres partes principales: externo, medio e interno (véase *Estructuras del oído*).

### Estructuras del oído externo

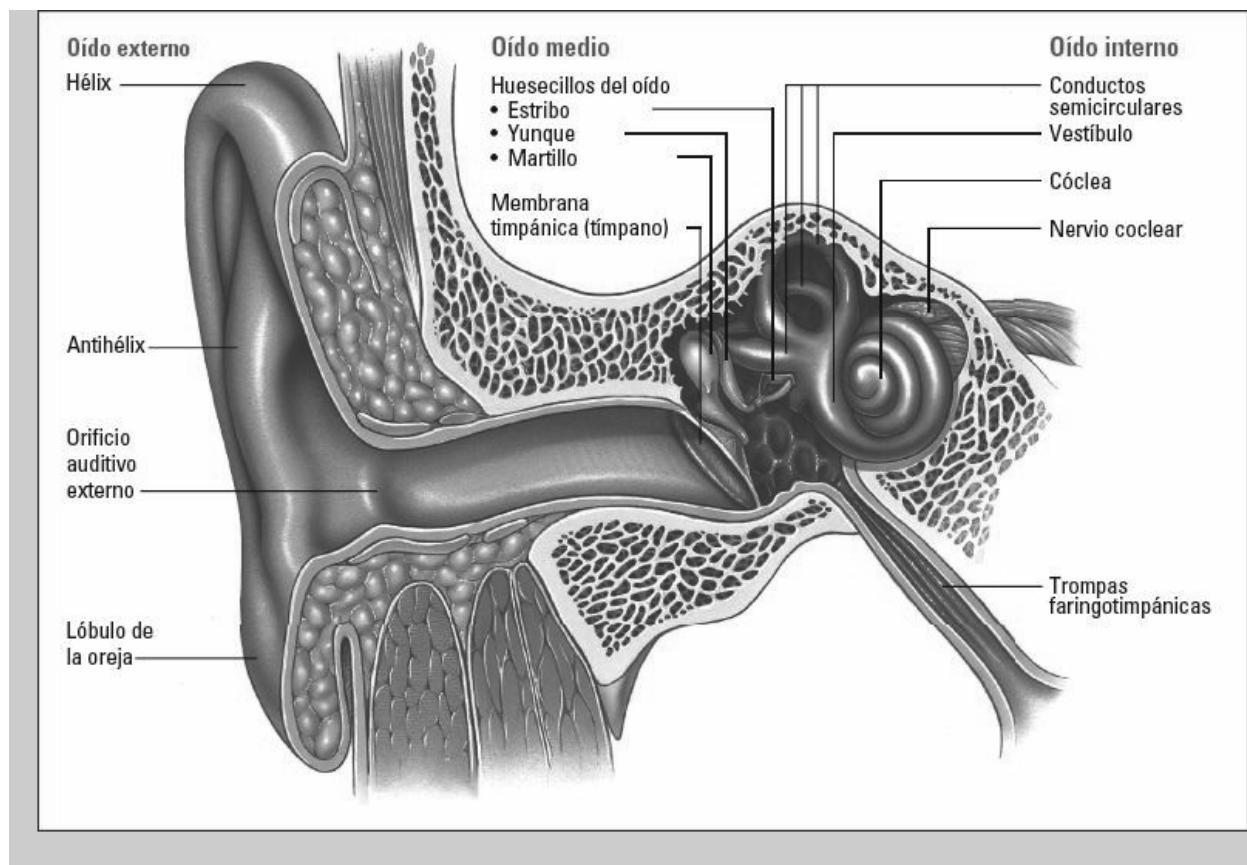
El *oído externo* consta del pabellón auricular y el conducto auditivo externo. El *proceso (apófisis) mastoidea* no es parte del oído externo, sino una estructura ósea importante detrás de la parte inferior del pabellón auricular.



## Zoom

### Estructuras del oído

El *oído* es el órgano de la audición. Las estructuras de sus tres porciones (externa, media e interna) se ilustran a continuación.



### ***Pabellón auricular***

El *pabellón auricular* (oreja) es la protrusión externa y visible del oído. Ayuda a recolectar y dirigir el sonido entrante hacia el conducto auditivo externo.

### ***Conducto auditivo externo***

El *conducto auditivo externo* es una pequeña cámara que conecta el pabellón auricular con la membrana timpánica. Este canal transmite el sonido a la caja y membrana timpánica.

## **Estructuras del oído medio**

El *oído medio* también se denomina *cavidad timpánica*. Es una cavidad llena de aire dentro de la porción dura del hueso temporal. La cavidad timpánica se encuentra revestida de mucosa. Su límite distal es la membrana timpánica y de forma medial son las ventanas ovales y redondas. La trompa auditiva iguala la presión dentro del oído. Los pequeños huesos del oído medio conducen vibraciones.

### ***Membrana timpánica***

La *membrana timpánica* se compone de capas de piel, tejido fibroso y una membrana mucosa; transmite vibraciones de sonido al oído interno.

### ***Trompas auditivas***

La *trompa auditiva, faringotimpánica* o *de Eustaquio*, se extiende hacia abajo,

adelante y adentro desde el oído medio hasta la nasofaringe. Tiene una función útil: permite que las presiones sobre las superficies interior y exterior de la membrana timpánica se igualen, lo que previene roturas y permite la transmisión adecuada de las ondas de sonido.

### ***Ventana oval***

La *ventana oval* (*fenestra ovalis*) es un orificio en la pared que está entre el oído medio y el interno. Parte del estribo (un hueso pequeño del oído medio) encaja en esta ventana y transmite vibraciones al oído interno.

### ***Ventana redonda***

La *ventana redonda* (*fenestra cochleae*) es otro orificio en la misma pared. Se encuentra delimitada por la membrana timpánica secundaria. Como la ventana oval, la ventana redonda transmite las vibraciones al oído interno.

### ***Huesecillos del oído***

El oído medio contiene tres pequeños huesos, denominados *huesecillos*, que conducen vibraciones desde el tímpano hasta la ventana oval. Los huesecillos son:

- El *martillo*, un hueso que se une a la membrana timpánica y transfiere el sonido al yunque.
- El *yunque*, un hueso que se articula con el martillo y el estribo, y que conduce las vibraciones al estribo.
- El *estribo*, un hueso que lleva los movimientos del yunque hasta la ventana oval.

## **Estructuras del oído interno**

En el oído interno, las vibraciones estimulan las terminaciones nerviosas. Para formar el oído interno, se combinan un laberinto óseo y uno membranoso. El oído interno contiene el vestíbulo, la cóclea y los conductos semicirculares.

### ***Vestíbulo***

El *vestíbulo* está situado posterior a la cóclea y anterior a los conductos semicirculares. Sirve como la entrada al oído interno. Contiene dos sacos membranosos, el *sáculo* y el *utrículo*. El sáculo y el utrículo, suspendidos en un líquido llamado *perilinfa*, perciben cambios en la gravedad y aceleración angular y lineal.

### ***Cóclea***

La *cóclea* es un cono óseo en espiral que se extiende desde la parte anterior del vestíbulo. En su interior se encuentra el *conducto coclear*, una estructura triangular y membranosa que contiene el *órgano de Corti*. El órgano receptor de la audición, el órgano de Corti, transmite el sonido a la rama coclear del nervio acústico (vestibulococlear, o NC VIII).

## ***Conductos semicirculares***

Cada uno de los tres *conductos semicirculares* se proyecta desde la parte posterior del vestíbulo. Estos canales están orientados en uno de tres planos: superior, posterior y lateral. El *conducto semicircular* atraviesa los canales y se conecta con la parte anterior del utrículo. La *cresta ampular* está al final de cada uno de los canales, y contiene células ciliadas y células de sostén. Es estimulada por movimientos bruscos o cambios en la velocidad o dirección del movimiento.

## **Vías auditivas**

Para que ocurra la audición, las ondas sonoras viajan por el oído mediante dos vías, conducción aérea y ósea:

- La *conducción aérea* sucede cuando las ondas sonoras viajan en el aire hacia el oído externo, medio e interno.
- La *conducción ósea* es cuando las ondas sonoras viajan por el hueso al oído interno (véase *Transmisión del sonido*).

Para que se lleve a cabo la audición, las ondas sonoras viajan a través del oído mediante dos vías: conducción aérea y ósea.



Escucha cómo vibra



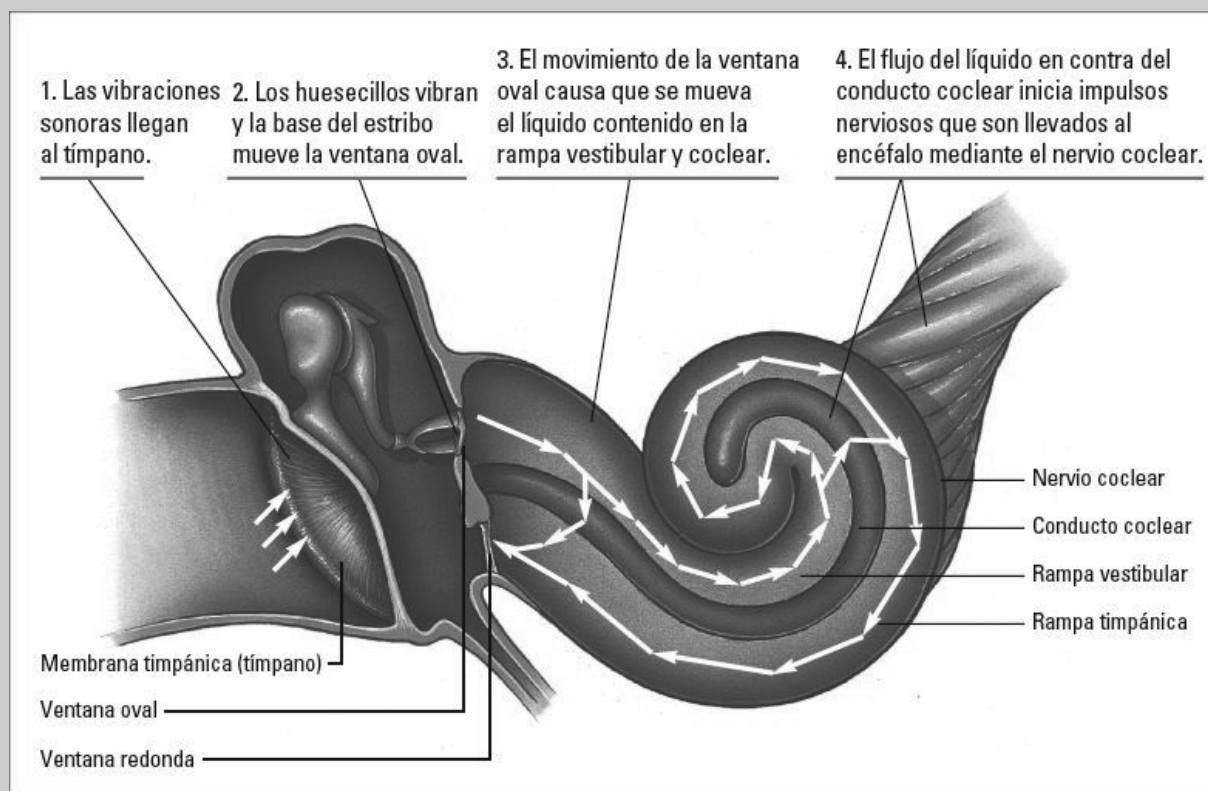
Las vibraciones transmitidas a través del aire y el hueso transmiten impulsos nerviosos hacia el oído interno. La rama coclear del nervio acústico transporta estas vibraciones al área auditiva de la corteza cerebral. Después, la corteza encefálica interpreta el sonido.



¡Eureka!

## Transmisión del sonido

La siguiente imagen detalla la transmisión de sonido a través de las estructuras del oído medio e interno.



## Nariz y boca

La *nariz* es el órgano de la olfacción. El epitelio de la mucosa que recubre la porción superior de la cavidad nasal contiene receptores de las fibras del nervio olfatorio (I).

El buen olfato

Estos receptores, denominados *receptores olfatorios*, se componen de células ciliadas muy sensibles pero que se fatigan sin mucho esfuerzo. Son estimulados por el mínimo olor; sin embargo, dejan de percibir incluso el olor más fuerte después de un período breve.

Saca la lengua

La lengua y el paladar contienen la mayor parte de los receptores de las fibras del sentido del gusto (ubicadas en las ramas de los nervios craneales VII y IX). Estos receptores, llamados *papilas gustativas*, son estimulados por sustancias químicas. Responden a cuatro sensaciones gustativas: dulce, agrio, amargo y salado. Todos los otros sabores que percibe una persona son una combinación de la estimulación de receptores de la olfacción y de las papilas gustativas.



## Preguntas de autoevaluación

1. Son componentes del sistema nervioso central:
  - A. La médula espinal y los nervios craneales
  - B. El encéfalo y la médula espinal
  - C. El sistema nervioso simpático y el parasimpático
  - D. Los nervios craneales y los nervios espinales

**Respuesta:** B. Las dos divisiones principales del sistema nervioso son el sistema nervioso central, que incluye el encéfalo y la médula espinal, y el nervioso periférico, que consta de nervios craneales, nervios espinales y sistema nervioso autónomo.

2. El encéfalo está protegido de golpes e infecciones por:
  - A. Huesos, meninges y líquido cefalorraquídeo
  - B. Sustancia gris, huesos y estructuras primitivas
  - C. Barrera hematoencefálica, líquido cefalorraquídeo y sustancia blanca
  - D. Axones, neuronas y meninges

**Respuesta:** A. Los huesos (cráneo y columna vertebral), las meninges y el líquido cefalorraquídeo protegen al cerebro de golpes e infecciones.

3. Los receptores visuales de la retina se componen de:
  - A. Pupila y cristalino
  - B. Disco óptico y nervio óptico
  - C. Humor vítreo y humor acuoso
  - D. Conos y bastones

**Respuesta:** D. Las neuronas fotorreceptoras, llamadas *conos* y *bastones*, componen los receptores visuales de la retina.

4. El oído externo consta de:
  - A. Vestíbulo, cóclea y conductos semicirculares
  - B. Membrana timpánica, ventana oval y ventana redonda
  - C. Pabellón auricular y conducto auditivo externo
  - D. Martillo, yunque y estribo

**Respuesta:** C. El pabellón auricular y el conducto auditivo externo son parte del oído externo.

5. Los nervios craneales transmiten mensajes motores y sensitivos entre:
  - A. La columna vertebral y los dermatomas
  - B. El encéfalo y la cabeza y cuello
  - C. Las vísceras y el encéfalo
  - D. El encéfalo y los músculos esqueléticos

**Respuesta:** B. Los 12 pares de nervios craneales transmiten mensajes motores (eferentes) y sensitivos (aférentes) entre el encéfalo o el tronco del encéfalo y la cabeza y cuello.

# Puntuación

- ☆☆☆ Si contestaste cinco preguntas de manera correcta, ¡estupendo! Eres un cerebritito.
- ☆☆ Si respondiste cuatro preguntas de manera acertada, ¡extraordinario! Tu sustancia gris trabaja a una gran velocidad.
- ☆ Si contestaste menos de cuatro preguntas de manera correcta, no dejes que los nervios se te pongan de punta. Entrena a tu cerebro mediante una nueva revisión de este capítulo.



## ¡Diviértete!

El sistema nervioso autónomo tiene dos subdivisiones principales. Descifra las palabras en las casillas de la izquierda para revelar los nombres de estos dos sistemas nerviosos. Después, traza una línea desde las casillas de la izquierda hasta la lista de la derecha para unir cada sistema con sus respuestas fisiológicas.

- A. Constricción del músculo liso en los bronquios
- B. Vasoconstricción
- C. Reducción de la frecuencia, contractilidad y velocidad de conducción cardíaca
- D. Incremento de la presión arterial
- E. Aumento de la frecuencia y la contractilidad cardíaca
- F. Aumento del peristaltismo y el tono del tubo digestivo, con relajación de esfínteres
- G. Incremento del flujo sanguíneo a los músculos esqueléticos
- H. Aumento de la frecuencia respiratoria
- I. Dilatación de vasos de genitales externos, provocar la erección del pene
- J. Aumento de las secreciones pancreáticas, salivales y lagrimales
- K. Relajación del músculo liso de bronquiolos, tubo digestivo y vías urinarias
- L. Contracción de esfínteres
- M. Constricción de la pupila
- N. Dilatación de la pupila y relajación del músculo ciliar
- O. Aumento de la secreción de las glándulas sudoríparas
- P. Reducción de la secreción pancreática

CAMPSITOI

APARMACITOSPI

---

## Bibliografía

McCance, K. L., & Huether, S. E. (2015). *Pathophysiology: The biologic basis for disease in adults and children* (7th ed.). Elsevier Health Sciences. St. Louis. <https://books.google.com/books>. ISBN No.: 0323293751.

National Institute on Aging. (January 22, 2015). *The changing brain in healthy aging*. <https://www.nia.nih.gov/>

# Capítulo 7

## Sistema endocrino

### Objetivos



En este capítulo aprenderás:

- ◆ Funciones de las glándulas endocrinas
- ◆ Liberación y transporte hormonal en el sistema endocrino
- ◆ Papel de los receptores en la forma en que influyen las hormonas en las células

### Una mirada al sistema endocrino

Existen tres componentes principales del sistema endocrino:

- *Glándulas*: grupos de células especializadas u *órganos*.
- *Hormonas*: sustancias químicas secretadas por glándulas en respuesta a los estímulos.
- *Receptores*: moléculas *proteicas* que se unen con otras de manera específica, como hormonas, y que desencadenan cambios específicos en una célula diana.



Junto con el sistema nervioso, el sistema endocrino regula e integra las actividades metabólicas del cuerpo.

## Glándulas

Existen tres componentes principales del sistema endocrino:

- Hipófisis
- Glándula tiroides
- Glándulas paratiroides
- Glándulas suprarrenales
- Páncreas
- Timo
- Glándula pineal
- Gónadas (ovarios y testículos) (véase *Componentes del sistema endocrino*, p. 110).

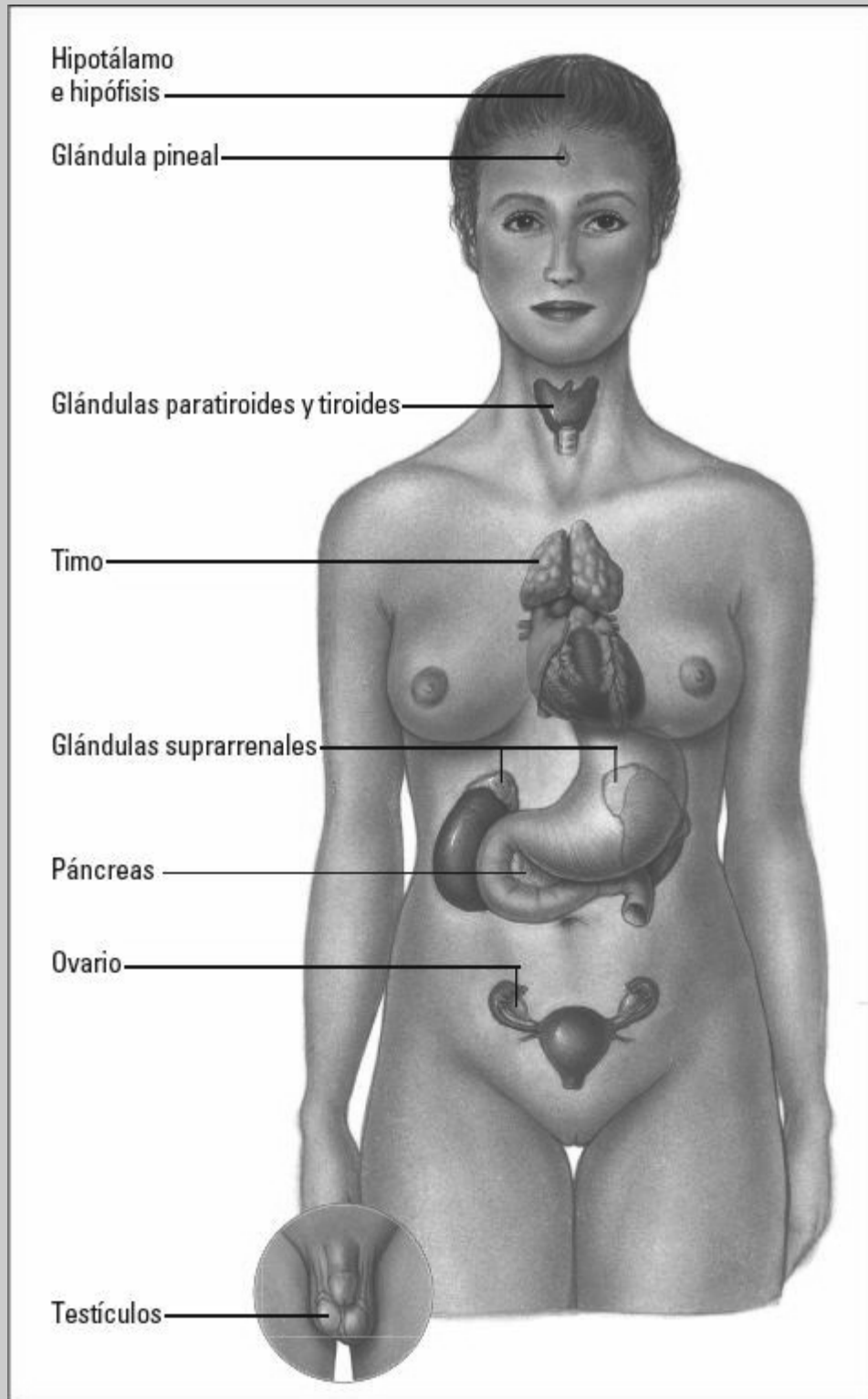


## La máquina perfecta

### Componentes del sistema endocrino

Las glándulas endocrinas secretan hormonas directamente en el torrente sanguíneo para regular funciones

corporales. La siguiente ilustración muestra la ubicación de las principales glándulas endocrinas.



## Hipófisis

La *hipófisis* (también llamada *glándula pituitaria* o *glándula maestra*) descansa sobre la *silla turca*, una depresión en el hueso esfenoidal, en la base del cráneo. Los vasos sanguíneos y los nervios llevan mensajes desde el hipotálamo hasta la hipófisis, que

tiene forma de chícharo (guisante o arveja), a través del infundíbulo (véase *¿Cómo afecta el hipotálamo las funciones endocrinas?*, p. 112). La hipófisis tiene dos regiones principales: la adenohipófisis y la neurohipófisis.

## Adenohipófisis

La adenohipófisis (*hipófisis anterior*) es la región más grande de la hipófisis. Produce al menos seis hormonas:

- Hormona del crecimiento (GH, *growth hormone*) o somatotropina
- Hormona estimulante de la tiroides (TSH, *thyroid-stimulating hormone*) o tirotropina
- Corticotropina (ACTH)
- Hormona foliculoestimulante (FSH, *follicle-stimulating hormone*) o folitropina
- Hormona luteinizante (LH, *luteinizing hormone*) o lutropina
- Prolactina

## Neurohipófisis

La *neurohipófisis* constituye aproximadamente el 25% de la glándula. Sirve como sitio de almacenamiento de la hormona antidiurética (ADH, *antidiuretic hormone*), también conocida como *vasopresina*, y la oxitocina. Ambas se producen en el hipotálamo.

---

## Glándula tiroides

La *tiroides* se encuentra justo debajo de la laringe, parcialmente delante de la tráquea. Sus dos lóbulos laterales, uno a cada lado de la tráquea, se unen mediante un puente estrecho de tejido denominado *istmo*, el cual proporciona la apariencia de mariposa a la glándula.

Dos lóbulos que funcionan como uno

Los dos lóbulos de la tiroides funcionan como una unidad para producir *triyodotironina* (T<sub>3</sub>), *tiroxina* (T<sub>4</sub>) y *calcitonina* (véase *Estimulación de la glándula tiroides*, p. 113).

T<sub>3</sub> y T<sub>4</sub> son la hormona tiroidea

En conjunto, las hormonas T<sub>3</sub> y T<sub>4</sub> son conocidas como *hormona tiroidea*. La hormona tiroidea, la principal hormona implicada en el metabolismo del cuerpo, regula el metabolismo mediante la aceleración de la respiración celular. El efecto puede verse en la temperatura del cuerpo, la frecuencia cardíaca, la estimulación cerebral, el crecimiento, el aumento en los niveles de atención y los reflejos más rápidos.





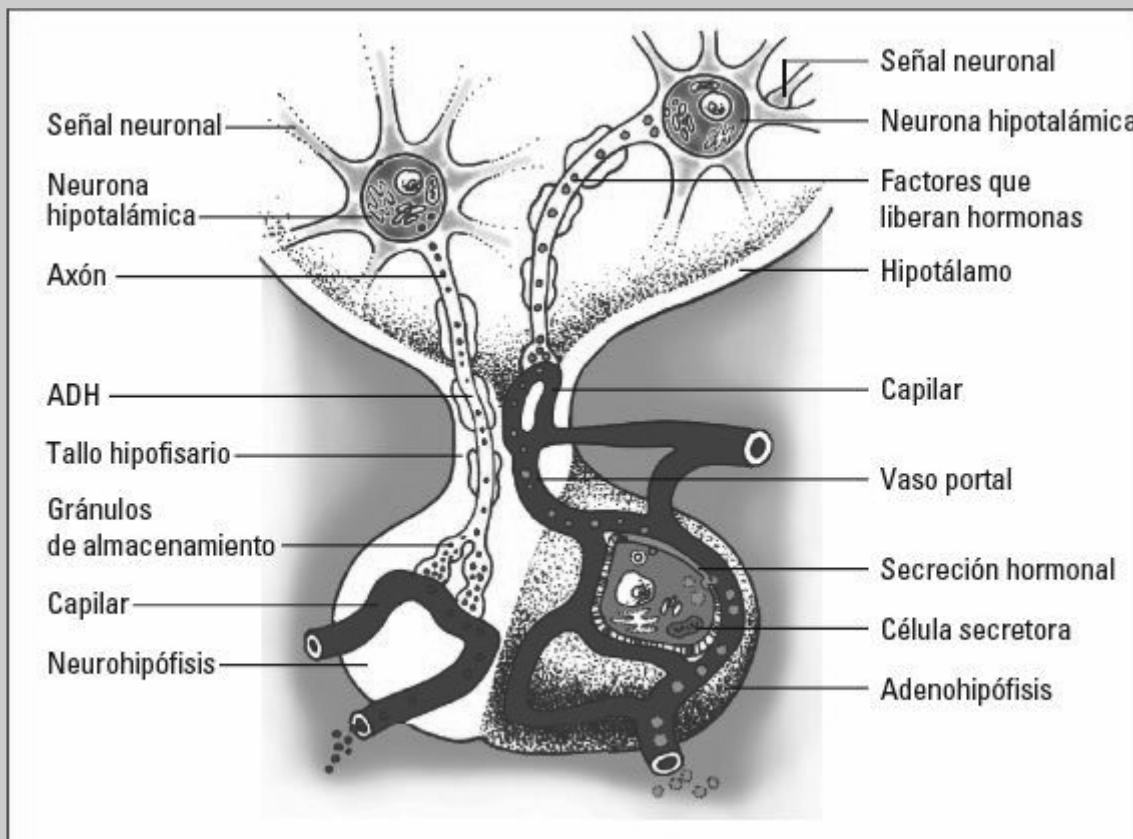
¡Eureka!

## ¿Cómo afecta el hipotálamo las funciones endocrinas?

### Hipotálamo e hipófisis

Las secreciones de la adenohipófisis y la neurohipófisis son controladas mediante señales del hipotálamo:

- Como se muestra en el lado izquierdo de la ilustración, la neurona hipotalámica produce hormona antidiurética (ADH), la cual se mueve hacia el axón y se almacena en gránulos secretores en las raíces nerviosas en la neurohipófisis, para secretarse más tarde.
- Como se muestra en el lado derecho de la ilustración, el hipotálamo estimula la producción de las múltiples hormonas de la adenohipófisis. Una neurona hipotalámica sintetiza hormonas estimulantes e inhibitoras, y las secreta a un capilar del sistema portal. Las hormonas viajan de modo descendente por el tallo hipofisario hacia la adenohipófisis. Ahí, inhiben o estimulan la liberación de las diversas hormonas de la hipófisis, como corticotropina, hormona estimulante de la tiroides, hormona del crecimiento, hormona foliculoestimulante, hormona luteinizante y prolactina.



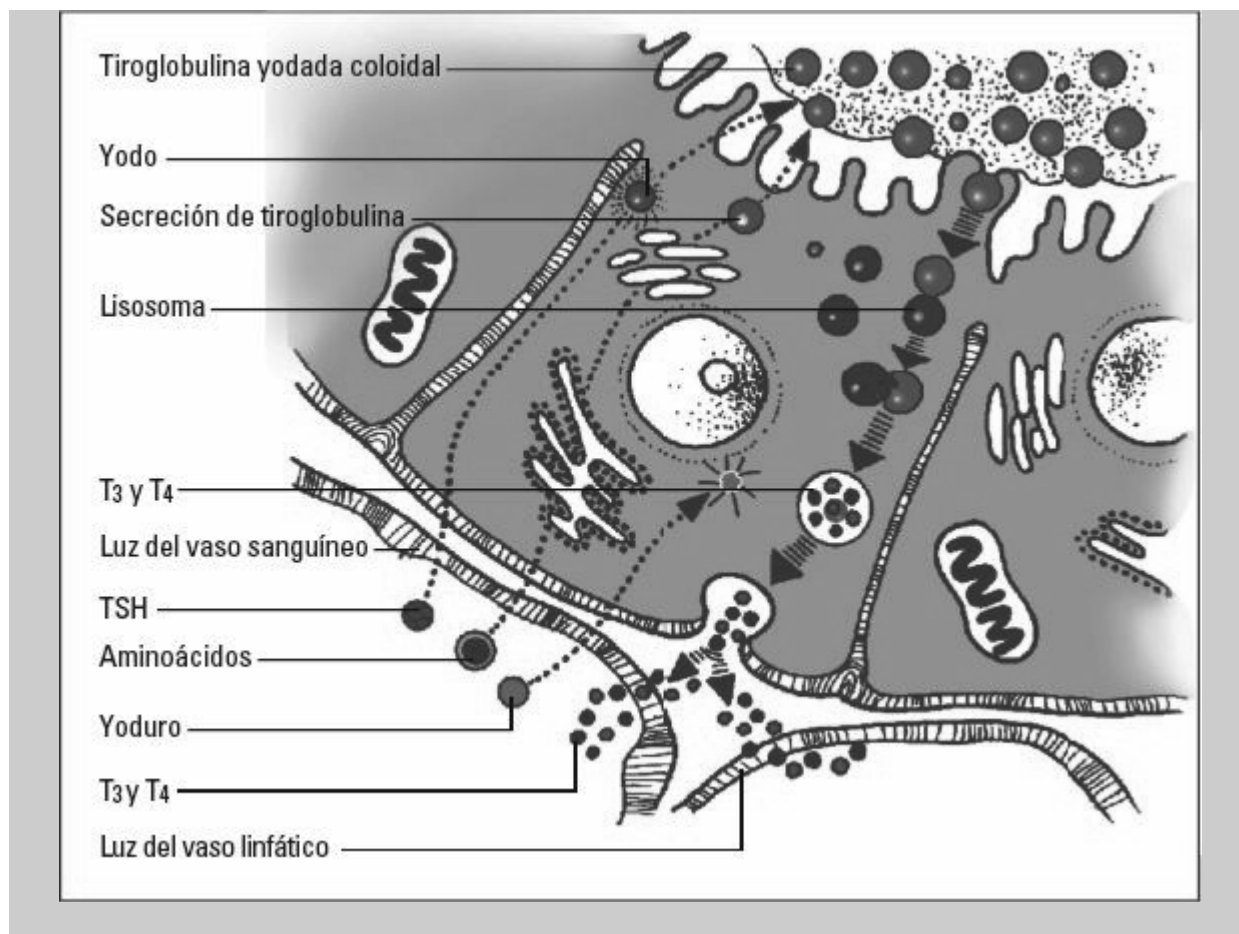
El hipotálamo  
es el centro de  
Integración del  
sistema endocrino  
y nervioso.



**¡Eureka!**

### **Estimulación de la glándula tiroides**

Las células de la glándula tiroides almacenan un precursor hormonal, la tiroglobulina yodada coloidal, la cual contiene yodo y tiroglobulina. Cuando es estimulada por la hormona estimulante de la tiroides (TSH), una célula folicular (que se muestra debajo) engulle un poco de la tiroglobulina mediante *endocitosis*, el proceso opuesto a la *exocitosis*. La membrana celular extiende unas pequeñas proyecciones en forma de dedo dentro del coloide y tira porciones de éste hacia la célula. Los lisosomas se fusionan con el coloide, que es degradado a triyodotironina ( $T_3$ ) y tiroxina ( $T_4$ ). Estas hormonas tiroideas se liberan en la circulación y el sistema linfático mediante *exocitosis*.



### El calcio en equilibrio

La calcitonina mantiene las concentraciones de calcio en la sangre inhibiendo la liberación de calcio desde el hueso. La secreción de calcitonina es controlada por la concentración de calcio en el líquido que rodea las células tiroideas.

## Glándulas paratiroides

Las *paratiroides* son las glándulas endocrinas más pequeñas del cuerpo. Estas glándulas están incrustadas en la superficie posterior de la tiroides, una en cada esquina.

### Calcio: su regulación

Las glándulas paratiroides trabajan juntas como una sola glándula para producir *hormona paratiroidea* (PTH) o *paratohormona*. La función principal de esta hormona es el equilibrio del calcio en la sangre. La PTH regula la velocidad a la que el calcio y el magnesio se desechan por la orina; además, aumenta el movimiento de iones fosfato de la sangre a la orina para su excreción.



La función principal de la hormona paratiroidea es el equilibrio del calcio en la sangre.

---

## Glándulas suprarrenales

Las dos *glándulas suprarrenales* se localizan sobre cada uno de los riñones. Estas glándulas con forma de almendra contienen dos estructuras diferentes: la corteza suprarrenal y la médula suprarrenal, que funcionan como glándulas endocrinas, cada una por separado.

### Corteza suprarrenal

La *corteza suprarrenal* es la capa externa. Forma la mayor parte de la glándula suprarrenal. Tiene tres zonas o capas de células:

1. La *zona glomerular*, o exterior, produce mineralocorticoides (principalmente aldosterona) que mantienen el equilibrio hídrico mediante el aumento de la reabsorción de sodio.
2. La *zona fascicular* (la zona media y más grande) produce los glucocorticoides cortisol (hidrocortisona), cortisona y corticosterona, así como cantidades pequeñas de hormonas sexuales, andrógenos y estrógenos. Los glucocorticoides regulan el metabolismo y la tolerancia al estrés.
3. La *zona reticular*, la zona más interna, produce hormonas sexuales,

dehidroepiandosterona (androstenolona) y sulfato de dehidroepiandosterona. Lo anterior inicia con la adrenarquia.



## Para recordar

Para recordar la ubicación de las glándulas suprarrenales, piensa en **supra-renal**. Estas glándulas se encuentran sobre los riñones.

## Médula suprarrenal

La *médula suprarrenal*, o capa interna de la glándula suprarrenal, funciona como parte del sistema nervioso simpático y produce dos catecolaminas: adrenalina y noradrenalina. Como el papel de las catecolaminas es importante dentro del sistema nervioso autónomo (SNA), la médula suprarrenal se considera una estructura neuroendocrina.

## Páncreas

El *páncreas*, un órgano triangular, se encuentra en la curvatura del duodeno, y se extiende de manera horizontal hacia la parte posterior del estómago hasta llegar al bazo.

## Endo y exo

El páncreas tiene función tanto endocrina como exocrina. Como función endocrina, el páncreas secreta hormonas, mientras que su función exocrina es secretar enzimas digestivas. Las *células acinares* forman la mayor parte de la glándula y regulan la función exocrina (véase *Estimulación del páncreas*).

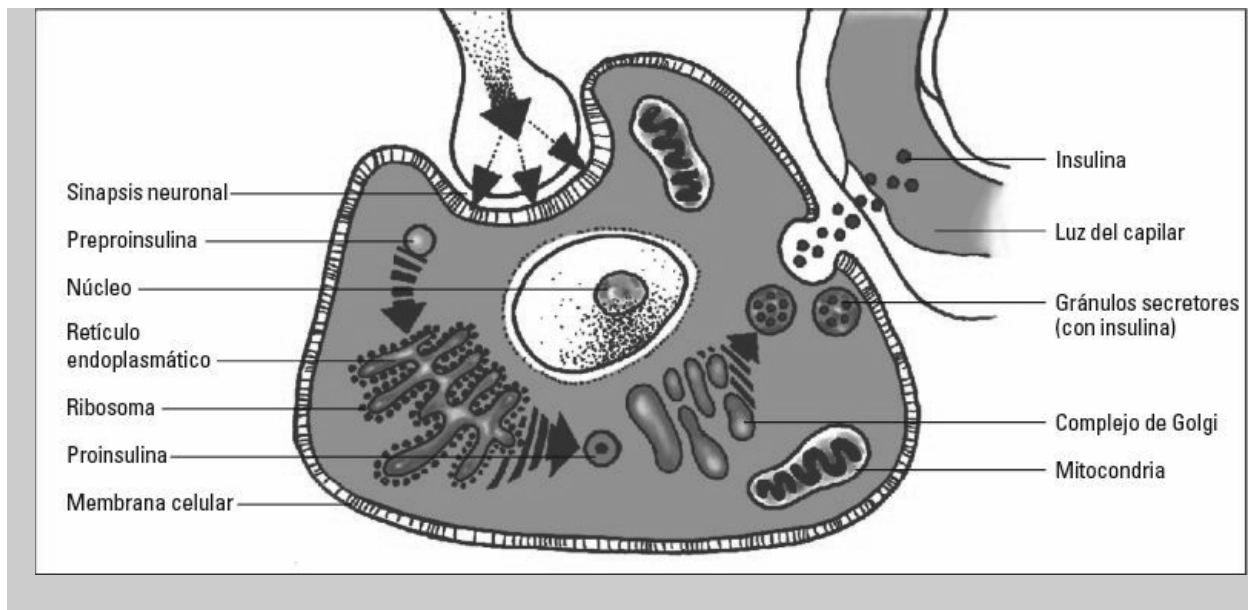


¡Eureka!

### Estimulación del páncreas

Muchas de las células endocrinas tienen receptores en sus membranas que responden a estímulos:

- La estimulación neuronal de las células  $\beta$  del páncreas (que se muestran a continuación) da lugar a la producción del precursor hormonal preproinsulina.
- La preproinsulina es convertida en proinsulina en los ribosomas que se localizan en el retículo endoplasmático rugoso.
- La proinsulina es llevada al complejo de Golgi, que la guarda en gránulos secretores y la convierte en insulina.
- Los gránulos secretores se fusionan con la membrana celular y liberan insulina al torrente sanguíneo.
- La liberación de hormonas mediante la fusión con la membrana se llama *exocitosis*.



### Islas en un mar de acinos

Las células endocrinas del páncreas se llaman células de los *islotes pancreáticos*, o *islotes de Langerhans*. Estas células forman grupos que se encuentran dispersos entre las células acinares. Los islotes contienen células  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\delta$ , que producen hormonas importantes:

- Las células  $\alpha$  producen *glucagón*, una hormona que aumenta las concentraciones de glucosa en sangre al estimular la producción de glucosa a partir de glucógeno.
- Las células  $\beta$  producen *insulina*, la cual disminuye la glucosa en sangre mediante la estimulación la conversión de glucosa en glucógeno.
- Las células  $\delta$  producen *somatostatina*. La somatostatina inhibe la liberación de hormona del crecimiento y algunas otras hormonas.



---

## Timo

El *timo* se localiza por debajo del esternón y contiene tejido linfático. Alcanza su mayor tamaño durante la pubertad para después atrofiarse.

El timo deja huella

Ya que el timo produce linfocitos T, parte importante de la inmunidad celular, su principal función parece estar relacionada con el sistema inmunitario. Sin embargo, el timo también produce las hormonas peptídicas timosina y timopoyetina. Estas hormonas estimulan el crecimiento del tejido linfático.

---

## Glándula pineal

La *glándula pineal*, una glándula diminuta, se encuentra en la parte trasera del tercer ventrículo encefálico. Esta glándula produce melatonina, de manera particular durante las horas oscuras del día. Se forman pequeñas cantidades de la hormona durante las horas luminosas del día, por lo que influye en el ciclo de sueño y vigilia. Se cree que la melatonina regula el ritmo circadiano, la temperatura corporal y la función cardiovascular y reproductiva.

---

## Gónadas

Las gónadas son los ovarios (en mujeres) y los testículos (en hombres).

### Ovarios

Los *ovarios* son glándulas pares ovaladas que se encuentran en cada lado del útero; producen óvulos y hormonas esteroideas denominadas *estrógeno* y *progesterona*. Estas hormonas tienen cuatro funciones:

1. Promover el desarrollo y mantenimiento de los caracteres sexuales de la mujer
2. Regular el ciclo menstrual
3. Mantener las condiciones del útero para permitir el embarazo
4. Preparar la glándula mamaria para la lactancia (en conjunto con otras hormonas)

### Testículos

Los *testículos* son estructuras pares que se encuentran en la bolsa fuera del abdomen de los hombres, conocida como *escroto*. Los testículos producen espermatozoides y la hormona sexual masculina testosterona, la cual estimula y mantiene las características sexuales en el hombre, además de desencadenar el impulso sexual.

# Hormonas

Las *hormonas* son sustancias complejas que desencadenan o regulan la actividad de un órgano o grupo de células. Las hormonas se clasifican por su estructura molecular como polipéptidos, esteroides o aminas.

---

## Polipéptidos

Los *polipéptidos* son compuestos de proteínas que contienen muchos aminoácidos conectados por enlaces peptídicos. Entre ellos se incluyen:

- Hormonas de la adenohipófisis (hormona del crecimiento, TSH, corticotropina, FSH, LH y prolactina)
- Hormonas de la neurohipófisis (ADH y oxitocina)
- Hormona paratiroidea (PTH)
- Hormonas pancreáticas (insulina y glucagón)

---

## Esteroides

Los esteroides se derivan del colesterol; incluyen:

- Hormonas adrenocorticales secretadas por la corteza suprarrenal (aldosterona y cortisol)
- Hormonas sexuales secretadas por las gónadas (estrógenos y progesterona en las mujeres, o testosterona en los hombres)

---

## Aminas

Las *aminas* son derivadas de la *tirosina*, un aminoácido esencial que se encuentra en la mayoría de las proteínas. Entre ellas se incluyen:

- Hormonas tiroideas ( $T_4$  y  $T_3$ )
- Catecolaminas (adrenalina, noradrenalina y dopamina)

# Secreción y transporte de hormonas

A pesar de que la secreción de hormonas es resultado de la estimulación endocrina de glándulas, los patrones en los que se liberan varían mucho. Por ejemplo:

- La corticotropina (secretada en la adenohipófisis) y el cortisol (secretado en la corteza suprarrenal) son liberados en bolo como respuesta a ciclos del cuerpo. Las concentraciones de estas hormonas alcanzan sus valores más altos en la mañana.
- La secreción de la hormona paratiroidea (por las glándulas paratiroides) y la prolactina (por la adenohipófisis) es bastante constante durante todo el día.



- La secreción de insulina por el páncreas puede ser a un ritmo constante o esporádico, pues depende de las concentraciones de glucosa en sangre.

---

## Actividad hormonal

Cuando una hormona llega a su sitio de acción, se une a un receptor específico en la membrana o dentro de la célula. Los polipéptidos y algunas aminos se unen a receptores de la membrana. Los esteroides, más pequeños y liposolubles, y las hormonas tiroideas atraviesan la membrana celular para unirse con receptores intracelulares.

¡Justo en el blanco!

Después de la unión, cada hormona produce cambios fisiológicos específicos, de acuerdo con el sitio diana y su acción particular. Una hormona puede tener diferentes efectos en diferentes sitios.

Las hormonas tiroideas y esteroides circulan en la sangre unidas a proteínas del plasma, mientras que las catecolaminas y la mayoría de los polipéptidos no se unen a proteínas.



---

# Regulación hormonal

Para mantener el equilibrio delicado del cuerpo, la producción y secreción de hormonas están reguladas por un mecanismo de retroalimentación. El mecanismo implica hormonas, químicos y metabolitos en la sangre y el sistema nervioso. Este sistema puede ser simple o complejo (véase *La retroalimentación*).



¡Eureka!

## La retroalimentación

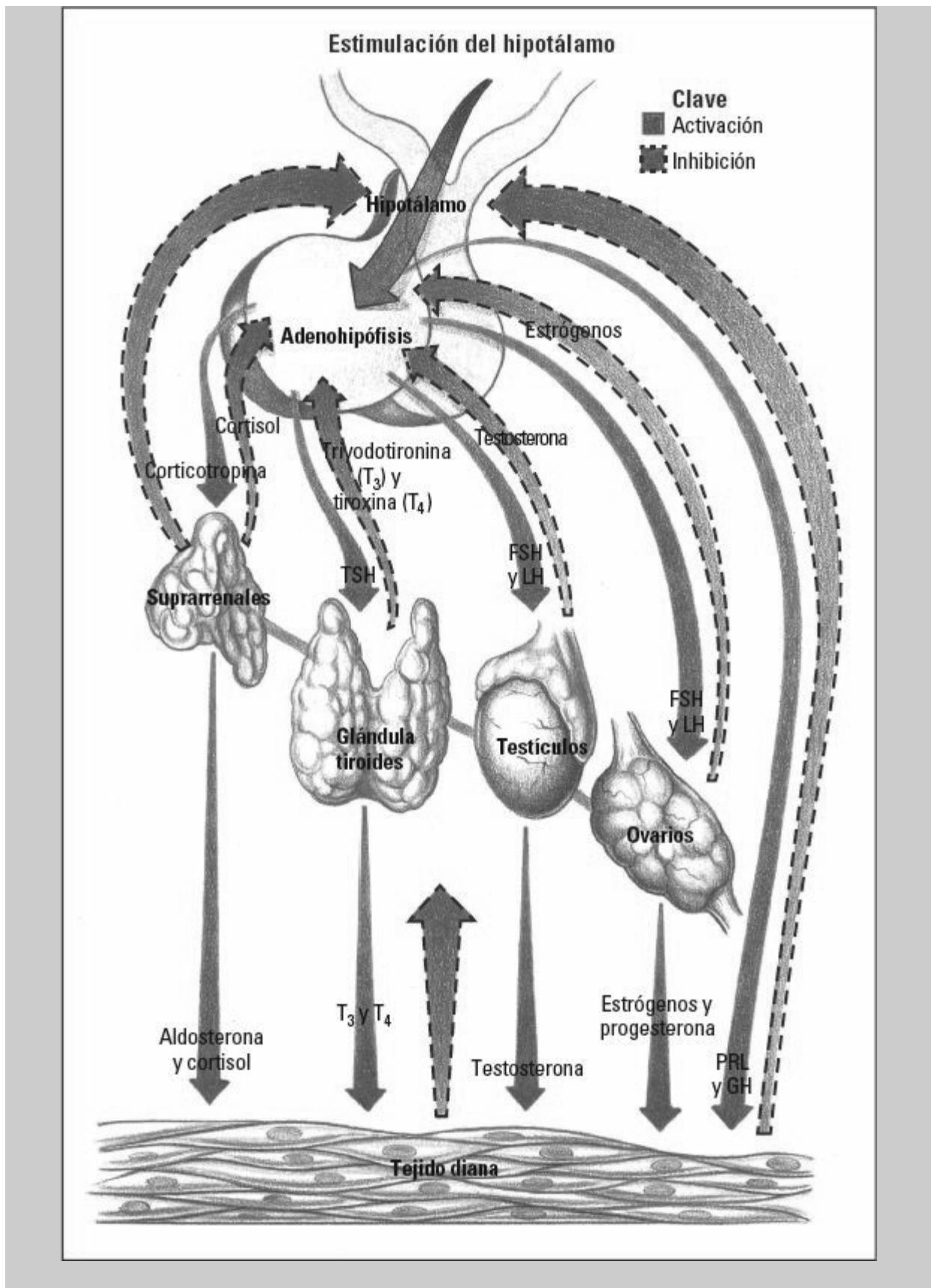
El diagrama muestra el mecanismo de retroalimentación negativa que ayuda a regular el sistema endocrino.

### Desde lo más simple...

La *retroalimentación simple* ocurre cuando la concentración de una sustancia regula la secreción de hormonas. Por ejemplo, la concentración disminuida de calcio en suero estimula las glándulas paratiroides para que liberen hormona paratiroidea (PTH). La PTH, a su vez, estimula la reabsorción de calcio en el tubo digestivo, riñones y huesos. Las concentraciones aumentadas de calcio en suero inhiben la secreción de PTH.

### ...hasta lo más complejo

La estimulación del hipotálamo también puede iniciar un mecanismo complejo de retroalimentación. Primero, el hipotálamo envía factores, u hormonas, que estimulan o inhiben la adenohipófisis. Como respuesta, la adenohipófisis libera hormonas, como la hormona del crecimiento (GH), prolactina (PRL), corticotropina, hormona estimulante de la tiroides (TSH), hormona foliculoestimulante (FSH) y hormona luteinizante (LH). En su órgano o tejido diana, estas hormonas estimulan la secreción de otras hormonas que regulan diferentes funciones corporales. Cuando estas hormonas tienen valores normales de concentración en el tejido, el sistema de retroalimentación inhibe la secreción hipotalámica e hipofisaria.



Las células que reciben señales

Con el objeto de funcionar de manera normal, cada célula debe contener suficientes células programadas correctamente para liberar hormonas activas en función de la

demanda. Las células secretoras necesitan supervisión. Una célula secretora no puede percibir por sí misma cuándo debe liberar hormona o cuánto de ella liberar. La célula recibe esta información desde sistemas de señalización e interpretación que integran gran cantidad de mensajes. En conjunto, las señales de estimulación e inhibición controlan la velocidad y duración de la liberación de una hormona.

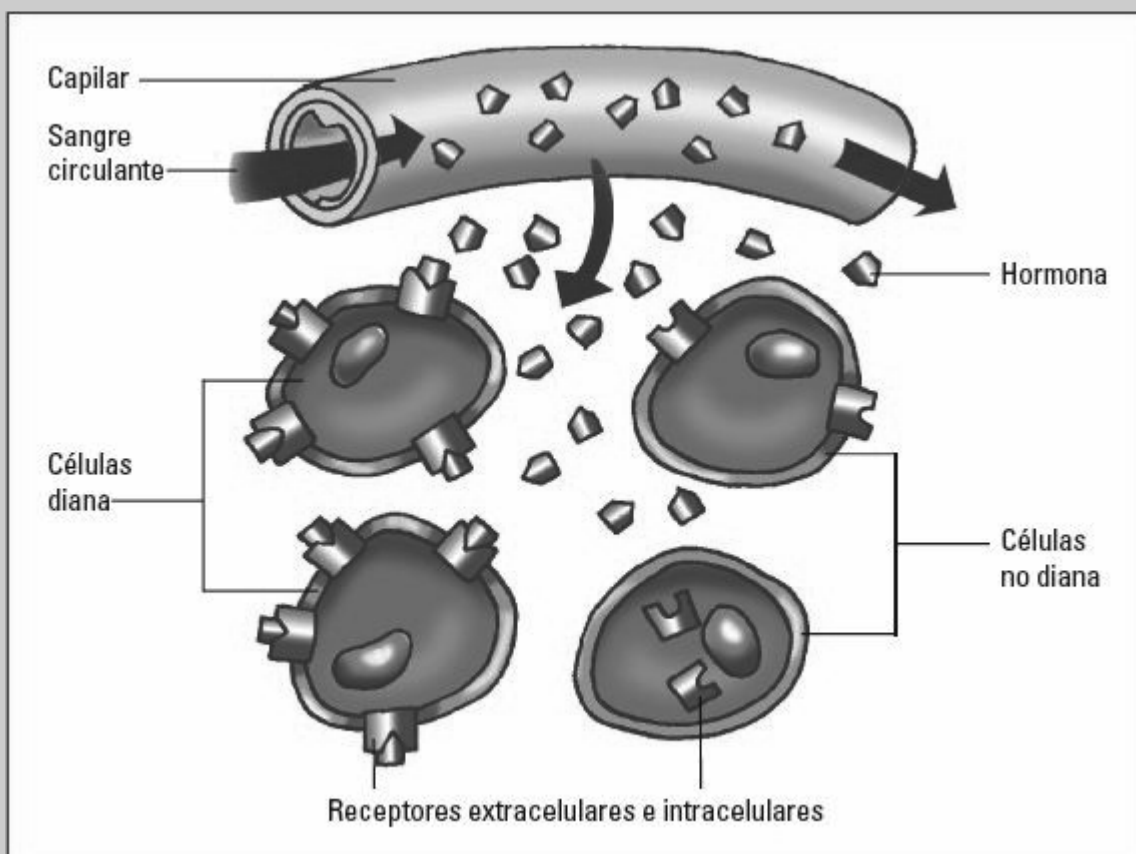
Cuando es liberada, la hormona se desplaza hacia las células diana, donde una molécula receptora la reconoce y se une a ella (véase *Una mirada a las células diana*).



¡Eureka!

### Una mirada a las células diana

Una hormona actúa sólo en las células que tienen receptores específicos para ella. La sensibilidad de una célula diana depende de cuántos receptores tenga para esa hormona en particular. Cuantos más receptores tenga, más sensible.





---

## Mecanismos que controlan la liberación de hormonas

Existen cuatro mecanismos que controlan la liberación de hormonas:

1. Eje hipofisario-glandular
2. Eje hipotálamo-hipofisario-glandular
3. Regulación química
4. Regulación del sistema nervioso

### Eje hipofisario-glandular

La hipófisis regula otras glándulas endocrinas y sus hormonas mediante hormonas *tróficas* (hormonas que estimulan o inhiben la liberación de otras). Estas hormonas incluyen:

- Corticotropina: regula hormonas adrenocorticales.
- TSH: regula  $T_4$  y  $T_3$ .
- LH: regula hormonas gonadales.

#### La información en círculos

La hipófisis recibe retroalimentación desde las glándulas diana al percibir de manera constante las concentraciones de las hormonas producidas en estas glándulas. Cuando ocurre algún cambio, la hipófisis lo corrige mediante una de dos posibilidades:

- Incrementa las hormonas tróficas para estimular la glándula diana y aumentar la

producción de hormonas.

- Disminuye las hormonas tróficas para reducir la activación de la glándula diana y sus hormonas.

## Eje hipotálamo-hipofisario-glandular

El hipotálamo también produce hormonas tróficas que regulan las hormonas de la adenohipófisis. Al controlar las hormonas de la adenohipófisis (que controlan las glándulas diana), el hipotálamo también influye sobre las glándulas diana.

## Regulación química

Las glándulas endocrinas que no son controladas por la hipófisis pueden ser controladas por sustancias específicas que inician secreciones glandulares. Por ejemplo, la concentración de glucosa en sangre regula de manera importante la liberación de glucagón e insulina. Cuando la glucemia aumenta, el páncreas es estimulado para aumentar la secreción de insulina e inhibe la secreción de glucagón. Una glucemia disminuida, por el contrario, da lugar a la secreción aumentada de glucagón y aminora la de insulina (véase *Cambios endocrinos relacionados con la edad*, p. 122).



## La tercera edad

### Cambios endocrinos relacionados con la edad

A medida que una persona envejece, suceden cambios normales en la función endocrina. La concentración de hormonas sexuales (testosterona, progesterona y estrógenos) disminuye. Se aprecia reducción en la concentración de aldosterona en suero, que causa hipotensión ortostática, y aumenta la PTH, que puede contribuir a la osteoporosis. También puede haber aumento en los valores de FSH, LH y noradrenalina.

Otra alteración endocrina importante y frecuente en los ancianos es el cambio en el metabolismo de la glucosa como respuesta al estrés. De manera normal, tanto los jóvenes como los adultos y las personas mayores tienen glucemia similar después de comer. Sin embargo, bajo condiciones de estrés, la glucemia de una persona mayor aumenta más y permanece así por más tiempo que en un adulto joven.

## Regulación del sistema nervioso

El sistema nervioso central (SNC) ayuda a regular la secreción de hormonas mediante diferentes formas.

El hipotálamo tiene el control

El hipotálamo controla las hormonas de la hipófisis. Como las células nerviosas en el hipotálamo estimulan a la neurohipófisis para producir ADH y oxitocina, estas hormonas son controladas de manera directa por el SNC.

Los estímulos también importan

Los estímulos que recibe el sistema nervioso, como hipoxia (deficiencia de oxígeno), náuseas, dolor, estrés y ciertas sustancias, también afectan la concentración de ADH.

El sistema nervioso autónomo también está en el centro de mando

El sistema nervioso autónomo controla la secreción de catecolaminas por la médula suprarrenal.

El estrés causa cambios hormonales

El sistema nervioso también tiene efecto sobre otras hormonas endocrinas. Por ejemplo, el estrés, que conduce a la estimulación del sistema nervioso simpático, hace que la hipófisis libere corticotropina.



## Preguntas de autoevaluación

1. El propósito del sistema endocrino es:
  - A. Llevar nutrientes a las células del cuerpo
  - B. Regular e integrar las actividades metabólicas del cuerpo
  - C. Eliminar productos de desecho del cuerpo
  - D. Controlar la temperatura corporal y producir células sanguíneas

**Respuesta:** B. Junto con el sistema nervioso, el sistema endocrino regula e integra las actividades metabólicas del cuerpo.

2. El mecanismo que ayuda a regular el sistema endocrino se llama:
  - A. Mecanismo de transporte

- B. Mecanismo de autorregulación
- C. Mecanismo de retroalimentación
- D. Eje hipofisario-glandular

**Respuesta:** C. La retroalimentación negativa permite la regulación del sistema endocrino al indicar a las glándulas endocrinas la necesidad de que se realicen cambios en las concentraciones hormonales.

3. La glándula que produce glucagón es:
- A. El páncreas
  - B. El timo
  - C. La glándula suprarrenal
  - D. La hipófisis

**Respuesta:** A. Las células  $\alpha$  del páncreas producen glucagón, una hormona que aumenta la glucosa en sangre al provocar la descomposición de glucógeno en glucosa.

4. Las hormonas de la hipófisis son controladas por:
- A. El páncreas
  - B. El hipotálamo
  - C. La glándula tiroides
  - D. Las glándulas paratiroides

**Respuesta:** B. El hipotálamo controla las hormonas de la hipófisis.

---

## Puntuación

- ☆☆☆ Si contestaste las cuatro preguntas de manera correcta, ¡sorprendente!  
¡Tus neuronas sí que trabajan!
- ☆☆ Si respondiste tres preguntas de forma acertada, ¡buen trayecto! ¡Has ganado un viaje a los islotes de Langerhans!
- ☆ Si contestaste menos de tres preguntas correctamente, no llores hormonas.  
Concéntrate en el siguiente capítulo.



**¡Diviértete!**

Las dos glándulas suprarrenales se localizan sobre cada uno de los riñones. Estas glándulas con forma de almendra contienen dos estructuras diferentes: la corteza suprarrenal y la médula suprarrenal, que funcionan como glándulas endocrinas, cada una por separado. Descifra las palabras en el lado izquierdo para descubrir las tres zonas, o capas de células, de la corteza suprarrenal. Traza una línea desde cada casilla hasta las características de las zonas enumeradas a la derecha.



AZON AGLREOLRUM

-----  
-----

NAZO ACRUSCFAIL

-----  
-----

NOZA CURLERAIT

-----  
-----

- A. Zona más externa.
- B. Ayuda a regular el metabolismo y la resistencia al estrés.
- C. Produce principalmente glucocorticoides y un poco de hormonas sexuales.
- D. Ayuda a mantener el equilibrio hídrico mediante el aumento de la reabsorción de sodio.
- E. Produce principalmente aldosterona (mineralocorticoides).
- F. Produce hidrocortisona, cortisona y corticosterona.
- G. La zona media y más grande.
- H. Zona más interna.
- I. Produce pequeñas cantidades de hormonas sexuales, tanto andrógenos como estrógenos.

Respuesta: ZONA GLOMERULAR: A, D, E; ZONA FASCICULAR: B, F, G, I; ZONA RETICULAR: C, H

---

## Bibliografía

- Aging Changes in Hormone Production. (2014). *Medline Plus*. Tomado de: <https://www.nlm.nih.gov/medlineplus/ency/article/004000.htm>
- Berg, J. M., Tymoczko, J. L., & Stryer, L. (2002). *Biochemistry* (5th ed.). Tomado de: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK22339/>
- Bird, I. (2012). In the zone: Understanding zona reticularis function and its transformation by adrenarche. *Journal of Endocrinology*, 214, 109–111. doi: 10.1530/JOE-12-0246
- Hormone. (2016). *Encyclopædia Britannica*. Tomado de: <https://www.britannica.com/science/hormone>
- How Does The Thyroid Work? (2015). *PubMed Health*. Tomado de: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmedhealth/PMH0072572/>
- Huether, S. E., & McCance, K. L. (2008). *Understanding pathophysiology*. St. Louis, MO: Mosby Elsevier.
- Pituitary Gland Introduction. (2016). *Emory Healthcare*. Tomado de: <http://www.emoryhealthcare.org/pituitary/pituitary-gland.html>
- The Pancreas Has Two Functional Components. (2015). *Johns Hopkins Medicine*. Tomado de: <http://pathology.jhu.edu/pancreas/BasicOverview3.php?area=ba>
- Thymus. (2016). *Endocrine Society*. Tomado de: <http://www.endocrine.org/news-room/glossary/thymus-to-z>

# Capítulo 8

## Sistema cardiovascular

### Objetivos



En este capítulo aprenderás:

- ◆ Estructuras del corazón y sus funciones
- ◆ Sistema de conducción cardíaca
- ◆ Flujo de sangre a través del corazón y el cuerpo

### Una mirada al sistema cardiovascular

El sistema cardiovascular (a veces llamado *circulatorio*) está compuesto por el *corazón* y los *vasos sanguíneos* y *linfáticos*. Esta red transporta el oxígeno y los nutrientes vitales para la célula, desecha los productos del metabolismo y lleva las hormonas de un lugar del cuerpo a otro.

El corazón bombea cerca de 7 500 litros de sangre por todo el cuerpo cada día, y late aproximadamente 100 000 veces.



### Trabajo doble

El corazón es en realidad un par de bombas separadas: la parte derecha lleva sangre a los pulmones para que reciban oxígeno, mientras que la parte izquierda lleva sangre al resto del cuerpo.

### El hogar del corazón

El corazón, con un tamaño similar al de un puño cerrado y con un peso menor a medio kilogramo, se encuentra detrás del esternón, en el mediastino (la cavidad entre ambos pulmones), entre la segunda y sexta costillas. En la mayoría de las personas, se ubica de manera oblicua, con su lado derecho por debajo y casi frente al izquierdo. Debido a este ángulo oblicuo, la parte más ancha del corazón, o base, se encuentra arriba a la derecha, mientras que su punta (ápice o vértice) está abajo a la izquierda. El choque de la punta ocurre en el ápice, donde los ruidos cardíacos son más pronunciados.

## Estructuras del corazón

El corazón está rodeado por un saco protector llamado *pericardio*. La pared del

corazón cuenta con tres capas: *miocardio*, *endocardio* y *epicardio*. En el corazón hay cuatro cámaras (dos atrios y dos ventrículos) y cuatro válvulas (dos atrioventriculares, o AV, y dos semilunares) (véase *Dentro del corazón*).



---

## Pericardio

El *pericardio* es un saco fibroso que rodea el corazón y las raíces de los *grandes vasos* (aquellos que entran y salen del corazón). Se compone de pericardio fibroso y seroso.

El fibroso está libre

El *pericardio fibroso*, compuesto de tejido duro, blanco y fibroso, envuelve de manera laxa el corazón para protegerlo.

El seroso es más suave

El *pericardio seroso*, la porción delgada, lisa e interna, tiene dos capas:

- *Parietal*: envuelve el interior del pericardio fibroso.
- *Visceral*: se adhiere a la superficie del corazón.

El espacio entre capas

Entre el pericardio seroso y el fibroso está la *cavidad pericárdica*. Este espacio contiene el *líquido pericárdico*, el cual lubrica la superficie para permitir que el corazón se mueva sin problemas durante la contracción.

---

## Pared cardíaca

La pared del corazón tiene tres capas:

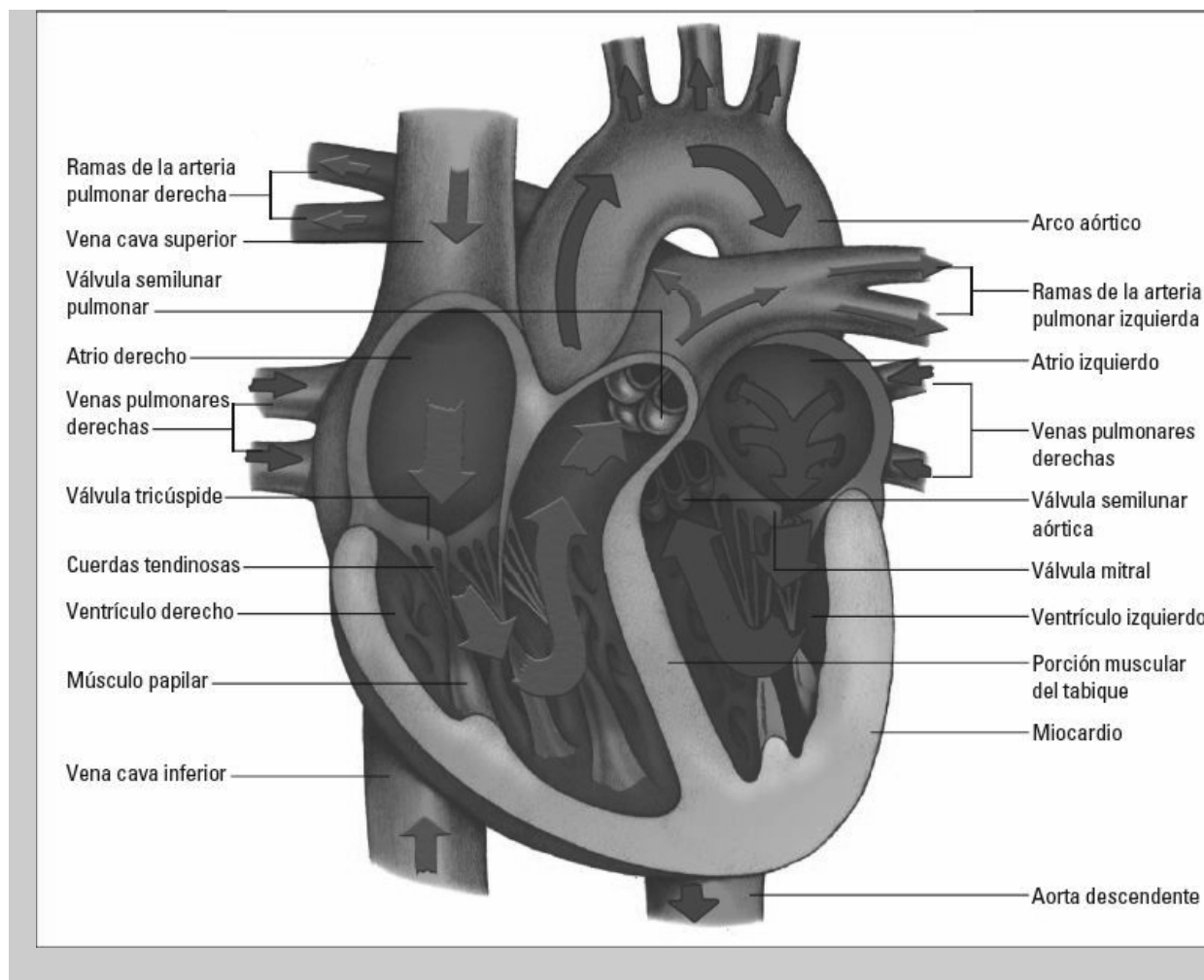
1. El *epicardio*, la capa externa (y la capa visceral del pericardio seroso), está compuesto por epitelio plano sobre tejido conectivo.
2. El *miocardio*, la capa media y más gruesa, conforma la mayor parte de la pared. Tiene fibras de músculo estriado que causan que el corazón se contraiga.
3. El *endocardio*, la capa interna del corazón, consiste en tejido endotelial con pequeños vasos sanguíneos y fascículos de músculo liso.



### Zoom

#### Dentro del corazón

En el corazón hay cuatro cavidades (dos atrios y dos ventrículos) y cuatro válvulas (dos atrioventriculares, o AV, y dos semilunares). Un sistema de vasos sanguíneos se encarga de llevar sangre desde y hasta el corazón.



## Cavidades cardíacas

El corazón tiene cuatro cavidades: dos atrios y dos ventrículos.

### Hacia arriba

Los *atrios* (o aurículas), las cavidades superiores, están separados por el *tabique interatrial*. Los atrios reciben la sangre que regresa al corazón y la envían a los ventrículos.

### Por aquí entra la sangre

El *atrio derecho* recibe sangre de las *venas cavas superior e inferior*. El *atrio izquierdo*, más pequeño pero con paredes más gruesas que el derecho, conforma la parte más alta de la porción superior del borde izquierdo del corazón. Recibe sangre de las cuatro venas pulmonares.

### Hacia abajo

Los *ventrículos derecho e izquierdo*, separados por el *tabique interventricular*, son las cavidades inferiores; reciben sangre desde los atrios. Los ventrículos, hechos de musculatura muy desarrollada, son más grandes y tienen paredes más gruesas que los

atrios.

Por aquí sale la sangre

El ventrículo derecho bombea sangre a los pulmones. El ventrículo izquierdo, el cual es más grande que el derecho, envía sangre hacia el resto de los otros los vasos del cuerpo.

---

## Válvulas

El corazón tiene cuatro válvulas: dos *atrioventriculares* y dos *semilunares*.



### Para recordar

Si puedes recordar que hay dos ruidos cardíacos, puedes recordar que hay dos pares de válvulas cardíacas. El cierre de las válvulas atrioventriculares produce el primer ruido cardíaco, el **dum**. El cierre de las válvulas semilunares produce el segundo, el **ta**.

### Calle de un solo sentido

Las válvulas permiten el flujo de sangre en sentido anterogrado, mientras que lo impiden en sentido retrógrado. Se abren y cierran como respuesta a los cambios en la presión provocados por la contracción ventricular y eyección de sangre.

Las dos válvulas atrioventriculares separan los atrios de los ventrículos. La válvula atrioventricular derecha, o *tricúspide*, previene el flujo retrógrado de sangre desde el ventrículo hasta el atrio derecho; la izquierda, o *mitral*, previene el flujo retrógrado de sangre desde el ventrículo hasta el atrio izquierdo.

Una de las dos válvulas semilunares, la *válvula pulmonar*, previene el reflujo de la arteria pulmonar al ventrículo derecho. La otra válvula semilunar es la *válvula aórtica*, que previene el flujo retrógrado de la sangre en la aorta al ventrículo izquierdo.

### En la cúspide

La válvula tricúspide tiene tres cúspides, o *valvas*. La válvula mitral también se llama *bicúspide*, ya que contiene dos cúspides, una anterior de mayor tamaño y una posterior. Las *cuerdas tendinosas* son estructuras que unen las cúspides de las válvulas atrioventriculares a los músculos papilares en los ventrículos. Las válvulas semilunares tienen tres cúspides que tienen forma de media luna.

## Sistema de conducción

La contracción del corazón, que resulta de la actividad de su *sistema de conducción*,

provoca que la sangre se mueva a través del cuerpo (véase *Sistema de conducción cardíaco*).

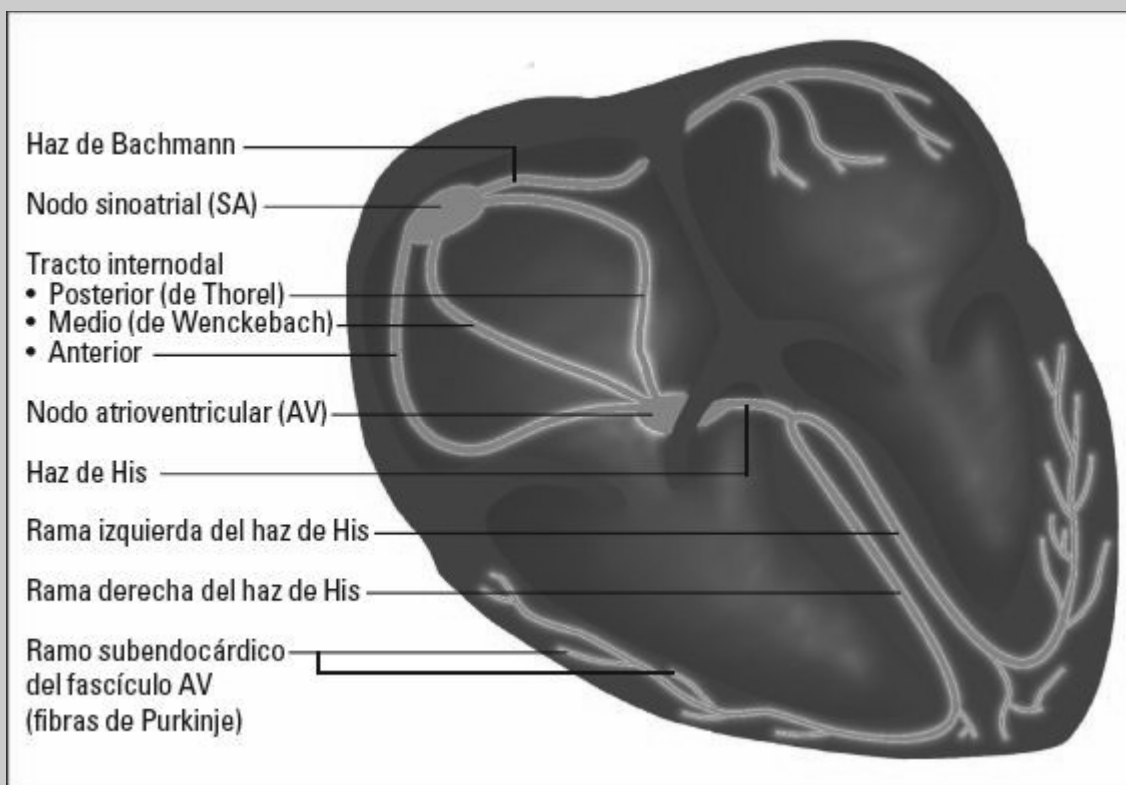
Marcando el paso

El sistema de conducción del corazón se compone de células del sistema de conducción, que tienen tres características especiales:

- *Automatismo*: capacidad para generar impulsos eléctricos de manera espontánea.
- *Excitabilidad*: capacidad para responder a un impulso.
- *Conductividad*: capacidad para transmitir un impulso a la célula siguiente.

## Sistema de conducción cardíaco

Para permitir que el músculo se contraiga, existen fibras especializadas que propagan impulsos eléctricos a través de las células del corazón. Esta ilustración muestra los componentes del sistema de conducción cardíaco.







### Siente el impulso

El nodo sinoatrial (SA), ubicado en la *superficie del endocardio* del atrio derecho, cerca de la vena cava superior, es el marcapasos del corazón; genera de 60-100 impulsos por minuto. La activación del nodo SA disemina un impulso hacia los atrios, lo que causa su contracción.

### A llenar el tanque

El nodo atrioventricular ralentiza la transmisión del impulso entre los atrios y ventrículos. Se localiza en la parte inferior de la pared del tabique del atrio derecho. Este nodo, que opone resistencia al impulso como si se tratara de una resistencia, permite que los atrios llenen los ventrículos con sangre antes de que éstos se contraigan.

### El mensaje llega a todos

El impulso viaja desde el nodo atrioventricular hasta el haz de His (fibras musculares modificadas), para llegar a las ramas derecha e izquierda de este haz. Por último, el impulso alcanza el ramo subendocárdico del fascículo AV (fibras de Purkinje). Las fibras de este fascículo se disponen en forma de abanico y atraviesan la pared del corazón, desde el endocardio hasta el miocardio. A medida que el impulso se propaga, lleva el mensaje a los ventrículos llenos de sangre para que se contraigan.

### A prueba de tontos

El sistema de conducción tiene incorporados dos sistemas a prueba de fallos. Si el nodo SA no inicia la contracción, el nodo AV genera un impulso de 40-60 veces por

minuto. Si ambos nodos fallan, los ventrículos pueden generar su propio impulso eléctrico entre 20 y 40 veces por minuto.



---

## Ciclo cardíaco

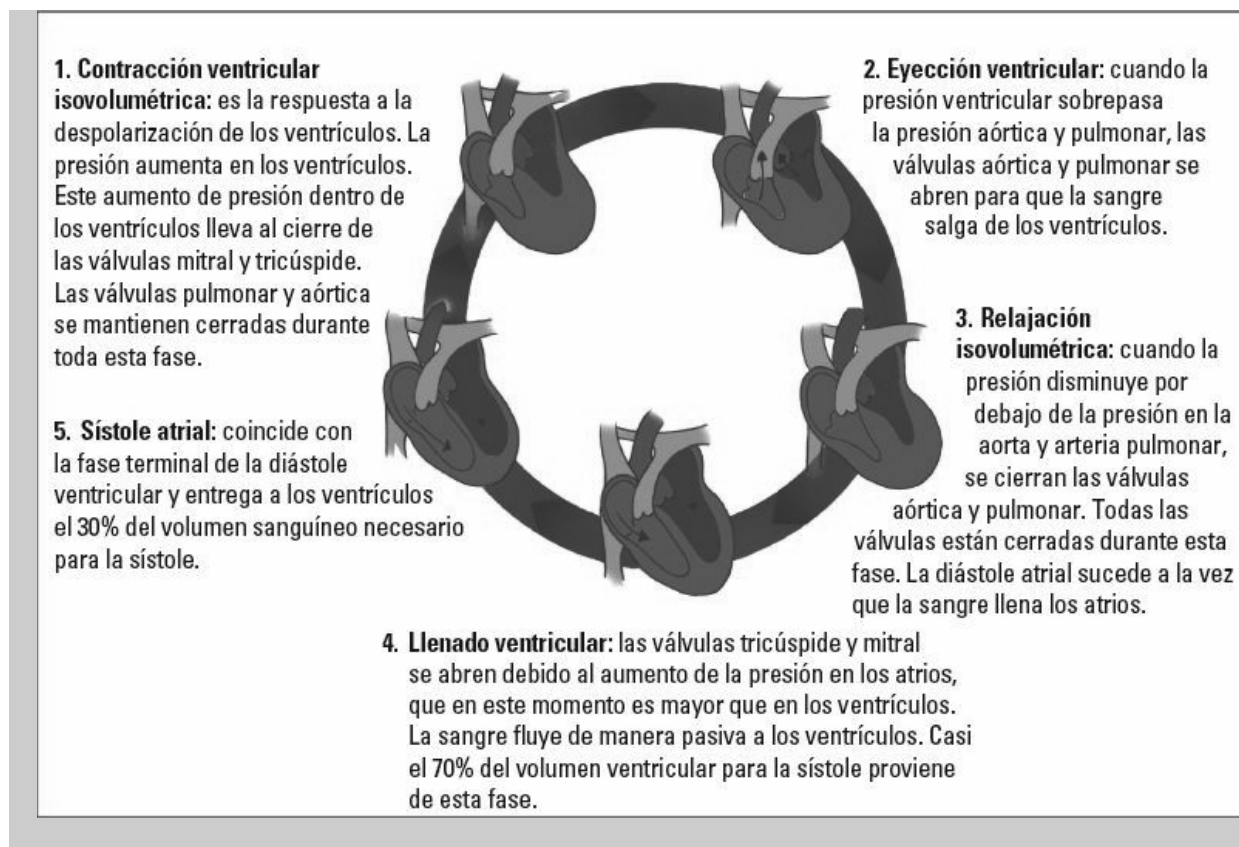
El *ciclo cardíaco* es el período que abarca desde el inicio de un latido del corazón hasta el inicio del siguiente. Durante este ciclo, deben producirse sucesos eléctricos y mecánicos en una secuencia adecuada y de un grado preciso para proveer un adecuado gasto cardíaco al organismo. El ciclo cardíaco tiene dos fases: *sístole* y *diástole* (véase *Fases del ciclo cardíaco*).



**¡Eureka!**

### Fases del ciclo cardíaco

El ciclo cardíaco se compone de los siguientes cinco eventos:



## Aprieta el corazón

Al inicio de la *sístole*, los ventrículos se contraen. El aumento de la presión sanguínea dentro de los ventrículos hace que se cierren las válvulas atrioventriculares (mitral y tricúspide), mientras que las semilunares (pulmonar y aórtica) se abren.

A medida que los ventrículos se contraen, la presión de la sangre dentro de los ventrículos sobrepasa la presión de la arteria pulmonar y la aorta. Gracias a lo anterior, las válvulas semilunares se abren, y los ventrículos impulsan la sangre a la aorta y arteria pulmonar.

## Y relaja

A medida que los ventrículos se vacían y relajan, la presión de la sangre dentro de éstos disminuye por debajo de la presión de la arteria pulmonar y aorta. Al inicio de la *diástole*, se cierran las válvulas semilunares para prevenir el flujo retrógrado de sangre hacia los ventrículos. Las válvulas mitral y tricúspide se abren para permitir el flujo de sangre desde los atrios.

Cuando los ventrículos están por llenarse, al final de esta fase, se contraen los atrios para enviar el resto de la sangre a los ventrículos. En este momento comienza un nuevo ciclo cardíaco, cuando vuelve a iniciar la sístole.

El gasto cardíaco normal es de alrededor de 5 L por minuto, en reposo.



---

## Gasto cardíaco

El *gasto cardíaco* es la cantidad de sangre que expulsa el corazón en un minuto. Equivale a la frecuencia cardíaca multiplicada por el *volumen sistólico*, la cantidad de sangre que es expulsada en cada latido. El volumen sistólico, a su vez, depende de tres factores principales: *precarga*, *contractilidad* y *poscarga* (véase *Comprender la precarga, contractilidad y poscarga*).

## Flujo sanguíneo

Mientras la sangre viaja a través del sistema vascular, pasa por cinco tipos diferentes de vasos sanguíneos, mediante tres métodos de circulación diferentes.

---

## Vasos sanguíneos

Los cinco tipos de vasos sanguíneos son arterias, arteriolas, capilares, vénulas y venas. La estructura de cada tipo de vaso varía de acuerdo con su función en el sistema cardiovascular y la presión que la sangre ejerce sobre éste en diferentes puntos del sistema.

## Paredes gruesas

Las *arterias* tienen paredes gruesas y musculares que permiten el flujo de sangre a presión y velocidad altas. Las *arteriolas* tienen paredes más delgadas que las arterias. Se contraen o dilatan para controlar el flujo de sangre hacia los capilares, que, al ser microscópicos, tienen paredes hechas de una sola lámina de células endoteliales.



¡Eureka!

### Comprender la precarga, contractilidad y poscarga

Si te imaginas al corazón como si fuera un globo, te ayudará a entender el volumen sistólico.

#### Inflar el globo

La *precarga* es cuando se estiran las fibras musculares de los ventrículos. Este estiramiento está asociado con el volumen en los ventrículos al final de la diástole. Según la ley de Starling, a mayor estiramiento de los músculos cardíacos durante la diástole, mayor será la fuerza de contracción en la sístole. La precarga es como cuando el globo se estira al inflarlo. Mientras más aire, mayor será el estiramiento.



#### El globo está inflado

La *contractilidad* es la capacidad natural del miocardio para contraerse. La contractilidad está influida por la precarga. A mayor volumen de aire en el globo, mayor será el estiramiento, y el globo viajará más lejos cuando lo sueltes.



### **El nudo en el globo**

La *poscarga* es la presión que deben ejercer los ventrículos para superar la presión en la aorta para que la sangre salga del corazón. Imagina que este proceso es el nudo al extremo del globo que evita que el aire salga.



### **Paredes delgadas**

Las *vénulas* recolectan sangre desde los capilares; sus paredes son más delgadas que las de las arteriolas. Las *venas* cuentan con paredes más delgadas que las arterias, pero tienen mayor diámetro debido a que la presión de la sangre que regresa a la sangre es menor.

### **El largo camino a casa**

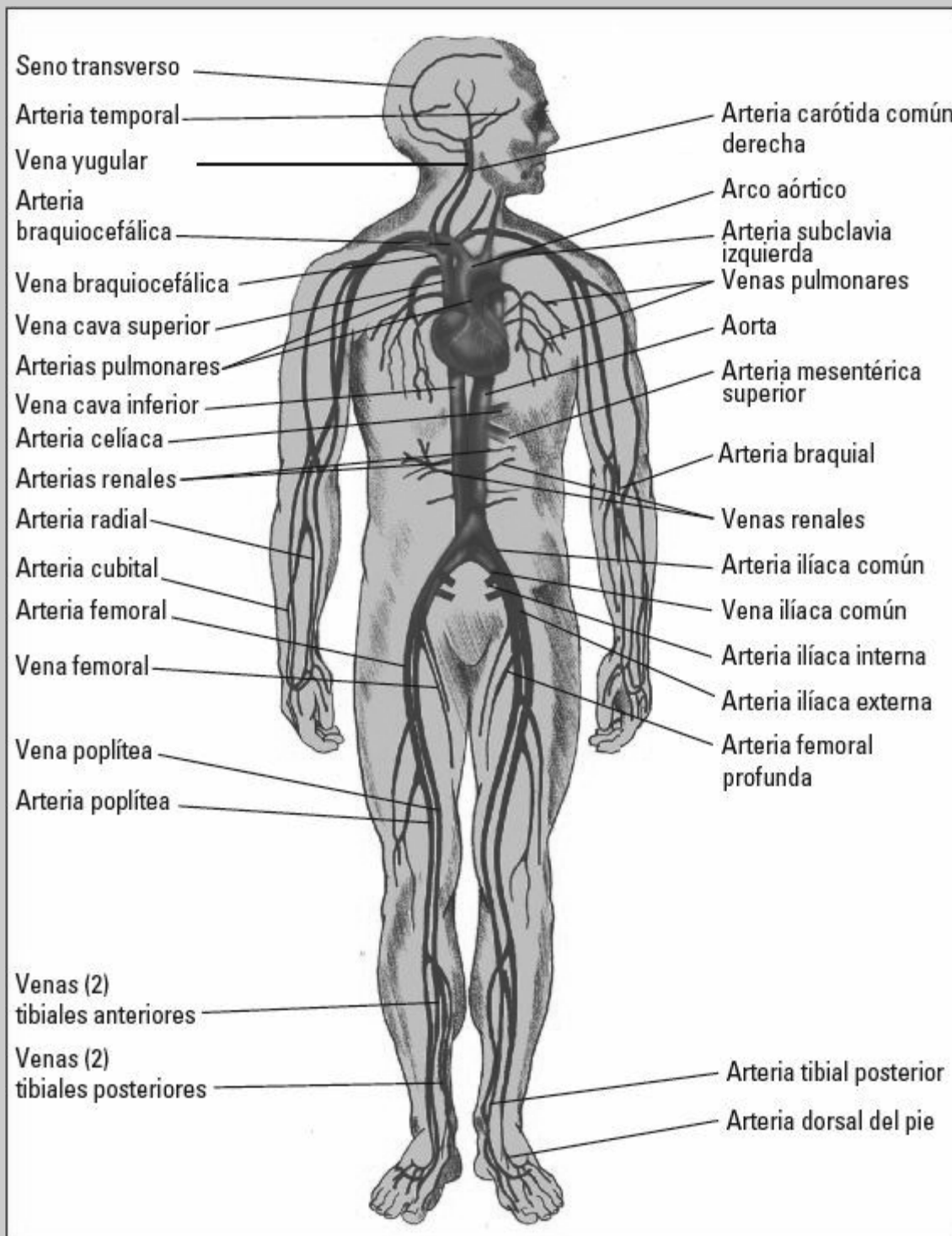
Existen cerca de 95 000 kilómetros de arterias, arteriolas, capilares, vénulas y venas que mantienen la sangre circulando por el cuerpo (véase *Principales vasos sanguíneos*, p. 134).



## La máquina perfecta

### Principales vasos sanguíneos

La ilustración muestra las principales arterias y venas del cuerpo.





---

## Circulación

Hay tres métodos mediante los cuales la sangre circula a través del cuerpo: *pulmonar*, *sistémica* y *coronaria*.

### Circulación pulmonar

La sangre transcurre hacia los pulmones para recoger oxígeno y liberar dióxido de carbono.





## Intercambio

Cuando la sangre pasa del corazón a los pulmones, y de regreso, sigue este camino:

- La sangre desoxigenada pasa del ventrículo derecho, a través de la válvula pulmonar, a las *arterias pulmonares*.
- La sangre llega a los capilares de los pulmones mediante arterias y arteriolas cada vez más pequeñas.
- La sangre llega a los alvéolos e intercambia dióxido de carbono por oxígeno.
- La sangre oxigenada regresa por las vénulas y venas a las *venas pulmonares*, las cuales la dirigen de regreso al corazón, al atrio izquierdo.

## Circulación sistémica

La sangre que fue bombeada desde el ventrículo izquierdo lleva consigo oxígeno y otros nutrientes, que son conducidos a la célula mientras también se transporta el material de desecho para excretarse.

### Muchas ramas

La arteria principal, la *aorta*, se divide en muchos vasos que dirigen la sangre a los órganos y áreas específicas del cuerpo. En cuanto se arquea sobre el corazón y desciende al abdomen, emite tres arterias desde la parte superior de este arco, y así

lleva sangre a la porción superior del cuerpo. Las ramas son:

- Arteria carótida común izquierda
- Arteria subclavia izquierda
- Arteria braquiocefálica, que se divide en arteria carótida común derecha y subclavia derecha

Conforme la aorta desciende por el tórax y el abdomen, se divide para llevar sangre a órganos del tubo digestivo, aparato urinario, columna vertebral, parte baja del tórax y músculos abdominales. Posteriormente, la aorta se divide en *arterias ilíacas*, que a su vez se dividen en *arterias femorales*.

División = adición = perfusión

A medida que las arterias se dividen en unidades cada vez más pequeñas, el número de vasos incrementa en gran medida. Como resultado, aumenta el área de tejido por el que fluye la sangre, el *área de perfusión*.

La dilatación es la otra cara de la moneda

Al final de las arteriolas y el inicio de los capilares, un conjunto de *esfínteres* potentes controlan el flujo hacia los tejidos. Estos esfínteres se dilatan para permitir que el flujo aumente cuando sea necesario, se cierran para disminuir el flujo en otras partes del cuerpo o se contraen para aumentar la presión sanguínea.

Mayor área, menor presión

Aunque el *lecho capilar* contiene los vasos de menor calibre, provee sangre a la mayor cantidad de células. La presión capilar es extremadamente baja, lo que permite el intercambio de nutrientes, oxígeno y dióxido de carbono entre la sangre y las células. A partir de aquí, la sangre fluye hacia las vénulas y, después, a las venas.

Sin reflujo

Las válvulas en las venas evitan el reflujo de sangre. La sangre que se estanca en cada segmento con válvulas es propulsada hacia el corazón por el volumen sanguíneo que se encuentra debajo. Las venas convergen de manera paulatina hasta formar dos ramas principales, la vena cava inferior y la vena cava superior. Estas dos venas llevan la sangre al atrio derecho.

## Circulación coronaria

El corazón depende de las arterias coronarias y sus ramas para recibir sangre oxigenada; asimismo, depende de las venas cardíacas para eliminar la sangre sin oxígeno (véase *Vasos que nutren el corazón*).

El corazón recibe su rebanada del pastel

Durante la sístole, la sangre entra en la aorta desde el ventrículo izquierdo. En la diástole, la sangre sale del corazón, y después fluye hacia las arterias coronarias para

nutrir al músculo cardíaco.



Desde la derecha

La *arteria coronaria derecha* lleva sangre al atrio derecho, porciones del atrio izquierdo, la mayor parte del ventrículo derecho y la parte inferior del ventrículo izquierdo. También provee sangre tanto al nodo SA como al nodo AV.

Hasta la izquierda

La *arteria coronaria izquierda* se divide en *arteria descendente anterior izquierda* y *arteria circunfleja*. Lleva sangre al atrio izquierdo y a la mayor parte del ventrículo izquierdo y del tabique interventricular.

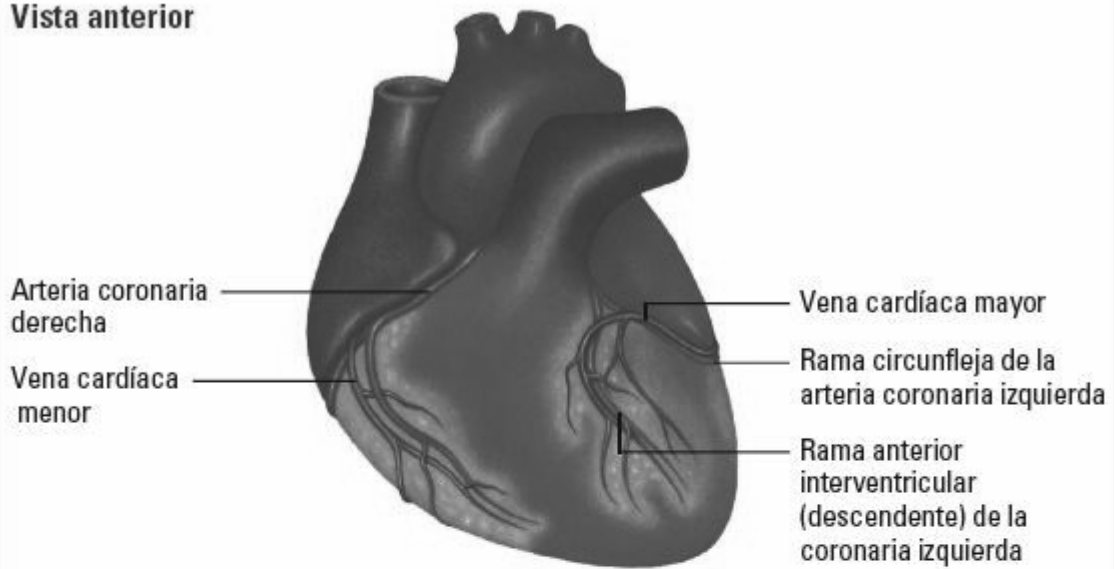


## Zoom

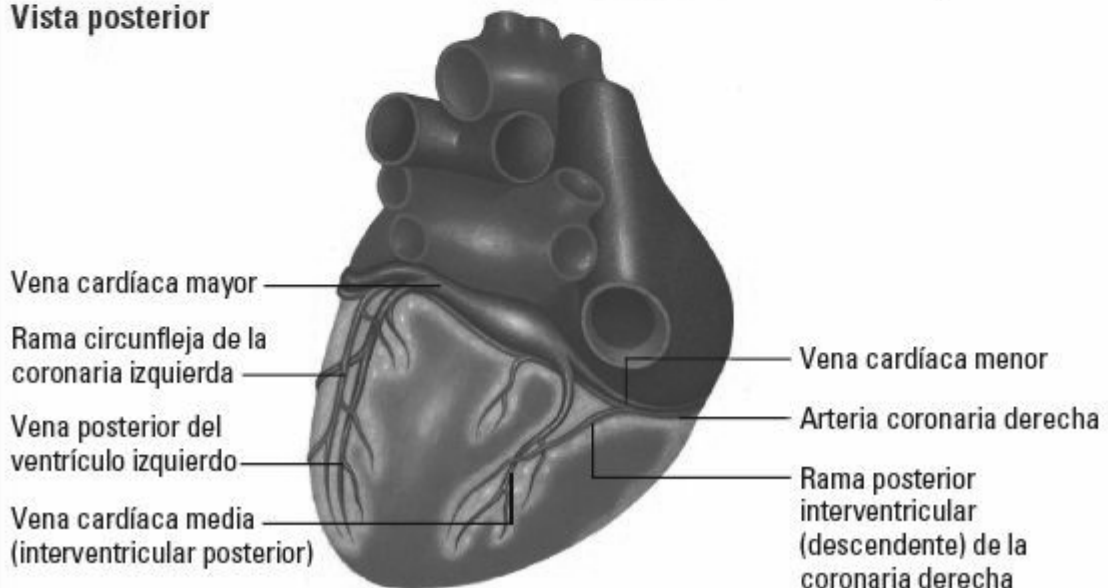
### Vasos que nutren el corazón

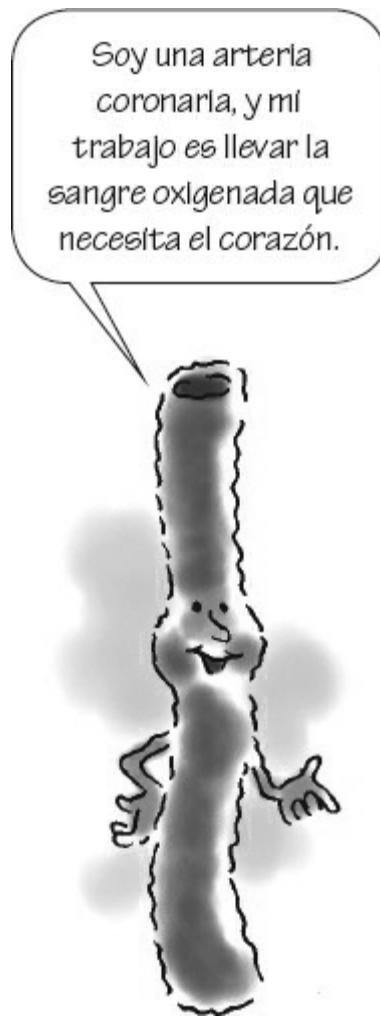
En la circulación coronaria participa el sistema arterial de vasos sanguíneos que proveen sangre oxigenada al corazón, así como el sistema venoso que retira la sangre con poco oxígeno de este órgano.

### Vista anterior



### Vista posterior





### Sobre la superficie

Las *venas cardíacas* son superficiales a las arterias. La vena más grande, el *seno coronario*, desemboca en el atrio derecho. La mayoría de las principales venas cardíacas drenan en el seno coronario, excepto las *venas cardíacas anteriores*, que llevan su contenido al atrio derecho.



## La tercera edad

### Cambios cardiovasculares relacionados con la edad

Debido a la pérdida de células cardíacas con la edad, el sistema de conducción del corazón puede no ser tan eficiente como lo era, ello produce una disminución de la frecuencia cardíaca.

Las arterias se vuelven rígidas, de manera que la presión sanguínea aumenta.

La pared del ventrículo izquierdo puede engrosarse como consecuencia del gran esfuerzo realizado para bombear sangre.

Las valvas cardíacas se engrosan por fibrosis y esclerosis, que producen estrechamiento y evitan que las válvulas se cierren por completo.

Existen barorreceptores que ayudan a regular el flujo y la presión sanguínea mediante movimiento. Esta función se deteriora con la edad, y ocasiona frecuencia cardíaca lenta, mareos y síncope.



## Preguntas de autoevaluación

1. Durante la sístole, se contraen los ventrículos. La contracción causa:
  - A. El cierre de las cuatro válvulas
  - B. Las válvulas AV se cierran, mientras que las semilunares se abren
  - C. Las válvulas AV se abren, mientras que las semilunares se cierran
  - D. La apertura de las cuatro válvulas

**Respuesta:** B. Durante la sístole, la presión en los ventrículos es mayor que en los atrios. Las válvulas atrioventriculares (tricúspide y mitral) se cierran. La presión en los ventrículos también es mayor que la presión en la aorta y la arteria pulmonar, por lo que las válvulas semilunares (pulmonar y aórtica) se abren.

2. El marcapasos del corazón es:
  - A. El nodo sinoatrial (SA)
  - B. El nodo atrioventricular (AV)
  - C. Los ventrículos
  - D. El ramo subendocárdico del fascículo AV (fibras de Purkinje)

**Respuesta:** A. El nodo sinoatrial (SA) es el marcapasos natural del corazón, genera impulsos de 60-100 veces por minuto. El nodo atrioventricular es el marcapasos secundario del corazón (genera impulsos de 40-60 veces por minuto). Los ventrículos son la última línea de defensa (generan de 20-40 latidos por minuto).

3. Presión que ejerce el ventrículo para sobrepasar la presión en la aorta:
  - A. Contractilidad
  - B. Precarga
  - C. Presión sanguínea
  - D. Poscarga

**Respuesta:** D. La poscarga es la presión que el músculo ventricular debe ejercer para superar la mayor presión en la aorta, y así expulsar sangre.

4. Los vasos que llevan sangre oxigenada hacia el corazón y el atrio izquierdo son:
  - A. Capilares
  - B. Venas pulmonares
  - C. Arterias pulmonares
  - D. Vena cava inferior y superior

**Respuesta:** B. La sangre oxigenada regresa a las venas pulmonares a través de las vénulas y venas. Las venas pulmonares llevan la sangre de vuelta al atrio izquierdo.

5. La capa del corazón responsable de la contracción es:
  - A. Miocardio
  - B. Pericardio
  - C. Endocardio
  - D. Epicardio

**Respuesta:** A. El miocardio tiene fibras de músculo estriado que hacen que se contraiga el corazón.



### ¡Diviértete!

El volumen sistólico depende de tres factores principales. Descifra las palabras en las casillas de la izquierda para revelar los nombres de estos tres factores. Después, dibuja una línea desde cada casilla hasta las descripciones de la derecha para emparejar cada término.

- A. El globo está inflado.

- B. Se debe generar presión por los ventrículos para superar la presión aórtica.
- C. Es como inflar un globo.
- D. Es el nudo del globo.
- E. Capacidad natural del miocardio para contraerse.
- F. Estiramiento de las fibras musculares del ventrículo.

PACRAGRE

-----

ACRLICDTIANTDO

-----

RACSOGAP

-----

Respuesta: PRECARGA: C, F; CONTRACTILIDAD: A, E; POSCARGA: B, D

---

## Puntuación

- ☆☆☆ Si contestaste cinco preguntas de manera correcta, ¡maravilloso! Ya tienes el sistema cardiovascular en el corazón.
- ☆☆ Si respondiste cuatro preguntas de manera acertada, ¡genial! No te vamos a criticar si la sangre se te sube al cerebro.
- ☆ Si contestaste menos de cuatro preguntas de manera correcta, no dejes que te duela el corazón. Circula al siguiente capítulo.

---

## Bibliografía

- Cedars-Sinai. (2016). *Anatomy of the aorta and heart*. Tomado de: <http://cedars-sinai.edu/Patients/Programs-and-Services/Heart-Institute/Centers-and-Programs/Aortic-Program/Anatomy-of-the-Aorta-and-Heart.aspx>
- The Franklin Institute. (2016). *Blood vessels*. Tomado de: <https://www.fi.edu/heart/blood-vessels>
- The John Hopkins Health System. (n.d.). *Anatomy and function of the coronary arteries*. Tomado de: [http://www.hopkinsmedicine.org/healthlibrary/conditions/cardiovascular\\_diseases/anatomy\\_and\\_function](http://www.hopkinsmedicine.org/healthlibrary/conditions/cardiovascular_diseases/anatomy_and_function)

Lic. Gavino

207

- COMPARTIR NO TIENE LÍMITES -

- Mahadevan, V. (2015). Anatomy of the heart. *Surgery*, 33(2), 47–51. doi: 10.1016/j.mpsur.2014.12.001.
- McCance, K., & Huether, S. (2010). *Pathophysiology: The biologic basis for disease in adults and children* (6th ed.). Maryland Heights, MO: Mosby.
- National Heart, Lung, and Blood Institute. (2011). *What is the heart?* Tomado de: <https://www.nhlbi.nih.gov/health/health-topics/topics/hhw>
- National Institute on Aging. (n.d.). *Blood vessels and aging: The rest of the journey*. Tomado de: <https://www.nia.nih.gov/health/publication/aging-hearts-and-arteries/chapter-4-blood-vessels-and-aging-rest-journey>
- Texas Heart Institute. (2015). *Heart anatomy*. Tomado de: <http://www.texasheart.org/HIC/Anatomy/anatomy2.cfm>
- U.S. National Library of Medicine. (2016). *Aging changes in the heart and blood vessels*. Tomado de: <https://www.nlm.nih.gov/medlineplus/ency/article/004006.htm>
- Vincent, J.-L. (2008). Understanding cardiac output. *Critical Care*, 12(4), 174. doi: 10.1186/cc6975.
- Whitaker, R. H. (2014). Anatomy of the heart. *Medicine*, 42(8), 406–408. doi: 10.1016/j.mpmed.2014.05.007.



# Capítulo 9

## Sistema hemático

### Objetivos



En este capítulo aprenderás:

- ◆ La forma en la que se desarrollan las células sanguíneas
- ◆ Las funciones de los componentes de la sangre
- ◆ La forma en la que las células llevan a cabo la coagulación
- ◆ Los grupos sanguíneos y su importancia

### Una mirada al sistema hemático

El sistema hemático está compuesto por la sangre y la médula ósea. La sangre lleva el oxígeno y los nutrientes a todos los tejidos, elimina desechos y transporta gases, células sanguíneas, células del sistema inmunitario y hormonas.

### Células con mucho potencial

El sistema hemático desarrolla nuevas células sanguíneas mediante un proceso que se denomina *hematopoyesis*. Las *células madre multipotentes* en la médula ósea dan lugar a cinco tipos de células específicas conocidas como *células madre unipotentes*. Las células unipotentes se catalogan en uno de los siguientes cuatro tipos:

- Eritrocito (el tipo más frecuente)
- Granulocito
- Agranulocito
- Plaqueta

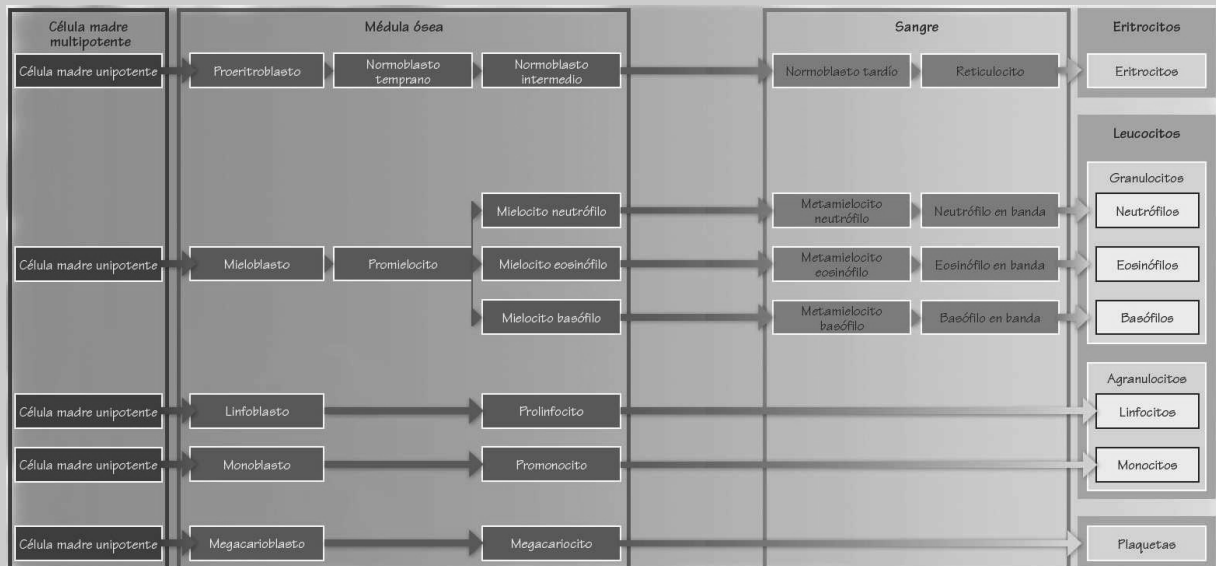
(Véase *El nacimiento de las células sanguíneas*, p. 142-143).

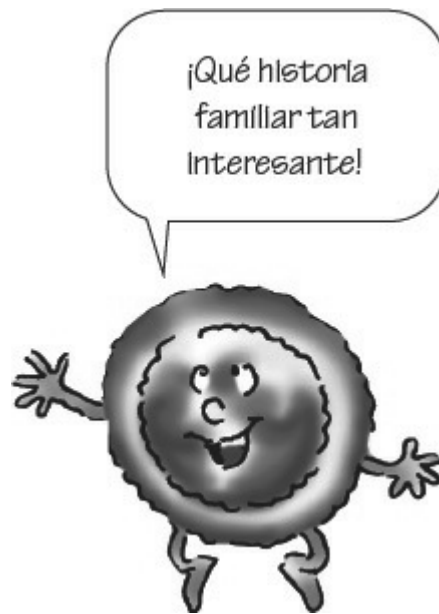


¡Eureka!

## El nacimiento de las células sanguíneas

Las células sanguíneas se crean y desarrollan en la médula ósea en un proceso llamado *hematopoyesis*. Este diagrama muestra el proceso, desde el momento en que se crean las cinco células madre unipotentes hasta que alcanzan sus formas “adultas” como células completamente desarrolladas: eritrocitos, granulocitos, agranulocitos o plaquetas.





## Componentes de la sangre

La sangre consta de diversos elementos, las *células sanguíneas*, suspendidas en un líquido denominado *plasma*. El plasma sanguíneo constituye el 55% del volumen de la sangre. La mayor parte del plasma es agua, pero también contiene proteínas vitales (albúmina, globulinas y fibrinógeno). La albúmina es la proteína que transporta sustancias en la sangre y ayuda a mantener su volumen. Las globulinas también ayudan al transporte de sustancias y cooperan con el sistema inmunitario. El fibrinógeno se convierte en fibrina durante la coagulación.

### Eritrocitos, leucocitos y plaquetas

Los elementos sólidos de la sangre son:

- Eritrocitos (glóbulos rojos)
- Leucocitos (glóbulos blancos)
- Plaquetas (trombocitos)

Los eritrocitos y plaquetas actúan dentro de los vasos, mientras que los leucocitos actúan de manera primordial en los tejidos, fuera de los vasos.



---

## Eritrocitos

Los eritrocitos son las células más abundantes de la sangre; transportan oxígeno y dióxido de carbono desde y hacia los tejidos. Contienen *hemoglobina*, la sustancia que da el color rojo característico de la sangre.

### La edad dorada de los eritrocitos

Los eritrocitos viven en promedio 120 días. La médula ósea libera eritrocitos a la circulación como formas inmaduras llamadas *reticulocitos*. Los reticulocitos maduran en eritrocitos en alrededor de un día. El bazo secuestra, o aísla, los eritrocitos viejos y desgastados para eliminarlos de la circulación.

### Lo nuevo y lo viejo en equilibrio

La velocidad a la que se liberan los reticulocitos a la sangre es la misma que la velocidad a la que se eliminan los eritrocitos viejos. Cuando los eritrocitos se han agotado, como en una hemorragia, la médula ósea aumenta la producción de reticulocitos, y así mantiene el recuento normal de eritrocitos (véase *Cambios en el sistema hemático relacionados con la edad*).

---

# Leucocitos

En el sistema inmunitario participan cinco tipos de leucocitos para la defensa del cuerpo. Estos cinco tipos celulares se clasifican como granulocitos (neutrófilos, eosinófilos y basófilos) y agranulocitos (monocitos y linfocitos).

## Granulocitos

Los granulocitos incluyen a los neutrófilos, eosinófilos y basófilos, que en conjunto se conocen como *linfocitos polimorfonucleares*. Todos los granulocitos tienen un solo núcleo *multilobulado* y *gránulos* en el cito-plasma. Cada célula muestra diferentes propiedades y es activada por estímulos diferentes.



## La tercera edad

### Cambios en el sistema hemático relacionados con la edad

A medida que una persona envejece, la médula ósea grasa reemplaza la médula ósea activa, capaz de crear componentes de la sangre. El proceso se produce primero en los huesos largos y después en los huesos planos. La médula ósea grasa no es capaz de incrementar la producción de eritrocitos en respuesta a estímulos, como hormonas, anoxia, hemorragia o hemólisis, de manera tan eficaz. La absorción de vitamina B<sub>12</sub> también se reduce con la edad. La consecuencia es que la masa de los eritrocitos disminuye, así como las concentraciones de hemoglobina y el hematócrito.



## Cómete a tus enemigos

Los neutrófilos, el tipo de granulocito más abundante, constituyen del 55-65% de los leucocitos que circulan en la sangre. Estas células fagocíticas engullen, ingieren y digieren cuerpos extraños, como bacterias y hongos. Abandonan el torrente sanguíneo al pasar a través de las paredes de los capilares hacia los tejidos (*diapédesis*), para después migrar y acumularse en los sitios de infección. Los neutrófilos son las primeras células que llegan al sitio de una herida.

## La mejor banda

Los neutrófilos desgastados son el principal componente del pus. La médula ósea reemplaza a estos neutrófilos con células inmaduras denominadas *en banda*. Como respuesta a la infección, la médula ósea tiene que producir muchas células inmaduras y liberarlas a la circulación para aumentar la cantidad de células en banda.



### Para recordar

Para ayudarte a recordar qué hacen los **neutrófilos**, recuerda otras dos palabras con **n**: **n**eutralizar y **n**umerosos.

## Aliados en contra de las alergias

Los *eosinófilos* constituyen del 0.5-0.7% de los leucocitos que circulan en la sangre. Este tipo de granulocito también sale del torrente sanguíneo mediante diapédesis, pero lo hace en respuesta a reacciones alérgicas. Los eosinófilos se acumulan en el tejido conectivo laxo, donde participan en la ingestión de complejos antígeno-anticuerpo. Además, atacan y matan parásitos.

## El agua combate las llamas

Los *basófilos* componen apenas el 2% de los leucocitos en la sangre y tienen una capacidad fagocítica muy limitada o nula. Sus gránulos en el cito-plasma liberan *histamina* como respuesta a ciertos estímulos inmunitarios. La histamina hace que los vasos sanguíneos sean más permeables. Como resultado, los líquidos pasan más fácil desde los capilares hacia los tejidos.

### Agranulocitos

Los leucocitos de la categoría de los agranulocitos –*monocitos* y *linfocitos*– no tienen gránulos específicos en el citoplasma y sus núcleos no tienen lóbulos (véase *Comparación entre granulocitos y agranulocitos*).

## Pocos pero grandes

Los *monocitos*, los leucocitos más grandes, componen sólo del 1-9% de los leucocitos

en la circulación. Al igual que los neutrófilos, los monocitos son fagocitos y acceden a los tejidos mediante diapédesis. Fuera de la circulación, los monocitos crecen y maduran para convertirse en *macrófagos* residentes en el tejido conectivo, también denominados *histiocitos*.

## Protección frente a la infección

Como macrófagos, los monocitos pueden circular libremente por todo el cuerpo cuando son estimulados por la inflamación. De manera habitual, permanecen inmóviles dentro de la mayoría de los tejidos y órganos. En conjunto, sirven como componentes del sistema reticuloendotelial, el cual defiende al cuerpo frente a las infecciones y elimina los productos de la degradación celular.

## En busca de agua

Los macrófagos se concentran en estructuras que filtran grandes cantidades de líquidos corporales, como hígado, bazo y nódulos linfáticos. Ahí, defienden al cuerpo contra organismos invasores. Los macrófagos son *fagocitos* eficientes, células que ingieren microorganismos, restos de células (como neutrófilos desgastados) y tejido necrosado. Cuando se movilizan hacia un sitio de infección, fagocitan los restos celulares y promueven la cicatrización de la herida.

## Los más pequeños

Los linfocitos son los leucocitos más pequeños. Ocupan el segundo lugar en abundancia (20-43% de los leucocitos). Se derivan de células madre en la médula ósea. Existen tres tipos de linfocitos:

- *Linfocitos T*: atacan de manera directa a una célula infectada. Maduran en el *timo*.
- *Linfocitos B*: producen anticuerpos frente a antígenos específicos. Maduran en la médula ósea.
- *Linfocitos citolíticos naturales* (NK, de *natural killer*): proveen vigilancia inmunitaria y resistencia frente a la infección.



¡Eureka!

### Comparación entre granulocitos y agranulocitos

Los leucocitos son como soldados que luchan contra el enemigo. Cada tipo de leucocito combate con un enemigo diferente.

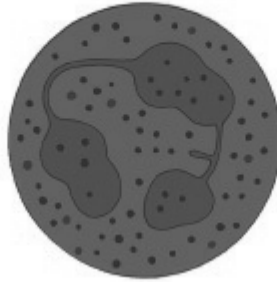
#### Al frente de la batalla

Los granulocitos, en pelotones de basófilos, neutrófilos y eosinófilos, son los primeros en organizarse en contra de los invasores.

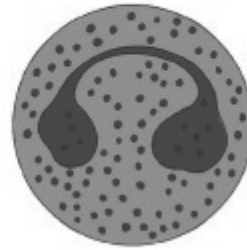
Los basófilos secretan histamina, un antiinflamatorio y estímulo inmunitario.



Los neutrófilos comen cuerpos extraños.



Los eosinófilos comen antígenos y anticuerpos.



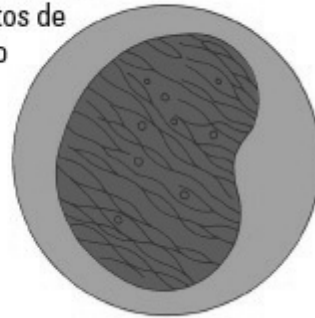
### En las trincheras

Los agranulocitos, en pelotones de linfocitos y monocitos, se encuentran patrullando por todo el cuerpo en cuanto llega la noticia de una inflamación. Se concentran en estructuras que filtran grandes cantidades de líquidos, como el hígado, y defienden frente a los invasores.

Los linfocitos se comen al enemigo o producen anticuerpos.



Los monocitos comen bacterias, restos de células y tejido necrosado.

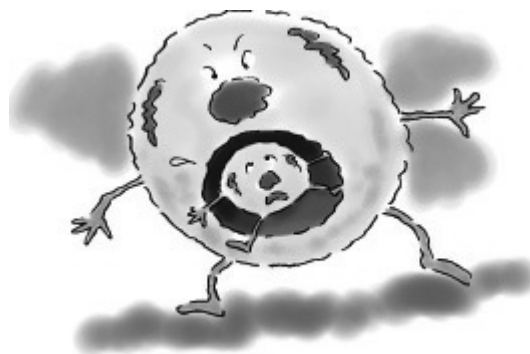


## Plaquetas

Las plaquetas son incoloras y pequeñas. Se trata de restos de citoplasma en forma de disco que se separaron de células en la médula ósea denominadas *megacariocitos*.

Estos fragmentos, que viven cerca de 10 días, tienen tres funciones principales:

- Iniciar la contracción de vasos sanguíneos dañados para minimizar la pérdida de sangre
- Formar tapones hemostáticos en los vasos sanguíneos dañados
- Proveer (en conjunto con el plasma) materiales que aceleren la coagulación





# Coagulación

La *hemostasia* es el complejo proceso por el cual las *plaquetas*, el *plasma* y los *factores de coagulación* interactúan para controlar el sangrado.

Cuando las células estamos dañadas, liberamos tromboplastina hística, que activa la porción extrínseca de la coagulación.



## ¡Paren todo!

Cuando se rompe un vaso sanguíneo, se lleva a cabo la *vasoconstricción* local (disminución de su calibre) y la *agregación* (aglutinación) *plaquetaria* en el sitio de la herida para prevenir la hemorragia. Las células dañadas liberan *tromboplastina* (factor tisular), la cual activa la vía extrínseca de la coagulación.

## Una solución a largo plazo

A pesar de este proceso, es necesario que se forme un coágulo más estable, por lo que se inicia una serie de mecanismos conocidos como la *vía intrínseca*. Este sistema de coagulación se activa mediante una proteína, llamada *factor XII*, una de 12 sustancias que son necesarias para la coagulación, y que se derivan del plasma y el tejido.

## Trabajemos juntos

El resultado final de la coagulación es un coágulo de fibrina, la acumulación de una proteína fibrosa e insoluble en el sitio de la herida (véase *Cómo se forman los coágulos*).

---

# Factores de coagulación

Los materiales que aportan las plaquetas y el plasma trabajan de manera conjunta con los *factores de coagulación* para funcionar como *compuestos precursores* durante la formación de un coágulo.

## Los 12 jugadores

Los *factores de coagulación*, denominados mediante nombre y número romano, se activan en una reacción en cadena en la que cada uno activa el siguiente:

- Factor I (*fibrinógeno*): es una proteína de gran peso molecular sintetizada en el hígado y convertida en fibrina durante la cascada de la coagulación.
- Factor II (*protrombina*): también es una proteína que se sintetiza en el hígado, en presencia de vitamina K, y es convertida a trombina durante la coagulación.



¡Eureka!

### Cómo se forman los coágulos

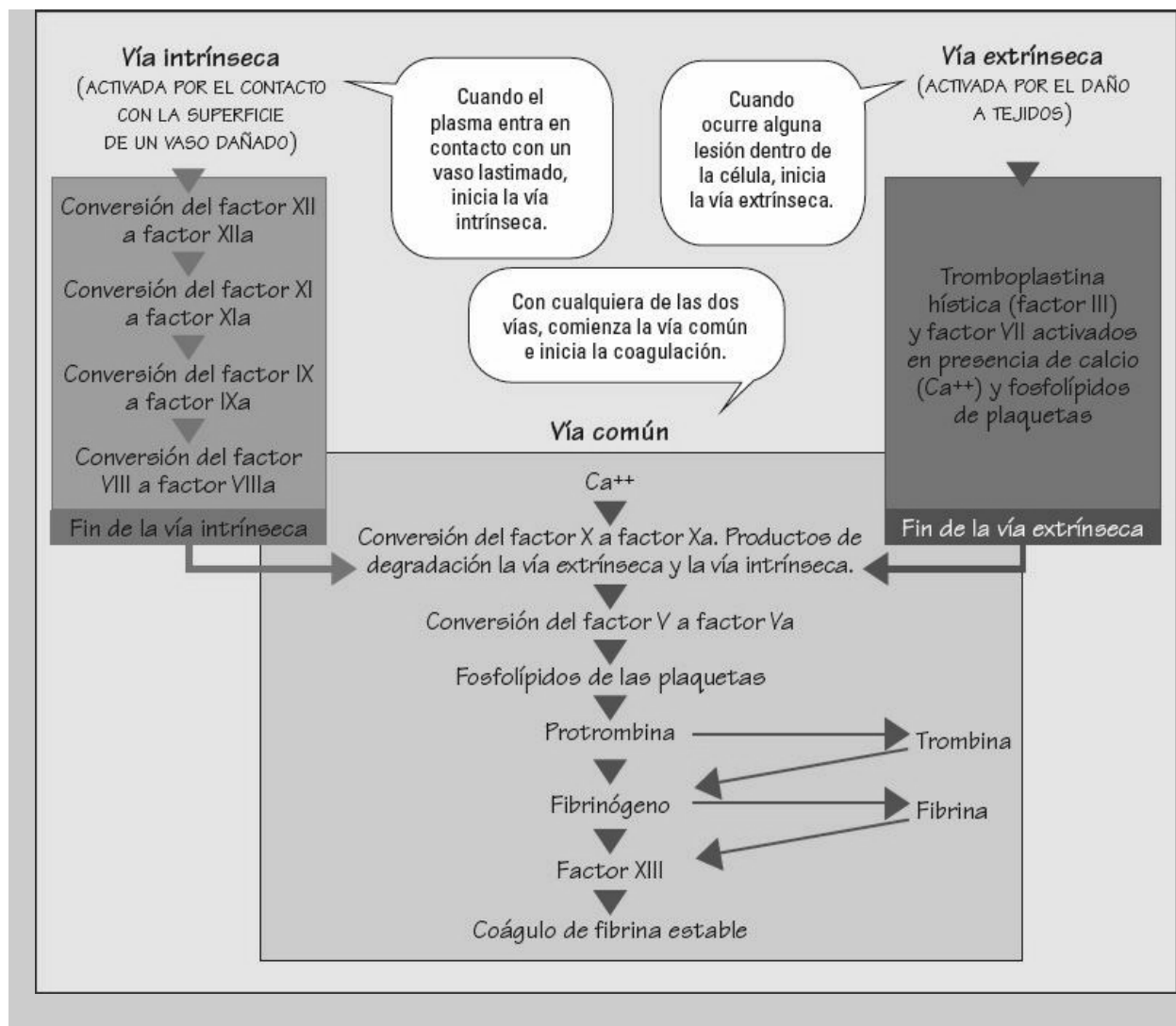
Cuando un vaso sanguíneo es lesionado, comienzan tres procesos que están relacionados.

#### Constricción y agregación

Tan pronto como ocurre la lesión, los vasos afectados se contraen para reducir el flujo sanguíneo. Además, las plaquetas que han sido estimuladas por el colágeno expuesto en las células dañadas comienzan a unirse entre sí (*agregación*). La agregación sirve para crear un tapón provisional y como sitio donde iniciará la coagulación. Las plaquetas liberan varias sustancias que favorecen la constricción y agregación.

#### Vías de la coagulación

La *coagulación*, la formación de un coágulo desde sangre líquida hasta sólida, puede iniciarse mediante dos vías diferentes: la vía intrínseca y la vía extrínseca. La vía intrínseca se activa cuando el plasma entra en contacto con las superficies de los vasos dañados. La vía extrínseca se activa cuando la tromboplastina hística (una sustancia liberada por células endoteliales dañadas) entra en contacto con alguno de los factores de la coagulación.



- Factor III (*tromboplastina hística*): se libera del tejido dañado y es necesario para iniciar la segunda fase, la vía extrínseca.
- Factor IV (*calcio*): se requiere durante toda la coagulación.
- Factor V (*proacelerina*): es una proteína que se sintetiza en el hígado, cuya función tiene lugar durante la vía común de la coagulación.
- Factor VII (*acelerador de la conversión de protrombina sérica*): es una proteína que se sintetiza en el hígado en presencia de vitamina K. Es activado por la tromboplastina hística en la vía extrínseca.
- Factor VIII (*globulina antihemofílica*): es una proteína que se sintetiza en el hígado, utilizada durante la vía intrínseca de la coagulación.
- Factor IX (*componente de la tromboplastina del plasma*): proteína que se sintetiza en el hígado en presencia de vitamina K. Es necesaria durante la fase intrínseca de la coagulación.
- Factor X (*factor de Stuart-Prower*): proteína que se sintetiza en el hígado en presencia de vitamina K. Es necesaria durante la vía común de la coagulación.
- Factor XI (*antecedente de la tromboplastina en plasma*): es una proteína necesaria en la vía intrínseca y que se sintetiza en el hígado.
- Factor XII (*factor de Hageman*): se trata de proteína que participa en la vía intrínseca.

- Factor XIII (*factor estabilizador de la fibrina*): proteína necesaria para estabilizar las fibras de fibrina en la vía común de la coagulación.

## Grupos sanguíneos

Los grupos sanguíneos se determinan mediante la presencia o ausencia de determinados antígenos, o *aglutinógenos* (glucoproteínas), en la superficie de los eritrocitos. Los antígenos en sangre de mayor importancia clínica son A, B y Rh.

### Grupos ABO

El sistema más importante para clasificar la sangre es la detección de antígenos A y B en los eritrocitos:

- Sangre de tipo A: tiene antígeno A en su superficie.
- Sangre de tipo B: cuenta con antígeno B en su superficie.
- Sangre de tipo AB: tiene antígenos A y B en su superficie.
- Sangre de tipo O: no cuenta con ninguno de los dos antígenos en su superficie.

### Los opuestos no se atraen

El plasma puede contener anticuerpos que interactúan con estos antígenos, lo cual causa que las células se *aglutinen* o formen un conglomerado. Sin embargo, el plasma no puede contener anticuerpos para su propio antígeno celular. De lo contrario, se destruiría a sí mismo. Por lo tanto, la sangre de tipo A tiene antígeno A, pero no anticuerpos A y sí anticuerpos B.



#### Para recordar

Los grupos sanguíneos son fáciles de recordar, pues se nombran con base en los antígenos que contienen (**A o B**, o **A y B**), excepto por el tipo **O**, que no contiene ninguno. La O sirve como recordatorio de esa ausencia de antígenos.

### La pareja perfecta

Realizar pruebas cruzadas (emparejamiento y pruebas de aglutinación en la sangre de donantes) y la identificación correcta de grupos sanguíneos es esencial, en especial para las transfusiones sanguíneas. La sangre de un donante debe ser compatible con la del receptor. De lo contrario, las consecuencias podrían ser letales. Son compatibles los siguientes grupos sanguíneos:

- Tipo A con tipo A y O

- Tipo B con tipo B y O
- Tipo AB con tipo A, B, AB y O
- Tipo O con tipo O

(Véase *Compatibilidad de los grupos sanguíneos*, p. 152).

---

## Tipificación del grupo Rh

La tipificación del grupo Rh determina si el factor Rh está presente o ausente en la sangre. De los ocho tipos de antígenos Rh existentes, sólo los tipos C, D y E son frecuentes.

### Tipos negativos y positivos

De manera habitual, la sangre contiene el antígeno Rh. La sangre con el antígeno Rh es *Rh positiva*, mientras que aquella que no tiene el antígeno es *Rh negativa*. Los anticuerpos anti-Rh sólo pueden encontrarse en una persona que se ha sensibilizado. Cuando los eritrocitos Rh positivos entran en el torrente sanguíneo de una persona Rh negativa, como en una transfusión con sangre Rh positiva, pueden aparecer anticuerpos anti-Rh. Una mujer Rh negativa que porte un feto Rh positivo también puede desarrollar anticuerpos anti-Rh.



**¡Eureka!**

### Compatibilidad de los grupos sanguíneos

La tipificación y las pruebas cruzadas pueden prevenir la transfusión de sangre incompatible, pues podría tener consecuencias graves. De manera habitual, la tipificación de la sangre del receptor, así como las pruebas cruzadas con la sangre de un probable donante, se realiza en menos de una hora.

#### Cada quien con su pareja

El *aglutinógeno* (un antígeno de los eritrocitos) y una *aglutinina* (un anticuerpo en el plasma) diferencian los cuatro grupos ABO. Esta tabla muestra la compatibilidad ABO desde la perspectiva del receptor y el donante.

| Grupo sanguíneo | Anticuerpos en el plasma | Eritrocitos compatibles | Plasma compatible |
|-----------------|--------------------------|-------------------------|-------------------|
| <b>RECEPTOR</b> |                          |                         |                   |
| O               | Anti-A y anti-B          | O                       | O, A, B, AB       |
| A               | Anti-B                   | A, O                    | A, AB             |
| B               | Anti-A                   | B, O                    | B, AB             |
| AB              | Sin anti-A ni anti-B     | AB, A, B, O             | AB                |
| <b>DONANTE</b>  |                          |                         |                   |
| O               | Anti-A y anti-B          | O, A, B, AB             | O                 |
| A               | Anti-B                   | A, AB                   | A, O              |
| B               | Anti-A                   | B, AB                   | B, O              |
| AB              | Sin anti-A ni anti-B     | AB                      | AB, A, B, O       |





# Preguntas de autoevaluación

1. Componentes de la sangre que inician la defensa y respuesta inmunitaria:

- A. Leucocitos
- B. Plaquetas
- C. Eritrocitos
- D. Hemoglobina

**Respuesta:** A. Gracias a sus capacidades fagocíticas, los leucocitos funcionan como la primera línea de protección en la defensa celular frente a microorganismos externos.

2. El complejo proceso por el cual interactúan las plaquetas, el plasma y los factores de coagulación para controlar el sangrado se conoce como:

- A. Fagocitosis
- B. Hematopoyesis
- C. Hemostasia
- D. Diapédesis

**Respuesta:** C. La hemostasia se logra mediante un proceso de tres pasos: vasoconstricción, agregación plaquetaria y coagulación.

3. Las células sanguíneas se crean y desarrollan dentro de:

- A. Una plaqueta
- B. El hígado
- C. El páncreas
- D. La médula ósea

**Respuesta:** D. Las células madre multipotentes en la médula ósea dan lugar a cinco tipos de células específicas que se conocen como *células madre unipotentes*. Cada una de estas células madre se puede diferenciar en un eritrocito, un granulocito, un agranulocito o una plaqueta.

4. Los granulocitos más abundantes son:

- A. Células en banda
- B. Neutrófilos
- C. Eosinófilos
- D. Basófilos

**Respuesta:** B. Los neutrófilos, el tipo de granulocito más abundante, constituyen del 55-65% de los leucocitos que circulan en la sangre.

5. Los grupos sanguíneos son determinados mediante la detección de antígenos A y B en:

- A. Eritrocitos
- B. Glóbulos blancos
- C. Leucocitos
- D. Plaquetas

**Respuesta:** A. Los grupos sanguíneos son determinados por la presencia o ausencia de antígenos (aglutinógenos) en la superficie de los eritrocitos.

---

## Puntuación

☆☆☆ Si contestaste cinco preguntas de manera correcta, ¡maravilloso! Estás pensando hemato-lógicamente.

☆☆ Si respondiste cuatro preguntas de manera acertada, ¡genial! Coagulaste toda la información en un conjunto de sangre sólida.



Si contestaste menos de cuatro preguntas de manera correcta, mantente (A o AB) positivo. Sólo necesitas leer otra vez este capítulo e intentarlo de nuevo.



## ¡Diviértete!

Descifra las palabras en las casillas de la izquierda para revelar los nombres de estos tres tipos de granulocitos. Después, dibuja una línea desde cada casilla hasta las descripciones de la derecha.

OENSLIFTOUR

-----

LIESOOOFINS

-----

ALBSOIFSO

-----

- A. Constituyen hasta el 7% de los leucocitos en sangre.
- B. Son los granulocitos más abundantes.
- C. Constituyen menos del 3% de los leucocitos en sangre.
- D. Son el componente principal del pus.
- E. Se acumulan en el tejido conectivo laxo.
- F. Abandonan el torrente sanguíneo y migran a sitios de infección.
- G. Tienen poca, o ninguna, capacidad fagocítica.
- H. Engullen, ingieren y digieren cuerpos extraños.
- I. Migran desde el torrente sanguíneo como respuesta a una reacción alérgica.
- J. Sus gránulos en el citoplasma secretan histamina.
- K. La médula ósea produce su reemplazo.
- L. Está involucrado en la ingesta de complejos antígeno-anticuerpo.

Respuesta: NEUTRÓFILOS: B, D, F, H, K EOSINÓFILOS: A, E, I, L BASÓFILOS: C, G, J

## Bibliografía

Grossman, S. & Porth, C. M. (2014). *Porth's pathophysiology: Concepts of altered health states*. Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins.



# Capítulo 10

## Sistema inmunitario

### Objetivos



En este capítulo aprenderás:

- ◆ Órganos y tejidos que conforman el sistema inmunitario
- ◆ Funciones del sistema inmunitario
- ◆ La respuesta del cuerpo cuando falla el sistema inmunitario

### Una mirada al sistema inmunitario

El sistema inmunitario defiende el cuerpo frente a la invasión de microorganismos dañinos y toxinas.



## Todo lo linfoide

Los órganos y tejidos del sistema inmunitario se conocen con la terminación *linfoide*, ya que todos están implicados en el desarrollo, crecimiento y diseminación de linfocitos, un tipo de leucocito (véase *Órganos y tejidos del sistema inmunitario*, p. 156).

El sistema inmunitario tiene tres componentes principales:

- Tejido y órganos linfoides centrales
- Tejido y órganos linfoides periféricos
- Tejido y órganos linfoides accesorios

## Hermanos de sangre

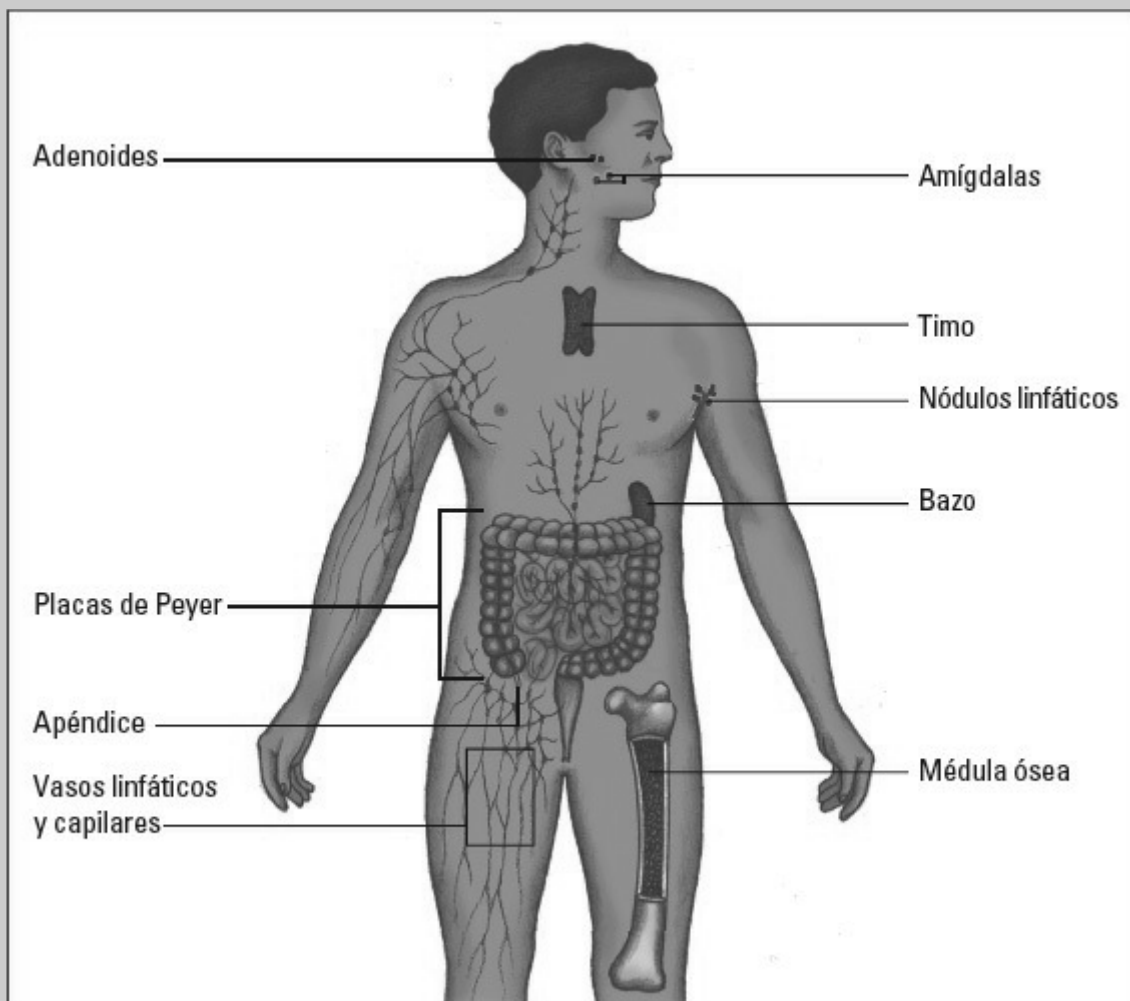
A pesar de que el sistema inmunitario y la sangre son dos entidades diferentes, están relacionados de manera importante. Sus células comparten un origen común en la médula ósea. Además, el sistema inmunitario utiliza la sangre como medio de transporte para sus “tropas” hacia el sitio de invasión.



## La máquina perfecta

### Órganos y tejidos del sistema inmunitario

El sistema inmunitario incluye órganos y tejidos en los que predominan los linfocitos, así como células que circulan en la sangre. Esta ilustración muestra los órganos y tejidos linfoides centrales, periféricos y accesorios.





---

## Tejido y órganos linfoides centrales

La médula ósea y el timo tienen un papel individual en el desarrollo de los linfocitos B y T, los dos tipos principales de *linfocitos*.

### Médula ósea

La *médula ósea* alberga células madre que se desarrollan en cualquiera de los varios tipos celulares. Estas células son *multipotentes*, lo que significa que son capaces de tomar muchas formas. Las células del sistema inmunitario y la sangre se desarrollan a partir de células madre en un proceso llamado *hematopoyesis*.

### Ser B o ser T, esa es la cuestión

Poco tiempo después de que se diferencian de otros tipos de células madre, algunas de las células que formarán parte del sistema inmunitario dan origen a los linfocitos, mientras que otras dan lugar a los *fagocitos* (células que ingieren microorganismos). Aquellos que se convierten en linfocitos se diferencian aún más para convertirse en linfocitos B (que maduran en la médula ósea) o linfocitos T (que viajan al timo para madurar ahí).



## Siempre es mejor recibir

Los linfocitos B y T están distribuidos por todos los órganos linfoides, especialmente en los nódulos linfáticos y el bazo. Los linfocitos B y T tienen receptores especiales que responden a formas específicas de las moléculas de antígenos. En los linfocitos B, el receptor es una inmunoglobulina, también conocida como *anticuerpo*. Los anticuerpos atacan a los patógenos o dirigen otras células, como los fagocitos, al ataque.

### Timo

En los fetos y lactantes, el *timo* es un tejido linfoide organizado en dos lóbulos que se ubica sobre la base del corazón, en el mediastino. El timo ayuda al desarrollo de linfocitos T por varios meses tras el nacimiento. Después de este lapso, no tiene función alguna en la inmunidad del cuerpo. Alcanza su tamaño máximo durante la pubertad, para atrofiarse poco tiempo después. En los adultos, sólo permanece como remanente.

## Entrenamiento básico

En el timo, los linfocitos T experimentan un proceso llamado *selección de linfocitos T*, en el que las células son entrenadas para reconocer otros tipos de células del cuerpo, y así distinguirlas de células que no pertenecen al cuerpo. Existen varios tipos de linfocitos T, cada uno con una función específica:

- Linfocitos T de memoria
- Linfocitos T cooperadores (T<sub>4</sub>)

- Linfocitos T supresores (T<sub>8</sub>)
- Linfocitos T citolíticos naturales (citotóxicos)



## Para recordar

Para recordar dónde maduran los linfocitos, recuerda: “B en la B y T en la T”. Los linfocitos B maduran en la médula ósea (**b**one marrow), mientras que los linfocitos T maduran en el **t**imo.

## Tejido y órganos linfoides periféricos

Las estructuras periféricas del sistema inmunitario incluyen los nódulos linfáticos, los vasos linfáticos y el bazo.

### Nódulos linfáticos

Los nódulos linfáticos son estructuras pequeñas y ovaladas que se ubican a lo largo de la red de *conductos linfáticos*. Los nódulos linfáticos son más abundantes en la cabeza, el cuello, las axilas, el abdomen, la pelvis y las ingles. Ahí, ayudan a eliminar y destruir *antígenos* (sustancias capaces de desencadenar reacciones inmunitarias) que circulan en la sangre y linfa.

### Compartimentos repletos

Cada nódulo está cubierto de una cápsula fibrosa. En esta cápsula se originan bandas de tejido conectivo que se extienden hacia el nódulo para dividirlo en tres compartimentos:

1. La *corteza externa*, una sección compuesta primordialmente por linfocitos B.
2. La *corteza interna* y el área interfolicular, compuestas principalmente por linfocitos T.
3. La *médula*, la zona que contiene muchas células plasmáticas que secretan *inmunoglobulinas*.

### Vasos linfáticos

La *linfa* es un líquido transparente que baña los tejidos del cuerpo. Contiene una porción líquida, similar al plasma en la sangre, así como leucocitos (principalmente linfocitos y macrófagos) y antígenos. Al ser recolectado desde los tejidos, la linfa se filtra hasta los *vasos linfáticos* a través de sus paredes delgadas (véase *Vasos y nódulos linfáticos*).

### En las cavernas

Los *vasos linfáticos aferentes* llevan la linfa hacia el *seno subcapsular* (marginal) del

nódulo linfático. Desde ahí, la linfa continúa por los senos corticales hacia senos medulares más pequeños. Los fagocitos en la corteza interna y los senos medulares atacan a los antígenos que se encuentran en la linfa. Los antígenos también pueden quedar atrapados en los folículos de la corteza externa. Estos procesos limpian la linfa.



## Para recordar

No permitas que aferente y eferente te confundan. Empareja la a en aferente con la a en desde afuera, así como la e en eferente con la e en exterior. Así sabrás que la linfa llega desde afuera por los vasos linfáticos aferentes y sale al exterior por los vasos linfáticos eferentes.

## Como nueva

La linfa que se ha limpiado sale del nódulo linfático a través de vasos linfáticos eferentes en el *hilio* (una excavación en la salida o entrada del nódulo). Estos vasos drenan en las *cadena de nódulos linfáticos* que, a su vez, vacían su contenido en vasos linfáticos grandes, o troncos, los cuales drenan en la vena subclavia.

## Acceso a áreas restringidas

Por lo general, la linfa se distribuye mediante más de un nódulo linfático, ya que muchos nódulos recubren los conductos linfáticos que drenan una región particular. Por ejemplo, los nódulos axilares (localizados debajo del brazo) filtran el drenaje de los brazos, mientras que los nódulos femorales (en la región inguinal) filtran el líquido drenado desde las piernas. Esta disposición previene que los microorganismos que alcanzan las zonas periféricas migren sin problemas a las zonas centrales.



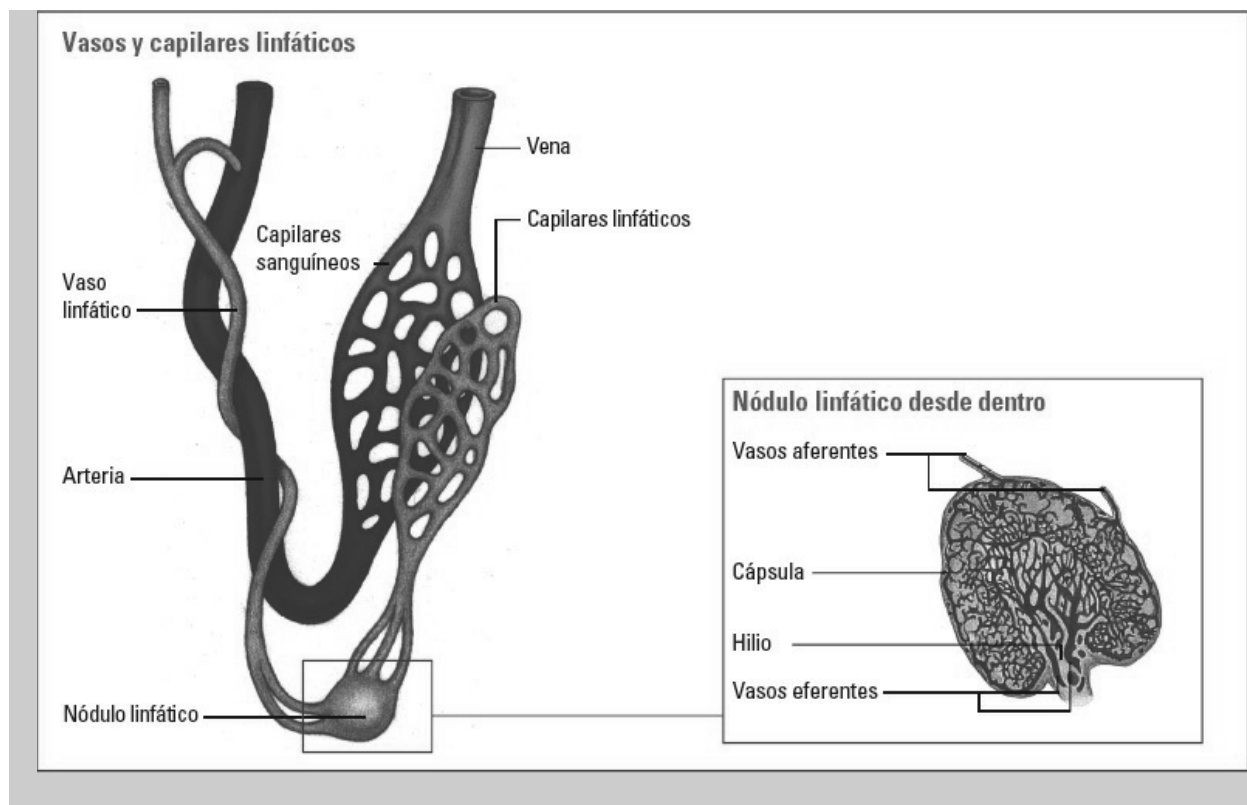
## Zoom

### Vasos y nódulos linfáticos

Los tejidos linfoides se conectan a través de una red de conductos de pared delgada denominados *vasos linfáticos*. Similares a las venas, los vasos linfáticos aferentes llevan la linfa a los nódulos linfáticos. Ahí, la linfa se filtra de manera lenta a través del nódulo para recolectarse después en los vasos linfáticos eferentes.

#### **Puedes entrar, pero no podrás salir**

Los capilares linfáticos se localizan por todo el cuerpo. Debido a que son más anchos que los capilares sanguíneos, permiten que el líquido intersticial fluya hacia su interior, pero no permiten el flujo hacia afuera.



## Bazo

El bazo se encuentra en el cuadrante superior izquierdo del abdomen, debajo del diafragma. Es una estructura roja, oscura y ovalada, que tiene un tamaño similar al de un puño, y es el órgano linfoide más grande. Se extienden bandas de tejido conectivo de la cápsula fibrosa y densa que lo rodea, hacia el interior del bazo.

## Es blanco y rojo

El interior, la *pulpa esplénica*, contiene pulpa blanca y roja. La *pulpa blanca* tiene conglomerados compactos de linfocitos que rodean las ramas de la arteria esplénica. La *pulpa roja* consiste en una red de *sinusoides* llenos de sangre que se soportan mediante una red de fibras reticulares y fagocitos mononucleares. Otros componentes de esta zona son linfocitos, células plasmáticas y monocitos.

## Puede con todo a la vez

El bazo tiene varias funciones:

- Los fagocitos en su interior engullen y desintegran los eritrocitos desgastados, lo que causa la liberación de hemoglobina para que sea degradada en sus componentes. Estos fagocitos también retienen y destruyen de manera selectiva eritrocitos dañados o anómalos, así como células con hemoglobina anormal.
- El bazo filtra y elimina las bacterias y otras sustancias ajenas al cuerpo que entran al torrente sanguíneo, y los fagocitos esplénicos eliminan rápidamente estas sustancias.



- Los fagocitos esplénicos interactúan con los linfocitos para iniciar una respuesta inmunitaria.
- El bazo almacena sangre y del 20-30% de las plaquetas.
- Si el bazo es extraído del cuerpo debido a alguna enfermedad o traumatismo, el hígado y la médula ósea toman su función.

---

## Tejidos y órganos linfoides accesorios

Las *amígdalas*, *adenoides*, *apéndice* y *placas de Peyer* eliminan desechos externos de manera similar a como lo hacen los nódulos linfáticos. Se localizan en áreas donde resulta más probable el acceso de microorganismos, como en la nasofaringe (amígdalas y adenoides) y el abdomen (apéndice y placas de Peyer).

## Función del sistema inmunitario

La *inmunidad* es la capacidad del cuerpo para resistir la invasión de microorganismos y toxinas, que evita el daño tisular y a los órganos. El sistema inmunitario está diseñado para reconocer, responder y eliminar antígenos, como bacterias, hongos, virus y parásitos. También mantiene el ambiente interno del cuerpo al eliminar células muertas o dañadas y buscar antígenos de manera constante.

El bazo es una estructura roja, oscura y ovalada, de tamaño similar al de un puño, y es el órgano linfode más grande.



## Movimientos estratégicos

Para llevar a cabo estas funciones de manera eficiente, el sistema inmunitario emplea tres estrategias:

- Fenómenos de superficie
- Defensas del hospedero
- Respuestas inmunitarias específicas

---

## Fenómenos de superficie

Las barreras físicas, químicas y mecánicas que se han dispuesto de manera específica previenen el ingreso de microorganismos potencialmente dañinos.

### El frente de la batalla

La *piel* y *membranas mucosas* intactas y sanas son la primera línea de defensa en contra de la invasión. Actúan al evitar que se adhieran los microorganismos. La

*descamación* (eliminación celular normal) y el pH bajo también impiden la colonización bacteriana. Las superficies seromucosas están protegidas por sustancias antibacterianas. Un ejemplo es la *lisozima*, la cual se encuentra en lágrimas, saliva y secreciones nasales.

## Respira tranquilo

En el aparato respiratorio (el sitio al que los microorganismos entran con más facilidad), las *vibrisas* y el *flujo turbulento* de aire a través de las fosas nasales filtran los materiales del exterior. Las secreciones nasales contienen inmunoglobulinas que evitan la adhesión de microorganismos. Además, una capa de moco, que se elimina y renueva de manera constante, reviste las vías respiratorias para dar mayor protección.



## Evita dolor en la barriga

En el tubo digestivo, se eliminan las bacterias mediante la saliva, la deglución, el peristaltismo y la defecación. Además, el pH de las secreciones gástricas es *bactericida* (capaz de matar bacterias), que hace que el estómago esté prácticamente libre de bacterias vivas.

El resto del tubo digestivo está protegido por la *flora intestinal* normal, la cual evita que otros microorganismos encuentren un hogar permanente.

## No se permite colonizar

El aparato urinario es aséptico, excepto por la parte distal de la uretra y el meato urinario. En conjunto, el flujo de orina, el pH bajo de la orina, las inmunoglobulinas y el efecto bactericida del *líquido prostático* (en los hombres) impiden la colonización bacteriana. Una serie de esfínteres también inhiben la migración de bacterias.

---

## Defensas del hospedero

Cuando un antígeno logra atravesar la piel o una membrana mucosa, el sistema inmunitario inicia respuestas celulares inespecíficas para identificar y eliminar al invasor.

### ¡Focos rojos!

La primera de estas respuestas inespecíficas en contra del antígeno es la *inflamación*, la cual implica cambios vasculares y celulares, como la producción y liberación de sustancias químicas, incluyendo la heparina, histamina y quinina. Estos cambios ayudan a eliminar el tejido muerto, microorganismos, toxinas y materia inorgánica inerte (véase *Comprender la inflamación*).

## Ellos responden en la inflamación

Los siguientes son leucocitos que forman parte de la inflamación:

- *Neutrófilos*: son producidos en la médula ósea y son los leucocitos polimorfonucleares más abundantes, lo que hace que representen el 55-70% del total de leucocitos. Aumentan su número de forma drástica como respuesta a la infección e inflamación. Son el componente principal del pus y son muy móviles. Los neutrófilos son atraídos a áreas de inflamación. Engullen, digieren y eliminan los microorganismos invasores a través de un proceso llamado *fagocitosis*.
- *Eosinófilos*: se encuentran en grandes cantidades en el aparato respiratorio y el tubo digestivo. Durante las infecciones por parásitos y alergias, se multiplican. Este tipo de célula puede comprender del 1-2% de los leucocitos. A pesar de que su función fagocítica no se comprende del todo, la evidencia sugiere que participan en la defensa del hospedero en contra de los parásitos.
- *Basófilos y mastocitos*: también tienen función en algunos trastornos inmunitarios, y componen el 1% de todos los leucocitos. Los basófilos viajan dentro de la sangre periférica; los mastocitos, o células cebadas, se acumulan en el tejido conectivo, de manera particular en pulmones, intestinos y piel (los mastocitos no son células de la sangre). Ambos tipos de células tienen receptores de superficie para inmunoglobulina (Ig) E. Cuando sus receptores reciben un complejo IgE-antígeno, liberan mediadores característicos de la reacción alérgica.

# Respuestas inmunitarias específicas

Todas las sustancias ajenas al cuerpo desencadenan las mismas defensas del hospedero. Además de ellas, algunos microorganismos o moléculas específicos activan ciertas reacciones inmunitarias, y pueden implicar tipos especiales de células inmunitarias. Las respuestas específicas, catalogadas como *inmunidad humoral* o *inmunidad celular*, son producidas por los linfocitos (B y T).

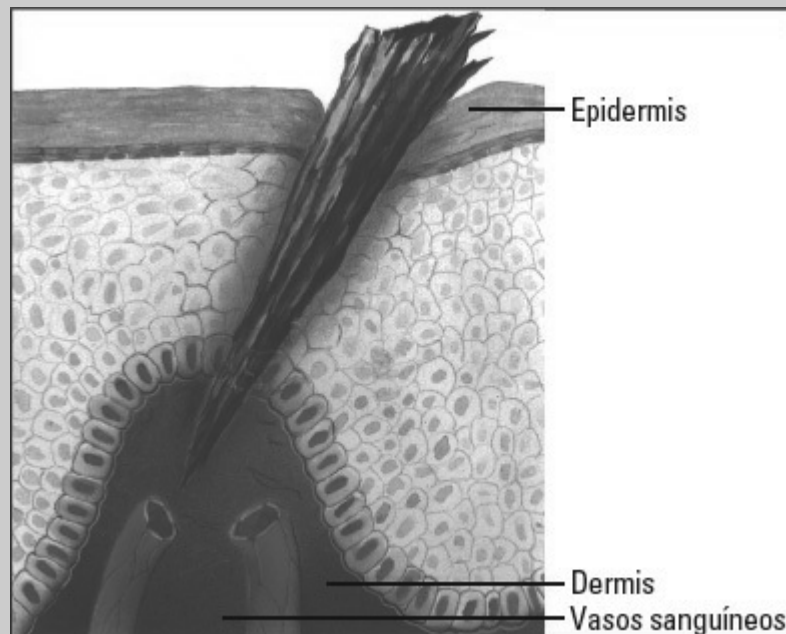


¡Eureka!

## Comprender la inflamación

La inflamación ayuda al cuerpo a recobrar la homeostasis después de que ha ocurrido una lesión. Su función principal es llevar fagocitos (neutrófilos y monocitos) al sitio de inflamación para destruir las bacterias y eliminar las células dañadas o muertas en el tejido a fin de facilitar la reparación del daño.

La inflamación tiene cinco signos cardinales: enrojecimiento, tumefacción, calor, dolor y disminución de la función. Los tres primeros son el resultado de la vasodilatación local, pérdida de líquidos hacia el espacio extravascular y bloqueo del drenaje linfático. El cuarto signo es consecuencia de la distensión del tejido causado por la tumefacción, aumento de presión e irritación química de los nociceptores (receptores del dolor). El último signo está asociado con el tejido que no puede repararse por sí solo, lo que deja tejido cicatricial.



## Inmunidad humoral

Durante esta respuesta, el antígeno que ha invadido el cuerpo causa la división de linfocitos B y su diferenciación en células plasmáticas. Como consecuencia, todas las células plasmáticas, producen y liberan cantidades considerables de inmunoglobulinas específicas para ese antígeno.



## El Capitán Ig

Cada uno de los cinco tipos de inmunoglobulinas (IgA, IgD, IgE, IgG e IgM) tiene una función especial:

- IgA, IgG e IgM protegen frente a la invasión por bacterias y virus.
- La IgD funciona como un receptor de antígenos en los linfocitos B.
- La IgE provoca la reacción alérgica.

## ¿Y por qué? Porque es nuestro trabajo

Las inmunoglobulinas tienen una estructura molecular especial que se asemeja a una "Y". La parte superior de la Y está diseñada para unirse a un antígeno particular. La base de la Y permite que la inmunoglobulina se una a otras estructuras del sistema inmunitario. De acuerdo con el antígeno, las inmunoglobulinas pueden llevar a cabo su función de diferentes maneras:

- Pueden desactivar ciertos tipos de bacterias al unirse con toxinas que éstas producen. Este tipo de inmunoglobulinas se denominan *antitoxinas*.
- Pueden *opsonizar* (recubrir) a las bacterias para hacerlas blanco de los fagocitos (véase *Cómo se lleva a cabo la fagocitosis*).

- La manera más frecuente en la que actúan es uniéndose a antígenos, que provoca que el sistema inmunitario produzca y ponga en circulación un grupo de enzimas llamado *complemento*.



## Hagamos una pausa

Después de la exposición inicial a un antígeno, existe un período de latencia en el que no es posible detectar anticuerpos. Durante este lapso, el linfocito B reconoce al antígeno, lo que inicia su división y diferenciación, junto con la producción de anticuerpos.

## La primera respuesta

La *respuesta humoral primaria* sucede de 4-10 días después de la primera exposición a antígenos. Durante esta respuesta, la cantidad de inmunoglobulinas aumenta; sin embargo, pero disminuye rápidamente. En este momento, se forman anticuerpos IgM.

## La segunda respuesta: atacar temprano y con todo

Las exposiciones subsecuentes a los mismos antígenos causan la *respuesta humoral secundaria*. En este tipo de respuesta, los linfocitos B de memoria producen anticuerpos (principalmente IgG), que alcanzan concentraciones máximas en 1-2 días. Las concentraciones aumentadas perduran durante meses, para después disminuir de forma lenta. Así, la respuesta humoral secundaria es más rápida, intensa

y persistente, en comparación con la respuesta humoral primaria. Esta respuesta se intensifica con cada exposición.



## Esto es más complejo

Después de que el anticuerpo reacciona ante el antígeno, se forma un complejo antígeno-anticuerpo, el cual tiene varias funciones. Primero, el antígeno es procesado por un macrófago para presentarlo a un linfocito B específico. Luego, el anticuerpo activa el sistema del complemento, lo que causa una *cascada enzimática* que destruye el antígeno.

### Sistema del complemento

El *sistema del complemento* es activado por lesiones a tejidos o por reacciones de antígeno y anticuerpo. Sirve como puente entre la inmunidad celular y la humoral, y atrae fagocitos (neutrófilos y macrófagos) al sitio donde se encuentra el antígeno.

## Trabajemos juntos

El sistema del complemento, indispensable para la respuesta humoral, se compone de 25 enzimas que *complementan* el trabajo de los anti-cuerpos al ayudar en la fagocitosis o al destruir las bacterias (mediante perforación de sus membranas).

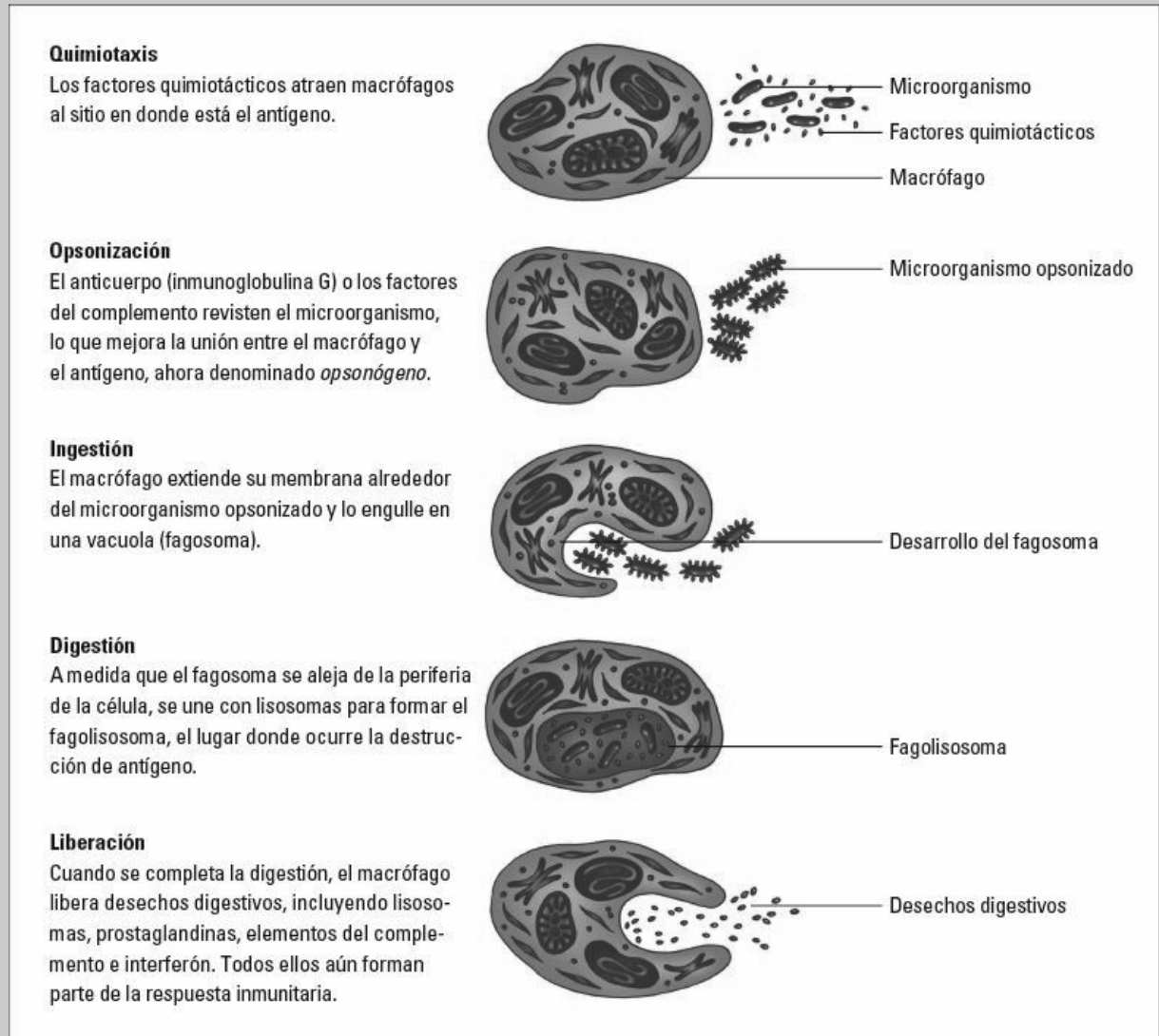




¡Eureka!

## Cómo se lleva a cabo la fagocitosis

Los microorganismos y otros antígenos que invaden la piel y las mucosas son eliminados por fagocitosis, un mecanismo de defensa utilizado por los macrófagos (leucocitos mononucleares) y neutrófilos (leucocitos polimorfonucleares). Así se lleva a cabo la fagocitosis.



## El efecto en cascada

Las proteínas del complemento se movilizan a través de la sangre en su forma activa. En cuanto se activa la primera sustancia del complemento (frecuentemente por un anticuerpo unido a un antígeno), este inicia una cascada de reacciones. Conforme se activa cada uno de los componentes, el complemento actúa en el siguiente en una secuencia que está controlada de manera cuidadosa. El proceso es llamado *cascada*

*del complemento.*

## Al ataque

Esta cascada resulta en la creación del *complejo de ataque a membrana*. Este complejo, situado dentro de la membrana de la célula diana, crea un conducto por el cual fluyen líquidos y moléculas hacia dentro y fuera de la célula. La célula diana se ensancha, y finalmente estalla.

## Otros beneficios de la cascada del complemento

Algunos productos secundarios de la cascada del complemento son:

- Inflamación: resultado de la liberación del contenido de mastocitos y basófilos.
- Estimulación y atracción de neutrófilos: estas células participan en la fagocitosis.
- Recubrimiento de células diana por C3b: las células atraen a los fagocitos mediante este fragmento inactivado de la proteína C3 del complemento.

## Inmunidad celular

La *inmunidad celular* protege al cuerpo frente a infecciones causadas por bacterias, hongos o virus mediante la inactivación del antígeno. Ofrece resistencia en contra de células trasplantadas y células neoplásicas.

## Siempre alerta

En esta respuesta inmunitaria, el macrófago procesa el antígeno, el cual es presentado a los linfocitos T. Algunos linfocitos T se vuelven sensibles y destruyen el antígeno, mientras que otros liberan linfocinas para activar los macrófagos que destruirán el antígeno. Los linfocitos T se desplazan en la sangre y sistema linfóide, y vigilan de manera continua en busca de antígenos específicos (véase *Respuesta inmunitaria a la invasión bacteriana*).

## Los mediadores perfectos

Las *citocinas* son proteínas de bajo peso molecular implicadas en la comunicación entre macrófagos y linfocitos. Estas proteínas se encargan de inducir y regular muchas reacciones inmunitarias y de la inflamación. Las citocinas incluyen factores promotores de colonias, interferones, interleucinas, factores de necrosis tumoral y factor de crecimiento transformante. Las citocinas son una parte importante del buen funcionamiento del sistema inmunitario.

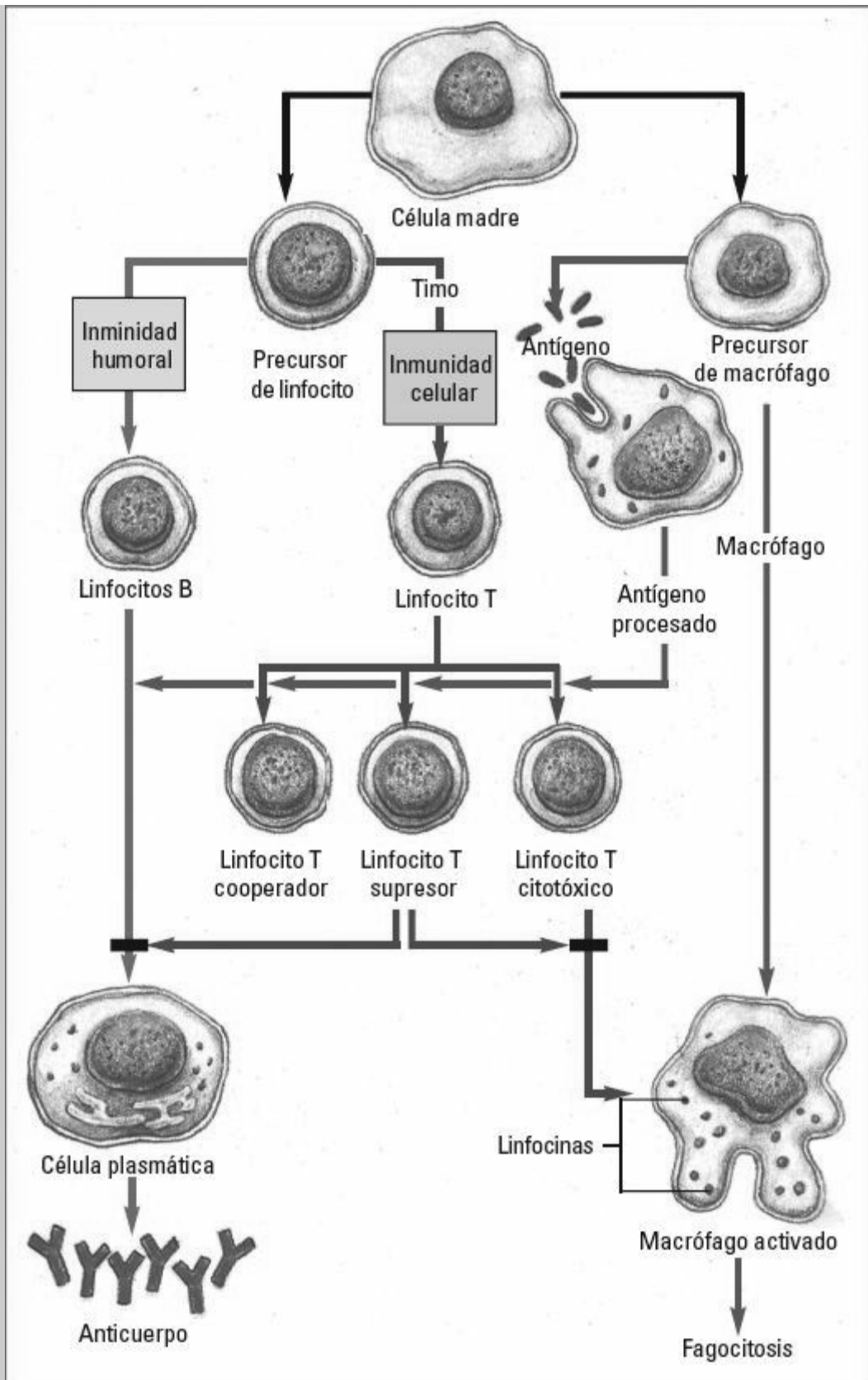


**¡Eureka!**

## Respuesta inmunitaria a la invasión bacteriana

La invasión por una sustancia externa desencadena uno de los dos tipos de respuestas inmunitarias: inmunidad celular o inmunidad humoral.

- En la *inmunidad humoral*, los antígenos estimulan los linfocitos B para que se diferencien en células plasmáticas y produzcan anticuerpos circulantes, y que éstos desactiven bacterias y virus antes de que puedan entrar a células del hospedero.
- En la *inmunidad celular*, los linfocitos T se dirigen inmediatamente a atacar a los invasores. Son tres subgrupos de linfocitos T los que desencadenan la respuesta a la infección. Los linfocitos T cooperadores estimulan los linfocitos B para producir anticuerpos. Los linfocitos T citotóxicos producen linfoquinas (proteínas que propician la inflamación y regulan la reacción retardada de hipersensibilidad). Los linfocitos T supresores (reguladores) median la respuesta inmunitaria de tipo T y B.



## Fallos del sistema inmunitario

Debido a su complejidad, los procesos que están implicados en la respuesta del hospedero y la respuesta inmunitaria están en riesgo de fallar. Cuando las defensas del cuerpo son exageradas o se encuentran mal dirigidas, están ausentes o son deficientes, pueden ocasionar un trastorno de *hipersensibilidad, autoinmunidad o inmunodeficiencia*.

---

## Trastornos de hipersensibilidad

Los trastornos de hipersensibilidad son consecuencia de la respuesta inmunitaria exagerada o inapropiada.

### Todos los tipos

Estos trastornos se catalogan en tipos desde el I hasta el IV de acuerdo con la actividad del sistema inmunitario que cause daño en el tejido. Existe cierto grado de superposición entre ellos:

- De tipo I: son *reacciones anafilácticas (inmediata, atópica, mediada por IgE)*. Algunos ejemplos incluyen la anafilaxia sistémica, fiebre del heno (rinitis alérgica estacional), reacciones a picaduras de insectos, reacciones a alimentos o fármacos y, en algunos casos, urticaria y eccema en lactantes.
- De tipo II: *reacciones citotóxicas (citolítica, citotoxicidad dependiente de complemento)*. Algunos ejemplos son el síndrome de Goodpasture, anemia hemolítica autoinmunitaria, reacciones postransfusionales, enfermedad hemolítica del recién nacido, miastenia grave y algunas reacciones a fármacos.
- De tipo III: se trata de reacciones *mediadas por inmunocomplejos*. Algunos ejemplos son las reacciones relacionadas con infecciones, como hepatitis B y endocarditis bacteriana, cáncer (donde puede ocurrir una reacción similar a la enfermedad del suero) y trastornos autoinmunitarios, como el lupus eritematoso sistémico. Este tipo de hipersensibilidad puede presentarse después del tratamiento con suero o fármacos.
- De tipo IV: son reacciones retardadas (mediadas por células) de hipersensibilidad. Algunos ejemplos son la reacción de tuberculina, hipersensibilidad de contacto (alergia al látex) y sarcoidosis.

Los trastornos de hipersensibilidad son consecuencia de la respuesta inmunitaria exagerada o inapropiada.



---

## Trastornos autoinmunitarios

Los trastornos autoinmunitarios se caracterizan por una respuesta anómala hacia el tejido propio.

### Difusión y confusión

La *autoinmunidad* tiene como consecuencia reacciones tisulares y daño que pueden producir signos y síntomas sistémicos. Entre los trastornos autoinmunitarios se encuentran la diabetes mellitus de tipo 1, artritis reumatoide, artritis reumatoide juvenil, artritis psoriásica, espondilitis anquilosante, síndrome de Sjögren, esclerosis múltiple, pancreatitis autoinmunitaria y lupus eritematoso (véase *Cambios en el sistema inmunitario relacionados con la edad*).



---

## Inmunodeficiencia

Los trastornos de inmunodeficiencia son causados por la ausencia o disminución en la respuesta inmunitaria, en una de varias formas.

### No hay deficiencia de trastornos de inmunodeficiencia

Los trastornos de inmunodeficiencia incluyen hipogammaglobulinemia ligada a X infantil, inmunodeficiencia común variable, síndrome de DiGeorge, síndrome de inmunodeficiencia adquirida, granulomatosis crónica, ataxia-telangiectasia, inmunodeficiencia combinada grave y deficiencia de complemento.



## La tercera edad

### Cambios en el sistema inmunitario relacionados con la edad

La función inmunitaria comienza a disminuir su actividad al alcanzar la madurez sexual, y continúa en declive conforme avanza la edad. Durante esta disminución en su actividad, el sistema inmunitario comienza a perder su habilidad para diferenciar entre sí mismo y el exterior, lo que incrementa la incidencia de trastornos autoinmunitarios. El sistema inmunitario también pierde su capacidad para

reconocer y destruir células mutantes, que probable-mente sea la causa de la mayor incidencia de cáncer en las personas mayores.

Los factores externos, como el estado de nutrición y la exposición a sustancias químicas, además de los factores ambientales, como la contaminación y la radiación ultravioleta, pueden afectar el estado de inmunidad de los pacientes.

La respuesta humoral disminuida en personas mayores los hace más susceptibles a infecciones. Con frecuencia, hay atrofia de amígdalas y linfadenopatía.

El recuento de leucocitos total y diferencial no cambia de forma importante con la edad. Sin embargo, algunas personas mayores de 65 años de edad pueden mostrar pequeñas disminuciones en el recuento leucocitario. Cuando ocurre lo anterior, se reduce la cantidad de linfocitos B y el total de linfocitos, mientras que los linfocitos T disminuyen y se vuelven menos eficaces. Además, disminuye el tamaño de los nódulos linfáticos y el bazo.



## Preguntas de autoevaluación

1. Las células madre son multipotentes y se convierten en otros tipos de células a través del siguiente proceso:
  - A. Quimiotaxis
  - B. Fagocitosis
  - C. Hematopoyesis
  - D. Oponización

**Respuesta:** C. La hematopoyesis es la formación de sangre, la cual ocurre en la médula ósea.

2. Cuando se ha limpiado la linfa, ésta sale del nódulo linfático por la siguiente ruta:
  - A. Capilares sanguíneos
  - B. Capilares linfáticos
  - C. Vasos linfáticos aferentes
  - D. Vasos linfáticos eferentes

**Respuesta:** D. Los vasos linfáticos eferentes drenan en las cadenas de nódulos linfáticos, y éstos vacían su contenido en vasos linfáticos grandes, o troncos, que drenan en la vena subclavia.

3. Durante esta fase de la fagocitosis, un macrófago engulle un microorganismo opsonizado en una vacuola:
  - A. Quimiotaxis
  - B. Oponización
  - C. Ingestión
  - D. Digestión

**Respuesta:** C. Durante la ingestión, el macrófago extiende su membrana alrededor del microorganismo opsonizado y lo engulle en una vacuola (fagosoma).

---

## Puntuación

- ☆☆☆ Si contestaste las tres preguntas correctamente, ¡impresionante! Has respondido a cada reto inmunitario.
- ☆☆ Si respondiste dos preguntas de manera acertada, ¡prodigioso! Has demostrado que eres multipotente.
- ☆ Si contestaste de forma correcta sólo una pregunta, tendrás que corregir tu inmunodeficiencia. Toma un poco de vitamina C antes de leer este capítulo de nuevo.



---

# Bibliografía

Ignatavicius, D. D. & Workman, M. L., (2016). *Medical-surgical nursing: Patient-Centered collaborative care* (8th ed.). St. Louis, MO: Elsevier.

Jarvis, C. (2012). *Physical examination & health assessment* (6th ed.). St. Louis, MO: Elsevier.

# Capítulo 11

## Aparato respiratorio

### Objetivos



En este capítulo aprenderás:

- ◆ Las estructuras del aparato respiratorio y sus funciones
- ◆ Los procesos de inspiración y espiración
- ◆ La forma en la que se lleva a cabo el intercambio gaseoso
- ◆ Los problemas en el sistema nervioso, muscular y pulmonar que pueden alterar la respiración
- ◆ La función de los pulmones en el equilibrio acidobásico

### Una mirada al aparato respiratorio

El aparato respiratorio mantiene el intercambio de oxígeno y dióxido de carbono en los pulmones y tejidos. También ayuda a regular el equilibrio acidobásico. Estudiado de manera funcional, el aparato respiratorio se compone de una porción de conducción y una porción respiratoria. La porción de conducción consiste en una vía continua que transporta aire hacia dentro y hacia afuera de los pulmones (nariz, faringe, laringe, tráquea, bronquios y bronquiolos). La porción respiratoria, compuesta por bronquiolos, conductos alveolares y alvéolos, realiza el intercambio gaseoso.

El aparato respiratorio está compuesto por:

- Vías respiratorias superiores
- Vías respiratorias inferiores
- Cavidad torácica



## Vías respiratorias superiores

Las vías respiratorias superiores están compuestas por la nariz (narinas y conductos nasales), nasofaringe, bucofaringe, laringofaringe y laringe. Estas estructuras filtran, calientan y humedecen el aire. También son responsables de la percepción del sabor y el olor, así como de la masticación y deglución (véase *Estructuras del aparato respiratorio*).

---

### Narinas y conductos nasales

El aire entra al cuerpo a través de las narinas, en las que pequeños vellos llamados *vibrissas* se encargan de filtrar partículas externas, como el polvo. El aire sigue su camino a los dos conductos nasales, separados por el tabique nasal. Las paredes anteriores de los conductos nasales están formadas por cartílago, mientras que las paredes posteriores están delimitadas por estructuras óseas (*concha* y *cornetes nasales*).



## De paso

La *concha* se encarga de calentar y humedecer el aire antes de que alcance la nasofaringe. Su capa mucosa también atrapa partículas más pequeñas. Estas partículas son acarreadas mediante *cilios* (proyecciones pequeñas similares a cabellos) a la faringe para que puedan deglutirse.

---

## Senos y nasofaringe

Los cuatro senos paranasales se ubican en los huesos frontal, esfenoides y maxilar. Los senos proveen la resonancia en la voz.

El aire pasa desde la cavidad nasal hasta la nasofaringe muscular a través de las *coanas*, un par de aberturas posteriores en la cavidad nasal que permanecen abiertas. La nasofaringe se ubica detrás de la nariz y arriba de la garganta.

---

## Bucofaringe y laringofaringe

La *bucofaringe* es la pared posterior de la boca. Conecta la nasofaringe y la

laringofaringe. La laringofaringe se extiende al esófago y laringe.

## Laringe

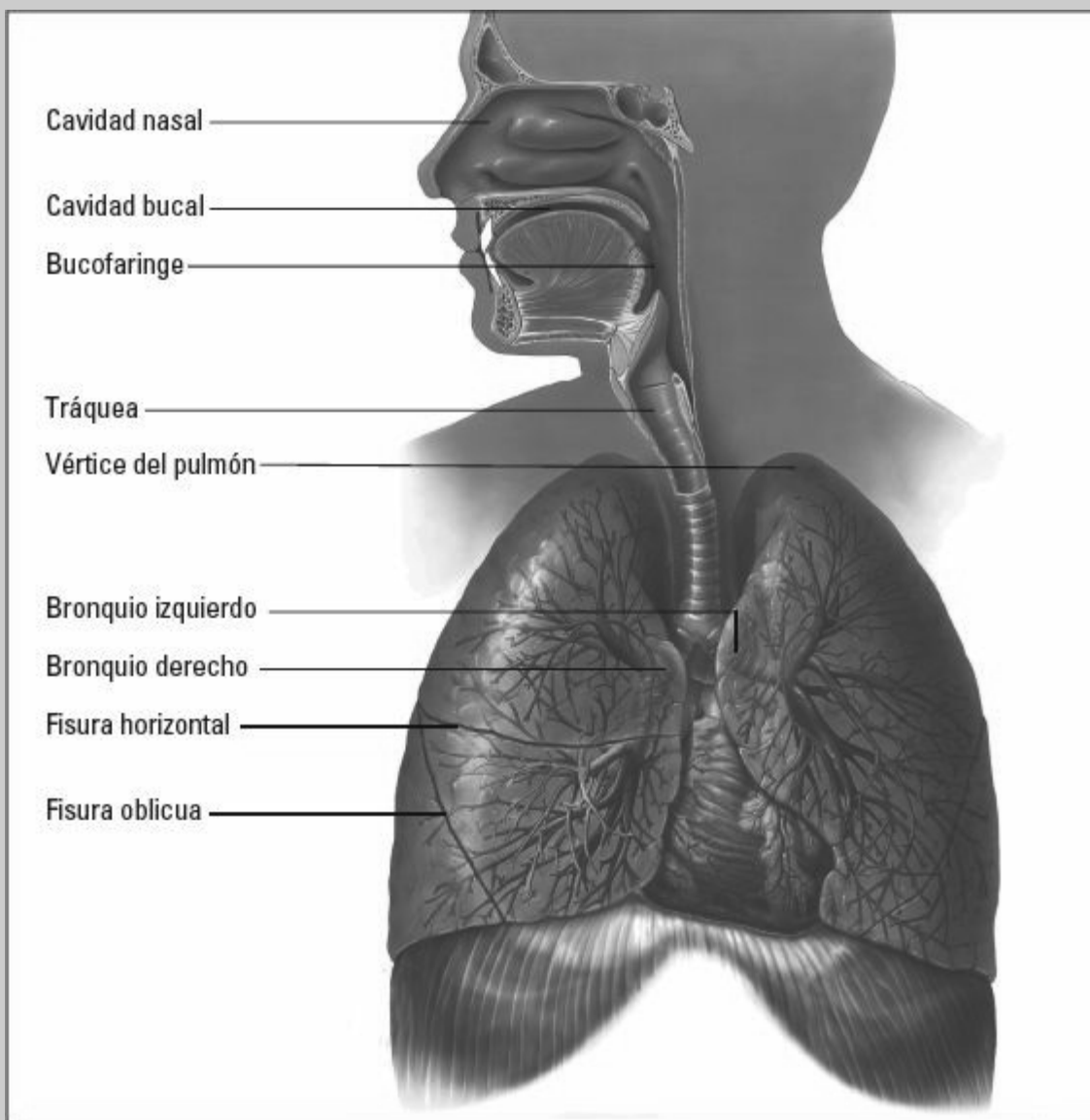
La laringe contiene las cuerdas vocales y conecta la faringe con la tráquea, una parte de las vías respiratorias inferiores. Las paredes de la laringe están formadas por músculos y cartílago, incluyendo el cartílago tiroides en forma de escudo, y que se ubica debajo de la mandíbula.



### La máquina perfecta

#### Estructuras del aparato respiratorio

La ilustración muestra las estructuras del aparato respiratorio, que se dividen en altas y bajas.



# Vías respiratorias inferiores

Las vías respiratorias inferiores se componen de la tráquea, los bronquios y los pulmones. Estas estructuras están revestidas de membrana mucosa cubierta de cilios. Los cilios limpian de manera continua las vías y llevan materia ajena al cuerpo hacia arriba para que sea deglutida o expectorada.

---

## Tráquea

La tráquea se extiende desde el cartílago *cricoides* en la cima de la *carina* (bifurcación de la tráquea). El anillo de cartílago en forma de “C” refuerza y protege la tráquea para prevenir su colapso. La carina es una estructura con forma de cresta que se localiza a nivel de T6 o T7.

---

## Bronquios

Los bronquios principales empiezan en la carina. El bronquio derecho es más corto, ancho y vertical en comparación con el izquierdo. Lleva aire al pulmón derecho. El bronquio izquierdo lleva aire al pulmón izquierdo.

Los bronquios se dividen desde bronquios lobulares hasta bronquios segmentarios y bronquiolos.



## Bronquios secundarios e hilio

Los bronquios principales se dividen en cinco bronquios lobulares (bronquios secundarios). Junto con los vasos sanguíneos, nervios y vasos linfáticos, los bronquios se introducen en las cavidades pleurales y pulmones a través de los hilios. Localizado detrás del corazón, el hilio es una abertura en la superficie medial del pulmón.

## Muchas ramas

Cada bronquio lobular entra a cada lóbulo del pulmón. Ya en su lóbulo correspondiente, cada bronquio se divide en bronquios segmentarios (bronquios terciarios). Los segmentos se dividen todavía más en bronquios más pequeños. Al final, se dividen en bronquiolos.

Los bronquios más grandes tienen en sus paredes cartílago, músculo liso y epitelio. A medida que los bronquios se hacen cada vez más pequeños, pierden el cartílago y después el músculo liso. Por último, los bronquios más pequeños constan sólo de una capa de células epiteliales.

## Bronquiolos respiratorios

Cada bronquiolo incluye bronquiolos terminales y el acino, la unidad respiratoria para el intercambio gaseoso (véase *Una mirada a la vía respiratoria*).

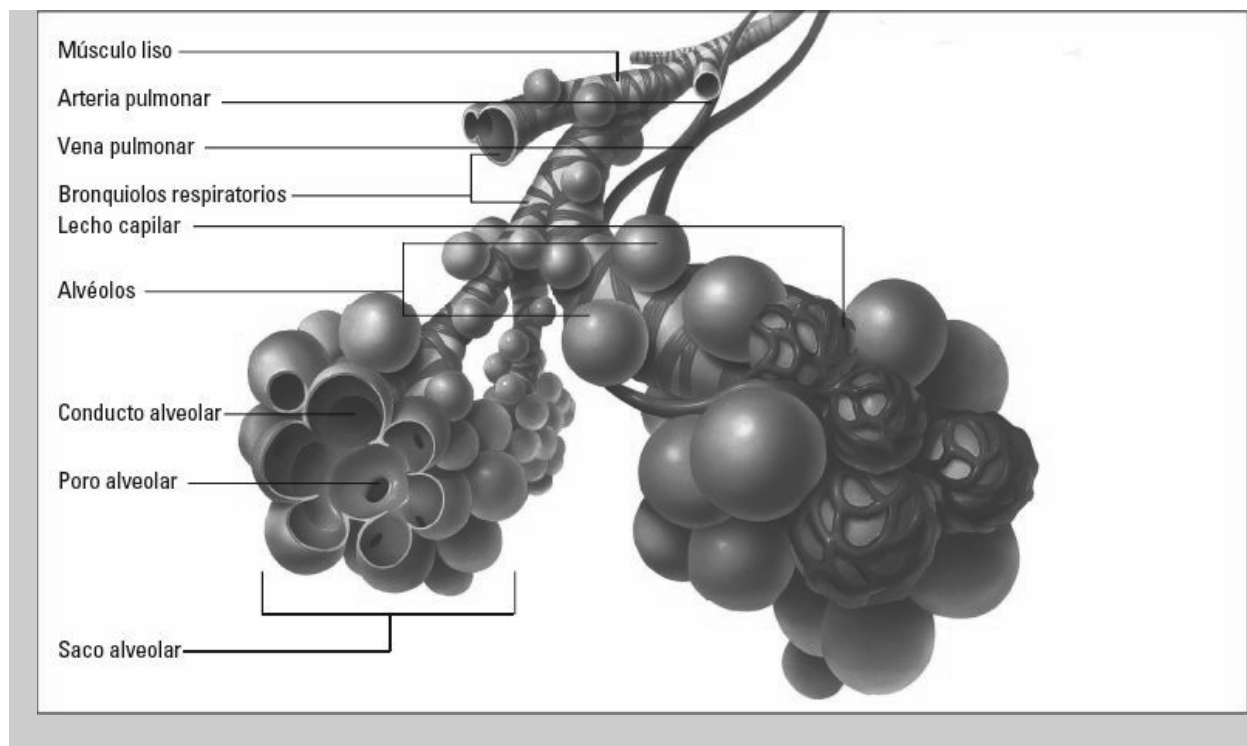
El bronquiolo terminal se divide en bronquiolos respiratorios más pequeños dentro del acino. Los bronquiolos respiratorios se unen directamente con los alvéolos a lo largo de sus paredes.



### Zoom

#### Una mirada a la vía respiratoria

Esta unidad respiratoria consiste en el bronquiolo respiratorio, conducto alveolar, saco alveolar y alvéolos. El intercambio gaseoso se lleva a cabo de manera rápida dentro del alvéolo, donde el oxígeno inhalado se difunde a la sangre, mientras que el dióxido de carbono pasa al aire exhalado.



## Alvéolos

Los bronquiolos respiratorios en cierto punto se convierten en conductos alveolares, que terminan en cúmulos de alvéolos rodeados de capilares llamados *sacos alveolares*. El intercambio gaseoso se realiza en los alvéolos.

Las paredes de los alvéolos tienen dos tipos de células epiteliales:

1. De tipo I: son las más abundantes. El intercambio gaseoso sucede a través de estas células delgadas y planas.
2. De tipo II: secretan el *factor surfactante*, una sustancia que reviste el alvéolo y facilita el intercambio gaseoso mediante la disminución de la tensión superficial y previniendo que el pulmón colapse.

---

## Pulmones

Los pulmones, con su forma cónica, están suspendidos dentro de las cavidades pleurales izquierda y derecha, albergan el corazón, y se anclan mediante su raíz y el ligamento pulmonar. El pulmón derecho es más corto, ancho y grande que el izquierdo; tiene tres lóbulos que se encargan del 55% del intercambio gaseoso. El pulmón izquierdo tiene dos lóbulos. Las bases cóncavas de los pulmones descansan sobre el diafragma; el vértice se extiende cerca de 1.5 cm sobre la primera costilla.

### Pleura y cavidades pleurales

La pleura, una membrana que reviste por completo el pulmón, tiene una capa visceral y una parietal. La pleura visceral se encuentra a lo largo de toda la superficie del pulmón, inclusive en las áreas entre lóbulos. La pleura parietal reviste la superficie



interna del tórax y la parte superior del diafragma.



## El líquido seroso tiene funciones importantes

La cavidad pleural, el área diminuta entre la pleura visceral y la parietal, contiene una lámina de líquido seroso. Este líquido tiene dos funciones:

1. Lubricar las superficies pleurales para permitir que se deslicen de manera fácil a medida que los pulmones se expanden y contraen.
2. Crear una unión entre las capas, la cual causa que los pulmones se muevan junto con la caja torácica en la ventilación.

## Cavidad torácica

La cavidad torácica contiene los pulmones. Está rodeada por el diafragma (por debajo), los músculos escalenos y la fascia del cuello (por arriba), así como costillas, músculos intercostales, vértebras, esternón y ligamentos (alrededor de la circunferencia).

---

## Mediastino

El espacio entre ambos pulmones se denomina *mediastino*, el cual alberga:

- El corazón y pericardio
- La aorta torácica
- Las venas y arteria pulmonar
- Las venas cavas y vena ácigos
- El timo, nódulos y vasos linfáticos
- Tráquea, esófago y conducto torácico
- Nervio vago, frénico y plexos cardíacos




---

## Caja torácica

La caja torácica se compone de hueso y cartílago. Sirve de protección y soporte de los pulmones para permitir que se expandan y contraigan.

### Caja torácica posterior

La columna vertebral y los 12 pares de costillas forman la parte posterior de la caja torácica. Las costillas constituyen la mayor parte de esta caja. Se extienden desde las vértebras torácicas hasta el tórax anterior.

### Caja torácica anterior

La caja torácica anterior está formada por el manubrio, el esternón, el proceso

xifoides y las costillas. Protege a los órganos del mediastino que se encuentran entre las dos cavidades pleurales.



## ¿Anclados o a la deriva?

Desde la primera hasta la séptima costilla, se unen directamente al esternón. Desde la octava hasta la décima costilla, están unidas al cartílago de la costilla anterior. Los otros dos pares de costillas se encuentran “flotando”, pues no se unen a ninguna parte de la caja torácica anterior. La decimoprimera costilla tiene vértice anterolateral, mientras que la duodécima tiene vértice lateral.

## El borde del ángulo costal

Las partes bajas de la caja torácica (márgenes costales), cerca del proceso xifoides, forman el ángulo infraesternal, un ángulo cercano a los 90° en las personas normales (véase *Ubicación de las estructuras pulmonares en la caja torácica*, p. 178).

## Incisura supraesternal

Arriba, en la cara anterior del tórax, hay un surco denominado *incisura supraesternal* (escotadura yugular). Debido a que la incisura supraesternal no está cubierta por una costilla, como el resto del tórax, puede sentirse la tráquea y el pulso aórtico (véase *Cambios del aparato respiratorio relacionados con la edad*, p. 179).



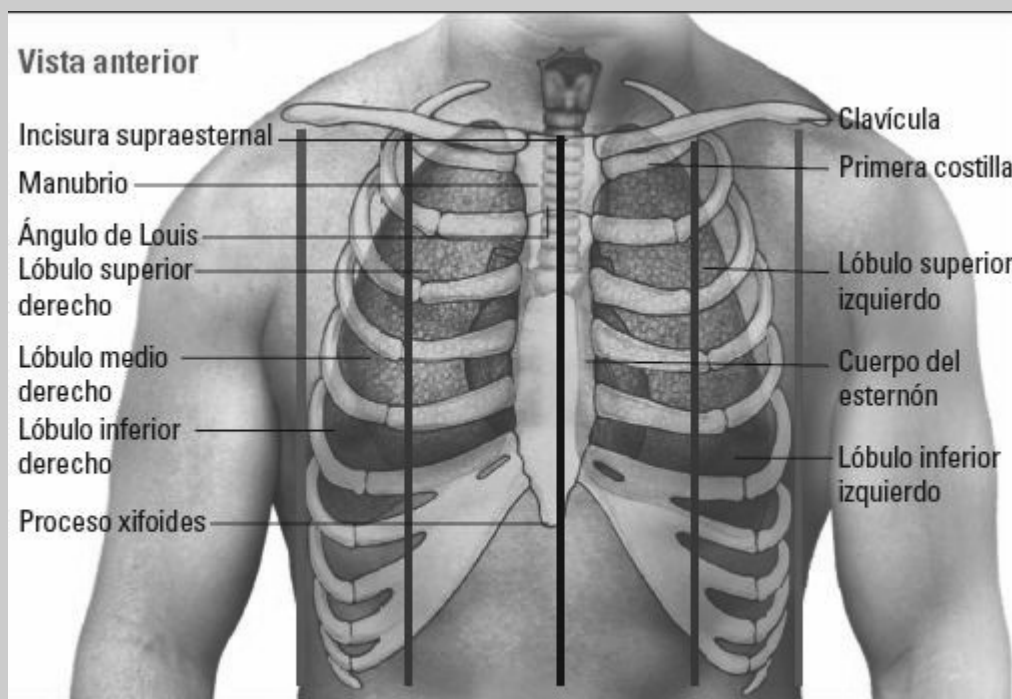
## La máquina perfecta

### Ubicación de las estructuras pulmonares en la caja torácica

Las costillas, vértebras y otras estructuras de la caja torácica funcionan como puntos de referencia que pueden emplearse para identificar las estructuras subyacentes.

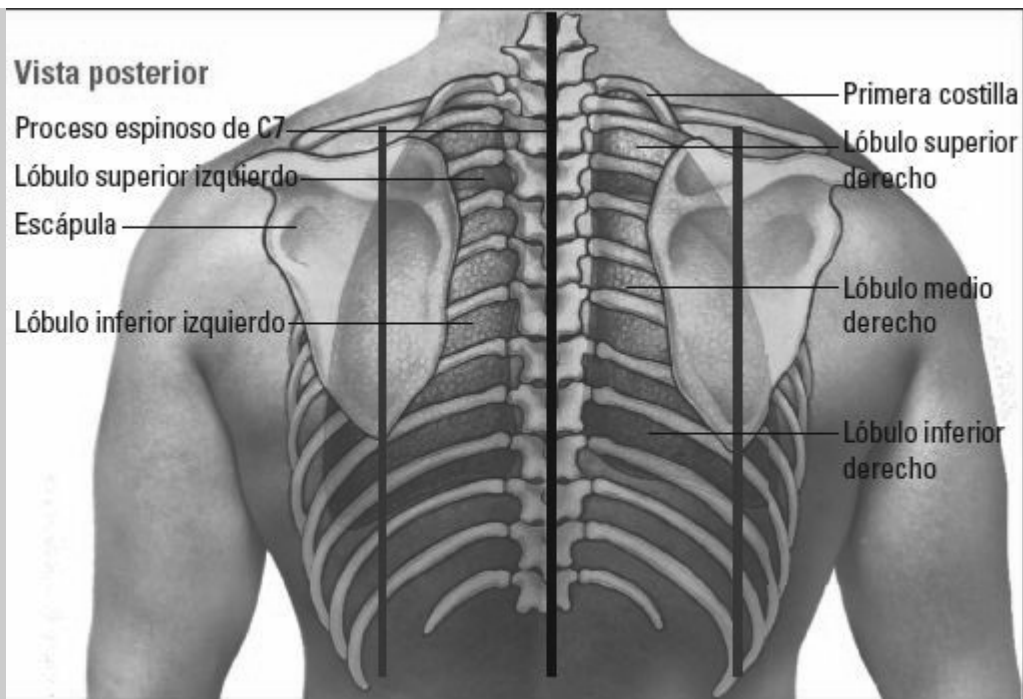
#### Vista anterior

- La base de cada pulmón descansa en el nivel de la sexta costilla, en la línea medioclavicular, y la octava costilla, en la línea medioaxilar.
- El vértice de cada pulmón se extiende de 2-4 cm por encima de las clavículas, en la línea media.
- El lóbulo superior del pulmón derecho termina en la cuarta costilla en la línea medioclavicular y la quinta costilla en la línea medioaxilar.
- El lóbulo medio del pulmón derecho se extiende en forma de triángulo desde la cuarta hasta la sexta costilla en la línea medioclavicular y hasta la quinta costilla en la línea medioaxilar.
- Debido a que el pulmón izquierdo no tiene lóbulo medio, el lóbulo superior termina en el nivel de la cuarta costilla en la línea medioclavicular y la quinta costilla en la línea medioaxilar.



#### Vista posterior

- Los pulmones se extienden desde el área cervical hasta el nivel de T10. En la inspiración profunda, los pulmones pueden descender hasta el nivel de T12.
- Los lóbulos superiores de ambos pulmones están separados por una línea imaginaria que va del borde inferior de la escápula a nivel de T3 hasta la quinta costilla en la línea medioaxilar.
- Los lóbulos superiores se ubican por encima de T3, mientras que los inferiores se localizan debajo de T3, y descienden hasta T10.
- El diafragma se origina cerca de la décima o novena costilla.



## La tercera edad

### Cambios del aparato respiratorio relacionados con la edad

A medida que una persona envejece, el cuerpo sufre cambios en el aparato respiratorio. Estos cambios pueden ser estructurales y funcionales.

#### Cambios estructurales

Los cambios anatómicos relacionados con la edad en las vías respiratorias superiores incluyen el crecimiento de la nariz debido al continuo desarrollo de cartílago, atrofia en las amígdalas y desviación de la tráquea causada por alteraciones en la columna vertebral. Los posibles cambios torácicos incluyen el aumento del diámetro anteroposterior del tórax (resultado del metabolismo del calcio deficiente) y la calcificación del cartílago costal, lo que disminuye la movilidad de la pared torácica. La osteoporosis y fracturas vertebrales hacen que la cifosis avance con la edad.

Los pulmones se vuelven rígidos, mientras que el número y tamaño de los alvéolos disminuyen.

#### Cambios funcionales

La función pulmonar disminuye en las personas mayores como resultado de la degeneración y atrofia de la musculatura respiratoria. La capacidad ventilatoria se reduce por varias razones:

- La capacidad de difusión pulmonar se ve reducida, pues la menor fuerza de los músculos respiratorios afecta la capacidad vital.
- La degradación del tejido pulmonar disminuye el retroceso elástico del tejido. Como consecuencia, aumenta el volumen residual.
- El estrechamiento de algunas de las vías tiene como consecuencia la mala ventilación de las regiones basales, y disminuye el área de superficie para el intercambio gaseoso, así como la presión parcial de oxígeno. La saturación de oxígeno es menor, y puede llevar a una menor tolerancia al ejercicio.

# Inspiración y espiración

La respiración implica dos acciones: inspiración (un proceso activo) y espiración (un proceso casi por completo pasivo). Ambas acciones dependen de músculos respiratorios y los efectos de las diferencias de presión en los pulmones.



## ¡Es normal!

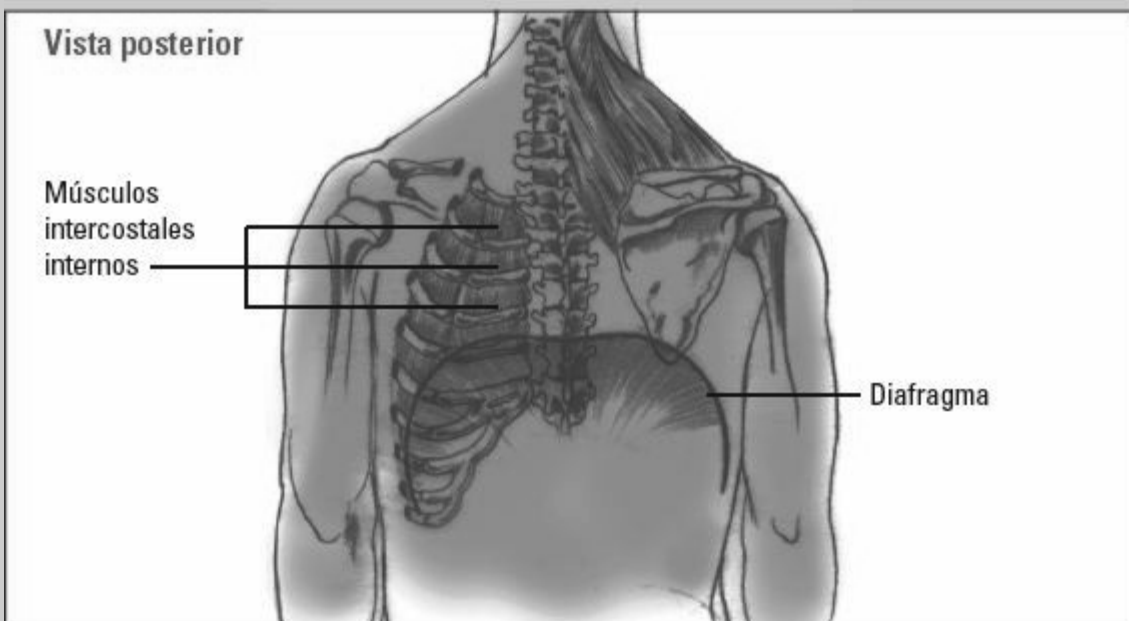
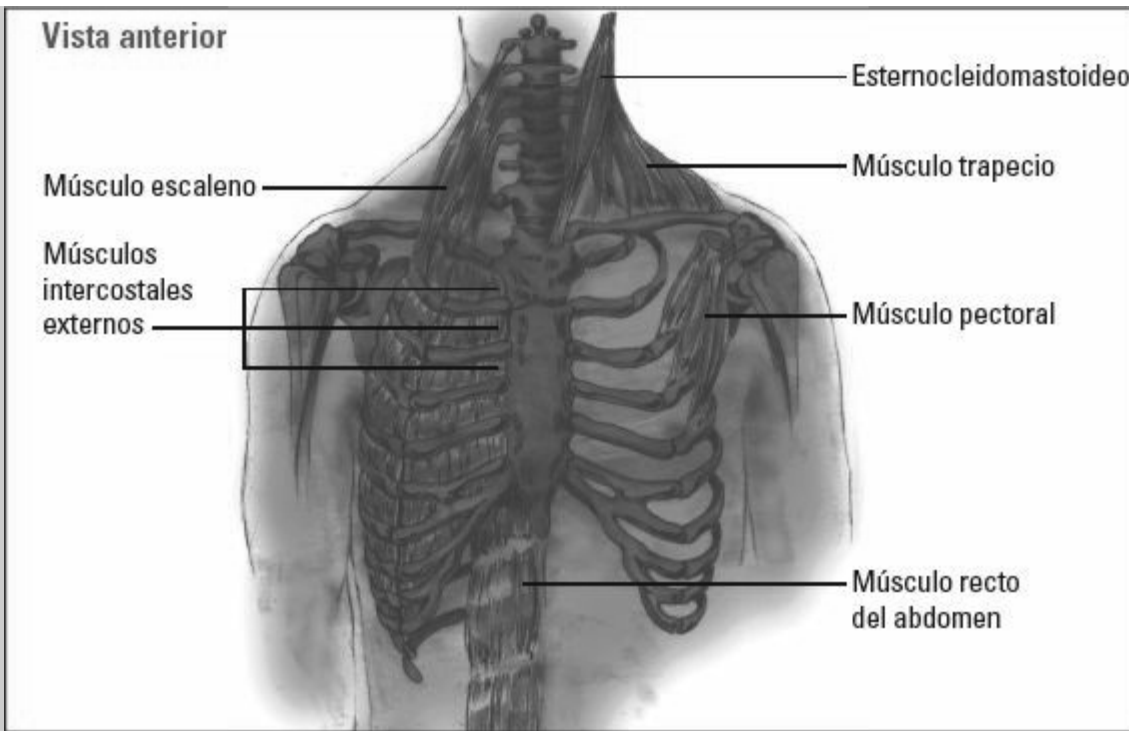
Durante la respiración normal, los músculos intercostales externos ayudan al diafragma, el musculo principal de la respiración. El diafragma desciende para aumentar la longitud de la cavidad torácica, mientras que los músculos intercostales externos (entre los bordes de las costillas) se contraen para aumentar el diámetro anteroposterior. La acción coordinada de los músculos conduce a la disminución de la presión intrapleural, lo que causa la inspiración. Al elevarse el diafragma y relajarse los músculos intercostales, se incrementa la presión intrapleural para dar lugar a la espiración (véase *Músculos de la respiración*, p. 180).



## La máquina perfecta

### Músculos de la respiración

Los músculos de la respiración ayudan a que la cavidad torácica se expanda y contraiga. Las diferencias de presión entre el aire atmosférico y los pulmones dan lugar al movimiento de aire. Estas ilustraciones muestran los músculos que trabajan en conjunto para permitir la inspiración y espiración.



## Inspiración forzada y espiración activa

Durante el ejercicio, el cuerpo necesita mayor oxigenación, así como en ciertas enfermedades. Lo anterior requiere de inspiración forzada y espiración activa, un proceso en el que también participan los músculos de la respiración.



## Inspiración forzada

Durante la inspiración forzada:

- Los músculos pectorales levantan el tórax para aumentar el diámetro anteroposterior.
- El esternocleidomastoideo, en el lado del cuello, levanta el esternón.
- El músculo escaleno eleva, fija y expande el tórax superior.
- El músculo trapecio posterior, en la parte alta de la espalda, levanta la caja torácica.

## Espiración activa

Durante la espiración activa, los músculos intercostales internos se contraen para acortar el diámetro transversal del tórax, mientras que el músculo recto del abdomen tira hacia abajo el tórax inferior para descender las costillas (véase *Mecánica de la ventilación*, p.182).

## Intercambio de gases

La sangre sin oxígeno entra a los pulmones desde el ventrículo derecho del corazón, a través de la arteria pulmonar, y fluye por las arterias pulmonares principales hacia los vasos más pequeños de las cavidades pleurales y bronquios. Después, llega a las arteriolas y redes de capilares en los alvéolos. El intercambio gaseoso, es decir, la difusión de oxígeno y dióxido de carbono, ocurre en los alvéolos.



# Respiración interna y externa

La respiración efectiva consiste en el intercambio gaseoso en los pulmones, denominado *respiración externa*, y el intercambio gaseoso en los tejidos, llamado *respiración interna*.

La respiración interna ocurre sólo mediante difusión. La respiración externa tiene lugar por medio de tres procesos:

1. *Ventilación*: distribución de gas hacia dentro y hacia fuera de las vías aéreas.

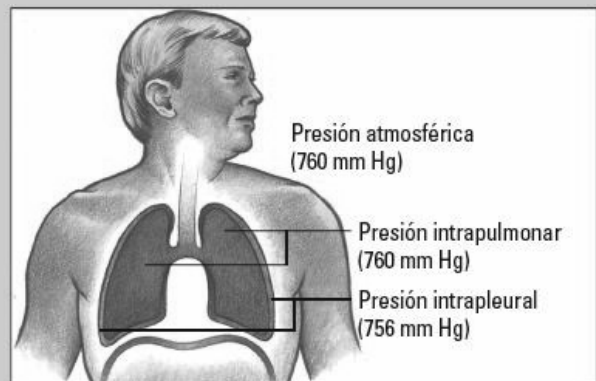
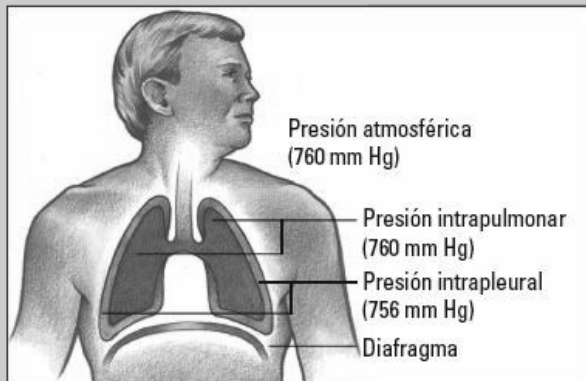


¡Eureka!

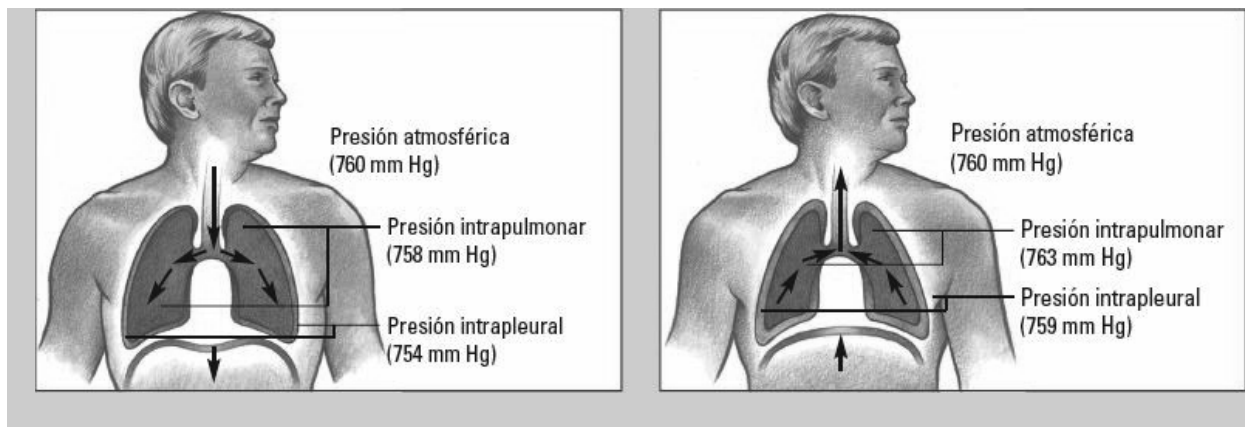
## Mecánica de la ventilación

La respiración es consecuencia de la diferencia entre presión atmosférica y pulmonar, como se explica en seguida.

1. Antes de la inspiración, la presión dentro del pulmón es igual a la atmosférica (cerca de 760 mm Hg). La presión intrapleural es de 756 mm Hg.
2. El gradiente de presión entre la presión atmosférica y la pulmonar introduce aire a los pulmones hasta que las dos se igualan.



3. Durante la inspiración, el diafragma y los músculos intercostales externos se contraen para alargar el tórax, tanto de forma vertical como horizontal. Conforme el tórax se expande, la presión intrapleural disminuye, y los pulmones se expanden para llenar la cavidad torácica que ha aumentado de tamaño.
4. Durante la espiración normal, el diafragma se relaja poco a poco, y los pulmones y tórax regresan a su posición y tamaño en reposo. En la espiración forzada, la contracción de los músculos intercostales y abdominales reduce el volumen del tórax. La compresión de los pulmones y tórax aumenta la presión intrapulmonar a valores mayores que la presión atmosférica.



2. *Perfusión pulmonar*: flujo de sangre desde el lado derecho del corazón, por la circulación pulmonar, y de regreso al lado izquierdo del corazón.
3. *Difusión*: movimiento de gas a través de una membrana semipermeable desde un área de mayor concentración hasta un área de menor concentración.



## Ventilación

La ventilación es la distribución de gases (oxígeno y dióxido de carbono) hacia dentro y hacia fuera de las vías aéreas. Las alteraciones del sistema nervioso, muscular y pulmonar afectan la eficacia de la respiración.

## Influencia del sistema nervioso

La respiración involuntaria es consecuencia de la estimulación del centro respiratorio en el bulbo raquídeo y el puente, en el encéfalo. Los receptores químicos centrales en

el bulbo perciben de manera indirecta la concentración de dióxido de carbono en la sangre. El dióxido de carbono tiene la mayor influencia en la respiración. Cuando aumenta la concentración de dióxido de carbono, también lo hacen la frecuencia y la profundidad de la respiración para eliminar el exceso.

Los receptores químicos periféricos, en la aorta y carótidas, controlan la concentración de oxígeno en sangre. Cuando el oxígeno disminuye, aumentan la frecuencia y profundidad de la respiración para mejorar las concentraciones de oxígeno. Sin embargo, los receptores químicos periféricos son mucho menos sensibles que los receptores centrales, por lo que no responden hasta que la cantidad de oxígeno es muy baja.

## Influencia del sistema muscular

El tórax del adulto es flexible: su forma puede cambiar mediante la acción de los músculos. Lo anterior permite aumentar el volumen de la cavidad torácica. La médula espinal, de manera más importante, controla la ventilación al estimular la contracción del diafragma y los músculos intercostales externos. Estas acciones causan cambios en la presión intrapulmonar para iniciar la inspiración.

## Influencia pulmonar

La distribución del flujo de aire puede verse afectada por muchos factores:

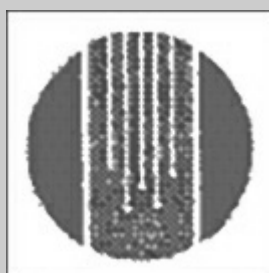
- Patrón del flujo de aire (véase *Comparación de los patrones de flujo de aire*, p. 184)
- Volumen y ubicación de la capacidad residual funcional (aire que permanece en los alvéolos para evitar su colapso en la espiración)
- Cantidad de resistencia intrapulmonar
- Presencia de enfermedades pulmonares

## El camino de menor resistencia

Si se interrumpe el flujo de aire por alguna razón, la distribución del flujo sigue el camino de menor resistencia.

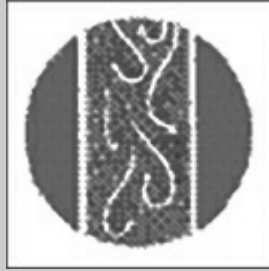
### Comparación de los patrones de flujo de aire

El patrón de flujo de aire a través de las vías respiratorias afecta la resistencia de la vía.



**Flujo laminar**

El flujo laminar es un patrón lineal que se aprecia durante frecuencias respiratorias bajas, y provee resistencia mínima. Este tipo de flujo ocurre, de manera más frecuente, en las vías periféricas del árbol bronquial.



### **Flujo turbulento**

El patrón errante del flujo turbulento crea fricción y aumenta la resistencia. El flujo turbulento es normal en la tráquea y bronquios principales. Si las vías más pequeñas se contraen o se obstruyen con secreciones, también puede haber flujo turbulento en esas zonas.



### **Flujo de transición**

Es un patrón mixto que puede estar presente en frecuencias respiratorias bajas en las vías de mayor tamaño; en particular donde las vías se hacen más angostas debido a obstrucciones, se unen unas con otras o se dividen.

## **Mayor trabajo, menor eficiencia**

Existen otros factores musculares e intrapulmonares que pueden afectar el flujo de aire y, en consecuencia, la respiración. Por ejemplo, la respiración forzada (como en el enfisema) activa los músculos accesorios de la respiración, que necesitan más oxígeno para trabajar. El resultado es que la ventilación es menos eficiente, con mayor carga de trabajo.

## **Interferencia y alteración del flujo de aire**

Otro tipo de alteraciones en el flujo de aire también pueden resultar en un aumento en la demanda de oxígeno y energía, lo que causa fatiga muscular. Estos casos incluyen aquellos que interfieren con la expansión de los pulmones o el tórax (cambios en la distensibilidad), o que interfieren con el flujo de aire en el árbol traqueobronquial (cambios en la resistencia). Ambos conducen a la disminución del volumen corriente y la ventilación alveolar.

### **Perfusión pulmonar**

La *perfusión pulmonar* es el flujo de sangre desde el lado derecho del corazón, a través de la circulación pulmonar, hasta el hemicardio izquierdo. La perfusión ayuda

a la respiración externa. El flujo de sangre normal en los pulmones permite el intercambio gaseoso en los alvéolos, y muchos factores están implicados para asegurar la perfusión adecuada:

- Presión dentro del alvéolo
- Fuerzas gravitatorias
- Presión dentro de arterias y venas



## Emparejamiento de la ventilación con la perfusión

La ventilación y la perfusión difieren en distintas partes de los pulmones. Por ejemplo, la ventilación es mayor en las áreas que están mejor perfundidas, como las bases de los pulmones. Los vértices de los pulmones, la parte superior, necesitan menor perfusión. Por lo tanto, hay menos ventilación. Las áreas donde la perfusión y la ventilación son similares se conocen como zonas de *emparejamiento de la ventilación con la perfusión*. En estas áreas, se alcanza la mayor eficiencia en el intercambio gaseoso (véase *¿Qué pasa en el desemparejamiento de la ventilación con la perfusión?*, p.186).

### Difusión

Durante la difusión, el oxígeno y el dióxido de carbono se mueven entre los alvéolos y capilares. La dirección del movimiento siempre se realiza desde un área de mayor hasta una de menor concentración. En este proceso, el oxígeno atraviesa las membranas del alvéolo y los capilares, se disuelve en el plasma y pasa a través de la membrana del eritrocito. El dióxido de carbono se mueve en dirección contraria.

## Lo interesante de los espacios intersticiales

Las membranas que revisten el alvéolo y los capilares tienen que permanecer intactas. Tanto el epitelio alveolar como el endotelio capilar tienen una sola capa de células. Entre estas capas, hay espacios diminutos llenos de elastina y colágeno. El ensanchamiento de estos espacios puede ralentizar la difusión.

## Desde los eritrocitos hasta los alvéolos

Por lo general, el oxígeno y el dióxido de carbono se mueven fácilmente a través de estas capas. El oxígeno pasa del alvéolo al torrente sanguíneo, donde es recogido por la hemoglobina de los eritrocitos. Cuando el oxígeno llega a la sangre, desplaza dióxido de carbono (el producto del metabolismo), el cual se difunde desde los eritrocitos hasta la sangre y, de ahí, al alvéolo.

## Unirse o no unirse

La mayor parte del oxígeno que es transportado se une a la hemoglobina para formar oxihemoglobina. Sin embargo, una pequeña cantidad de oxígeno se disuelve en el plasma. La porción del oxígeno que se disuelve en el plasma puede medirse como la presión parcial de oxígeno en la sangre arterial,  $P_a$



**¡Eureka!**

### ¿Qué pasa en el desparejamiento de la ventilación con la perfusión?

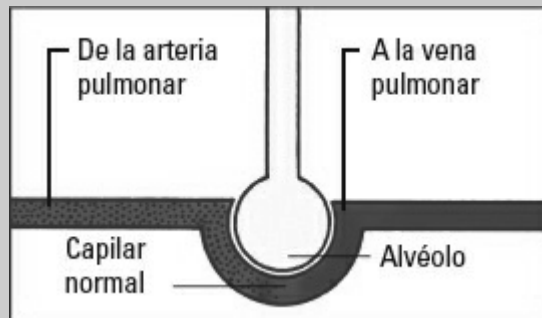
De manera ideal, la cantidad de aire en el alvéolo (un reflejo de la ventilación) es la misma que la cantidad de sangre en los capilares (un reflejo de la perfusión). Lo anterior permite que el intercambio gaseoso se lleve a cabo sin complicaciones.

Sin embargo, esta relación de ventilación y perfusión ( $V/Q$ ) no se encuentra en equilibrio: los alvéolos

reciben aire a una tasa de casi 4 L/min; en cambio, los capilares proveen sangre a una tasa de cerca de 5 L/min. Como consecuencia, existe un desequilibrio V/Q de 4.5, o 0.8.

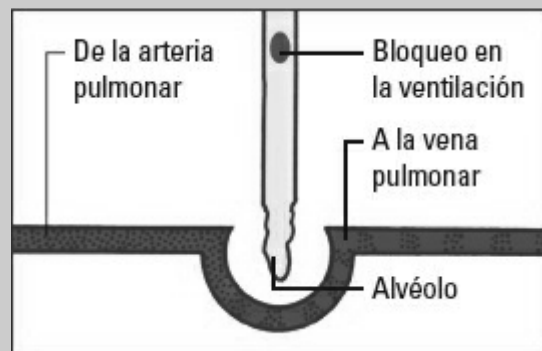
### Normal

En el pulmón normal, la ventilación es similar a la perfusión.



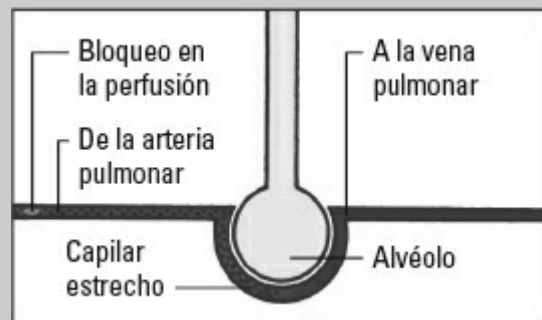
### Espacio muerto

La ventilación normal sin la perfusión adecuada es resultado de un defecto en la perfusión, como una embolia pulmonar.



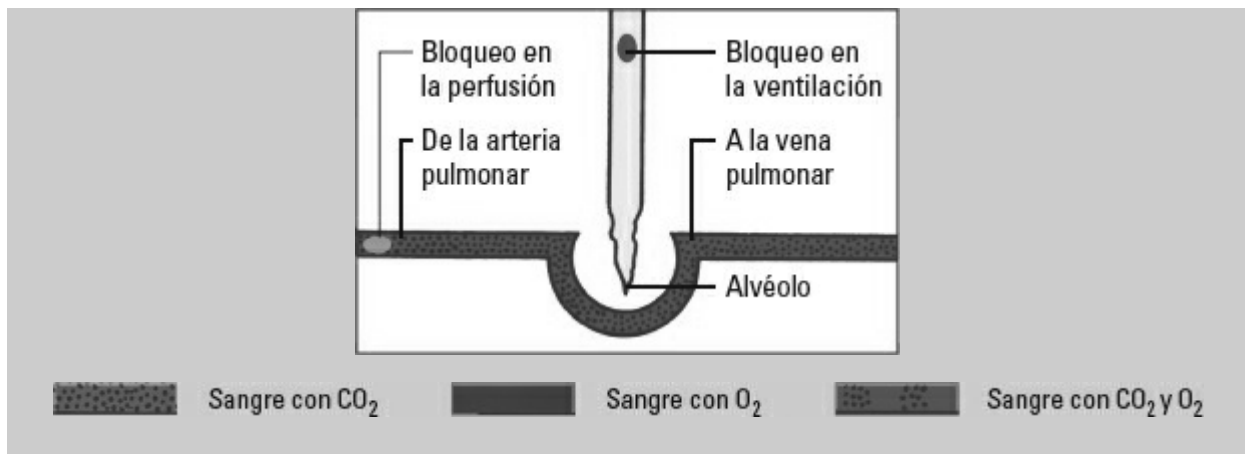
### Cortocircuito

La perfusión sin ventilación adecuada es causada con frecuencia por la obstrucción de las vías aéreas. En especial, es resultado de enfermedades agudas, como la atelectasia y neumonía.



### Unidad no funcional

La ventilación y perfusión deficientes son, con cierta frecuencia, el resultado de muchas causas, como la embolia pulmonar, que produce insuficiencia respiratoria aguda y enfisema.

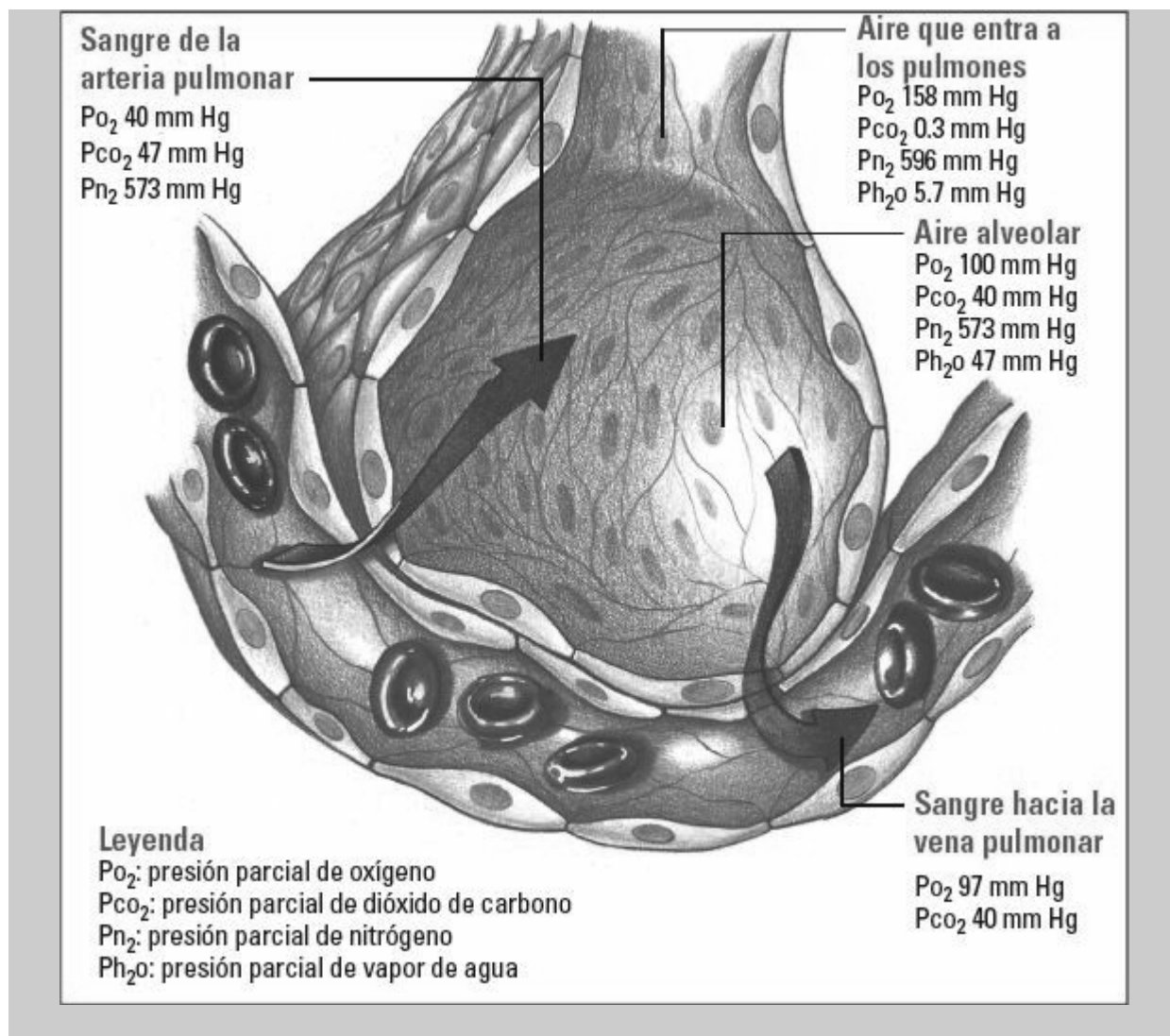


**¡Eureka!**

## Intercambio de gases

El intercambio gaseoso ocurre de forma muy rápida en millones de pequeños alvéolos con membrana delgada, dentro de las unidades respiratorias. Dentro de estas bolsas de aire, se difunde el oxígeno del aire inhalado hacia la sangre, mientras que el dióxido de carbono se difunde desde la sangre hasta el aire que es exhalado. La sangre circula a través del cuerpo para entregar oxígeno y recoger dióxido de carbono. Por último, la sangre regresa a los pulmones para volver a oxigenarse.





Después de que el oxígeno se ha unido a la hemoglobina, los eritrocitos se dirigen a los tejidos. Mediante la difusión celular, tiene lugar la respiración interna, cuando los eritrocitos liberan oxígeno y absorben dióxido de carbono. Los eritrocitos transportan el dióxido de carbono de regreso a los pulmones para que se elimine durante la espiración (véase *Intercambio de gases*).

## Equilibrio acidobásico

El oxígeno que se ha recogido en los pulmones se transporta a los tejidos a través del sistema circulatorio, el cual intercambia este oxígeno por el dióxido de carbono producido en las células como parte del metabolismo. Como el dióxido de carbono es más soluble que el oxígeno, se disuelve en la sangre. En la sangre, la mayor parte del dióxido de carbono forma bicarbonato (base), mientras que una parte menor forma ácido carbónico (ácido).



---

## Respuesta respiratoria

Los pulmones controlan las concentraciones de bicarbonato al convertirlo en dióxido de carbono y agua. El bulbo raquídeo es capaz de enviar señales a los pulmones para que cambien la velocidad y profundidad de la respiración. Este cambio permite que se ajuste la cantidad de dióxido de carbono que se excreta, para así mantener el equilibrio acidobásico.

### Alcalosis respiratoria

Por ejemplo, en la *alcalosis respiratoria* (un trastorno que resulta del exceso de bicarbonato), la velocidad y profundidad de la ventilación disminuyen para permitir que se retenga dióxido de carbono. Como consecuencia, aumentan los valores de ácido carbónico.

### Acidosis respiratoria

En la *acidosis respiratoria* (un trastorno que resulta de la retención excesiva de ácido o de la pérdida excesiva de bicarbonato), los pulmones aumentan la velocidad y profundidad de la ventilación para eliminar el exceso de dióxido de carbono. Como consecuencia, disminuyen los valores de ácido carbónico.



## Mantente en equilibrio

Cuando los pulmones no funcionan de manera adecuada, ocurre un desequilibrio acidobásico. Por ejemplo, los pulmones son capaces de causar acidosis respiratoria a través de la *hipoventilación* (velocidad y profundidad de la ventilación disminuida). El resultado es la retención de dióxido de carbono. Por el contrario, la alcalosis respiratoria se deriva de la *hiperventilación* (aumento en la velocidad y profundidad de la ventilación). El resultado es la eliminación de dióxido de carbono.



## Preguntas de autoevaluación

1. ¿Cuál de las siguientes estructuras es la unidad respiratoria principal para el intercambio gaseoso?
  - A. Acinos
  - B. Alvéolos
  - C. Bronquiolos terminales
  - D. Arterias pulmonares

*Respuesta:* A. El acino es la unidad respiratoria principal para el intercambio gaseoso.

2. ¿Cuántos lóbulos tiene el pulmón derecho?

- A. Seis
- B. Dos
- C. Tres
- D. Uno

*Respuesta:* C. El pulmón derecho tiene tres lóbulos.

3. Durante el intercambio gaseoso externo, la difusión de oxígeno y dióxido de carbono ocurre en:

- A. Vénulas
- B. Alvéolos
- C. Eritrocitos
- D. Tejidos del cuerpo

*Respuesta:* B. En el intercambio gaseoso externo, la difusión de oxígeno y dióxido de carbono ocurre en los alvéolos.

4. Cuando el oxígeno atraviesa el alvéolo para llegar a la sangre, se une con la hemoglobina para formar:

- A. Eritrocitos
- B. Dióxido de carbono
- C. Nitrógeno
- D. Oxihemoglobina

*Respuesta:* D. Cuando el oxígeno atraviesa el alvéolo para llegar a la sangre, se une con la hemoglobina para formar oxihemoglobina.

---

## Puntuación

- ☆☆☆ Si contestaste cuatro preguntas de manera correcta, ¡extraordinario! Toma un respiro. Has contestado muy bien a los estímulos del aparato respiratorio.
- ☆☆ Si respondiste tres preguntas de manera acertada, ¡fascinante! Estás navegando en las vibrisas como un torbellino.
- ☆ Si contestaste menos de tres preguntas de manera correcta, encuentra tu inspiración. Es momento de un segundo aire.



**¡Diviértete!**

Acomoda las palabras de la izquierda para descubrir qué sucede cuando el cuerpo necesita aumentar la oxigenación. Después, dibuja líneas para unir cada proceso con la respuesta muscular adecuada.

RAISINPOINC ZODRAAF

-----  
-----

PEANISCRIO VATICA

-----  
-----

- A. Los músculos pectorales levantan el tórax para aumentar el diámetro anteroposterior.
- B. Los músculos intercostales internos se contraen para acortar el diámetro transversal del tórax.
- C. El músculo escaleno eleva, fija y expande el tórax superior.
- D. El músculo trapecio posterior, en la parte alta de la espalda, levanta la caja torácica.
- E. El músculo recto del abdomen tira el tórax inferior hacia abajo para descender las costillas.
- F. El esternocleidomastoideo eleva el esternón.

Respuesta: INSPIRACIÓN FORZADA: A, C, D, F; ESPIRACIÓN ACTIVA: B, E

---

## Bibliografía

- American Lung Association. (2016). *How lungs work*. Tomado de: <http://www.lung.org/lung-health-and-diseases/how-lungs-work/>
- American Thoracic Society. (2016). *Anatomy and function of the normal lung*. Tomado de: <https://www.thoracic.org/copd-guidelines/for-patients/anatomy-and-function-of-the-normal-lung.php>
- Barrow, A., & Pandit, J. (2014). Lung ventilation and the physiology of breathing. *Surgery*, 32(5), 221–227. doi: 10.1016/j.mpsur.2014.02.010. ISSN: 0263-9319.
- Canadian Cancer Society. (2016). *Anatomy and physiology of the lung*. Tomado de: <http://www.cancer.ca/en/cancer-information/cancer-type/lung/anatomy-and-physiology/?region=on>
- Forbes, H., & Watt, E. (2015). *Jarvis's physical examination and health assessment* (2nd ed.). Australia: Elsevier.
- McCance, K., & Huether, S. (2010). *Pathophysiology: The biologic basis for disease in adults and children* (6th ed.). Maryland Heights, MO: Mosby.
- Palmer, B. (2012). Evaluation and treatment of respiratory alkalosis. *American Journal of Kidney Disease*, 60(5), 834–838. doi: 10.1053/j.ajkd.2012.03.025.
- Qureshi, S. (2015). Measurement of respiratory function: An update on gas exchange. *Anesthesia & Intensive Care Medicine*, 16(2), 68–73. doi: 10.1016/j.mpaic.2014.11.005.

# Capítulo 12

## Aparato digestivo

### Objetivos



En este capítulo aprenderás:

- ◆ Los dos componentes principales del aparato digestivo
- ◆ Fases de la digestión
- ◆ Funciones de las hormonas del aparato digestivo
- ◆ Sitios de producción y mecanismos de secreción gástrica

## Una mirada al aparato digestivo



El aparato digestivo tiene dos componentes principales, el *tubo digestivo (gastrointestinal)* y los *órganos accesorios*.

El tubo digestivo tiene dos funciones principales:

1. *Digestión*: degradación de alimentos y líquidos en sustancias químicas simples que puedan absorberse en el torrente sanguíneo y transportarse por todo el cuerpo.
2. *Excreción*: eliminación de desechos a través de las heces.

## Tubo digestivo

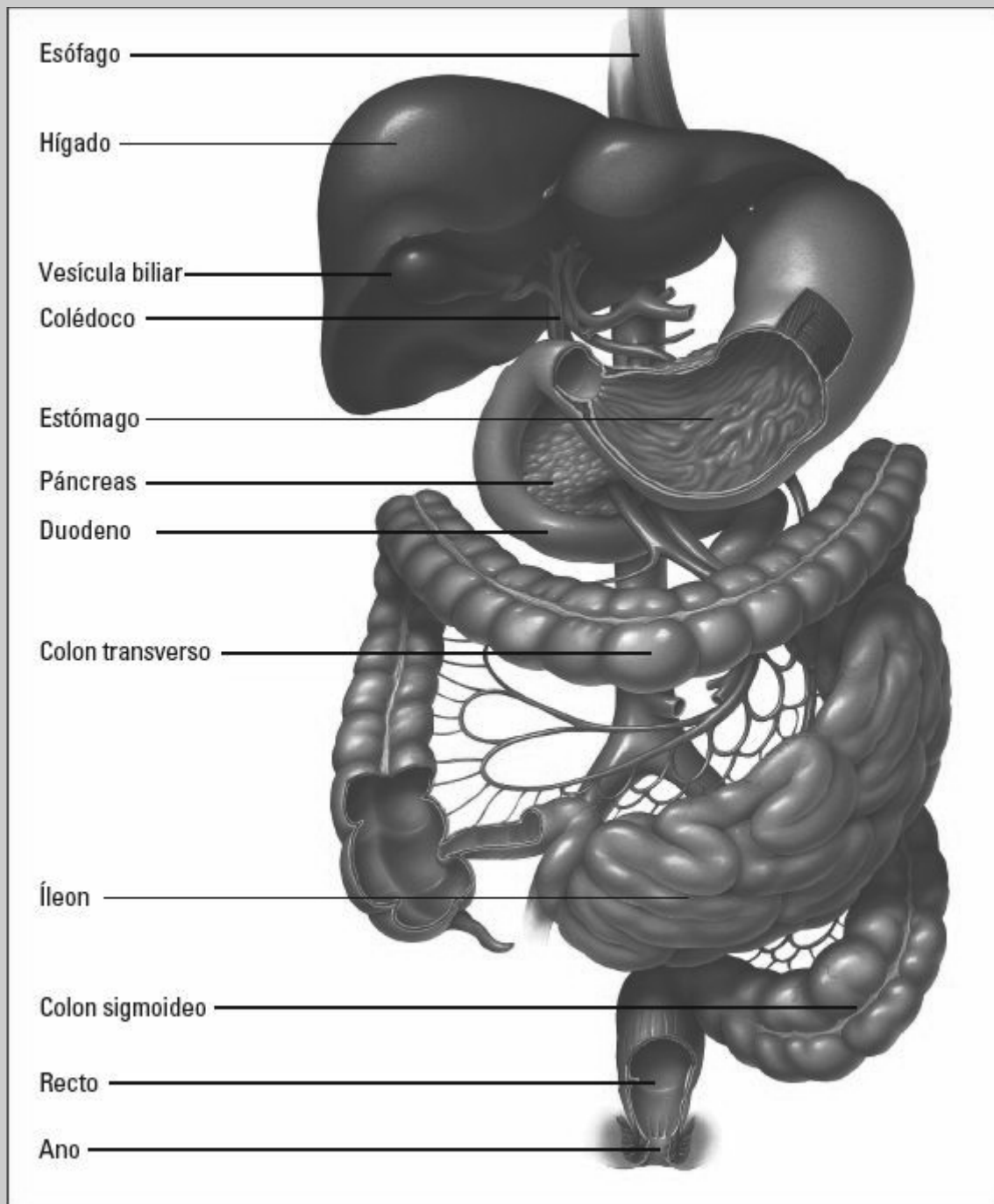
El *tubo digestivo* es un tubo hueco que comienza en la boca y se extiende hasta el ano. Incluye la faringe, el esófago, el estómago, el intestino delgado y el intestino grueso (véase *Estructuras del aparato digestivo*, p.192). La pared del tubo digestivo está compuesta por diferentes capas.



## La máquina perfecta

### Estructuras del aparato digestivo

El aparato digestivo incluye el tubo digestivo (faringe, esófago, estómago e intestinos) y los órganos accesorios (hígado, sistema de conductos biliares y páncreas). Estas estructuras se ilustran a continuación.







---

## Boca

La boca (también denominada *cavidad bucal*) está delimitada por los labios, mejillas, paladar (techo de la boca) y lengua. Contiene los dientes. La boca está conectada mediante conductos con los tres principales pares de glándulas salivales: parótidas, submandibulares y sublinguales.

Estas glándulas secretan saliva para humedecer los alimentos durante la masticación. La boca inicia la degradación mecánica de la comida (véase *Cavidad bucal*, p. 194).

---

## Faringe

La *faringe* es la cavidad que se extiende desde la base del cráneo hasta el esófago. Este órgano facilita la deglución al recibir y movilizar los alimentos hacia el esófago. Cuando la comida entra en la faringe, la epiglotis (una lámina de tejido conectivo) se cierra sobre la tráquea para prevenir la broncoaspiración.

---

## Esófago

El *esófago* es un tubo muscular que se extiende desde la faringe, a través del mediastino, hasta el estómago. La deglución desencadena el paso de los alimentos desde la faringe hasta el esófago. El esfínter cricofaríngeo, un esfínter en el borde superior del esófago, debe relajarse para que la comida entre al esófago. El peristaltismo propulsa líquidos y sólidos a través del esófago hacia el estómago.

---

## Estómago

El *estómago* es una estructura con forma de bolsa, colapsable, que se ubica en la

porción superior izquierda de la cavidad abdominal, por debajo del diafragma. En su borde superior se une a la porción inferior del esófago. La superficie lateral del estómago se denomina *curvatura mayor*, mientras que la superficie medial es la *curvatura menor*.

## El tamaño sí importa

El tamaño del estómago varía de acuerdo con el grado de distensión. El comer en exceso puede causar una clara distensión, lo que empuja al diafragma. Como resultado, se percibe dificultad en la respiración.

## Los cuatro fantásticos

El estómago tiene cuatro regiones principales:

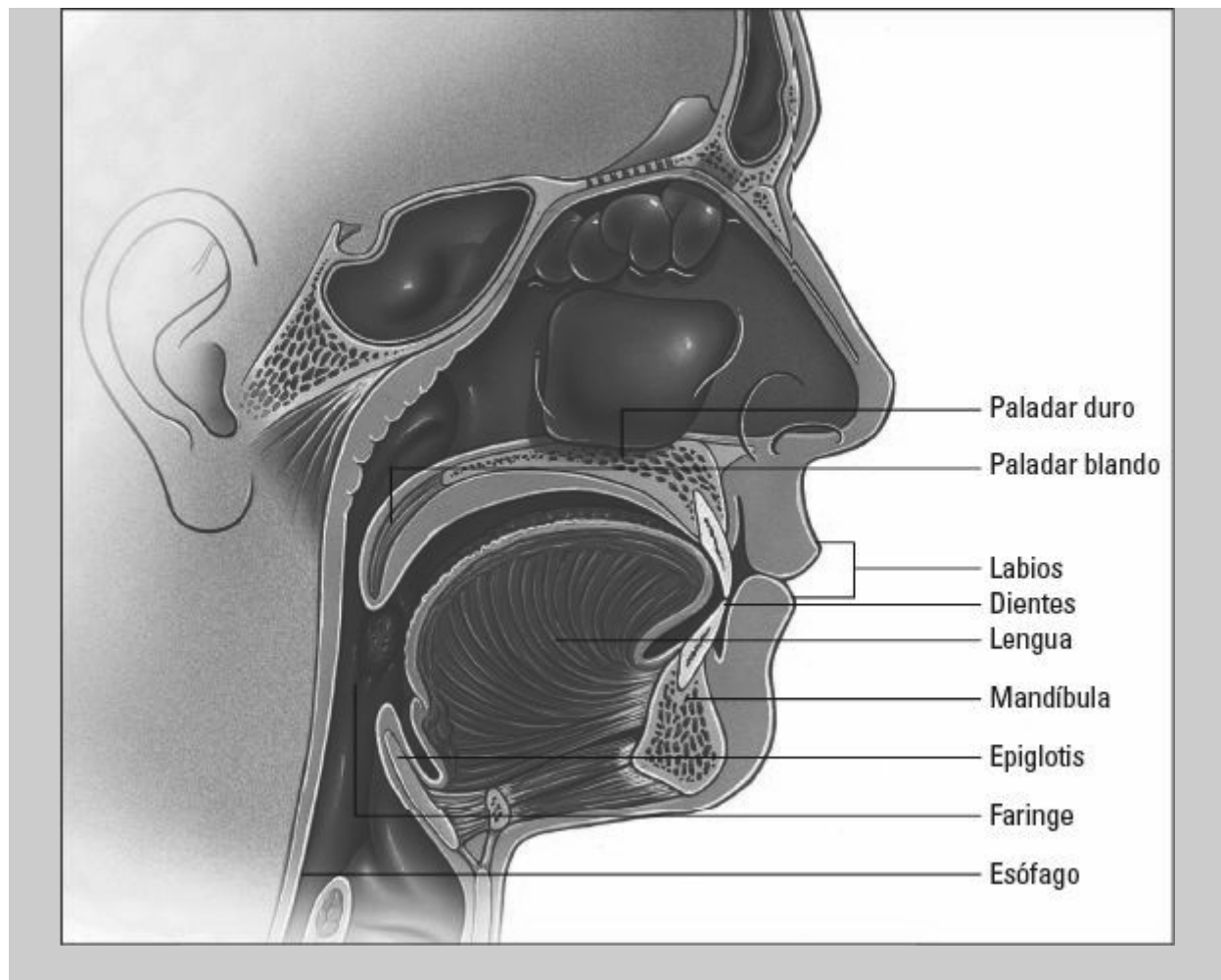
1. El *cardias* se ubica cerca de la unión entre el estómago y el esófago.
2. El *fondo* es una porción ensanchada arriba y a la izquierda de la abertura esofágica del estómago.
3. El *cuerpo* es la porción medial del estómago.
4. El *píloro* es la porción inferior. Se ubica cerca de la unión del estómago y el duodeno.



## La máquina perfecta

### Cavidad bucal

La boca, o cavidad bucal, está delimitada por los labios, mejillas, paladar (techo de la boca) y lengua. La boca inicia la degradación mecánica de los alimentos.



## De pasada

El estómago tiene varias funciones:

- Servir como medio de almacenamiento temporal de los alimentos
- Iniciar la digestión
- Degradar los alimentos en *quimo*, una sustancia semilíquida
- Mover el contenido gástrico al intestino delgado

El intestino delgado es una estructura que mide cerca de 6 m de longitud. Es el órgano más largo del tubo digestivo.



---

## Intestino delgado

El *intestino delgado* es un tubo que mide cerca de 6 m de largo. Es el órgano más largo del tubo digestivo y tiene tres divisiones principales:

- El *duodeno* es la parte más corta y superior.
- El *yeyuno* es la porción media.
- El *íleon* es la porción más larga e inferior (véase *Una mirada a las células especiales*, p. 196).

### Pared intestinal

La pared intestinal tiene características estructurales que incrementan su superficie de absorción de manera importante. Estas características incluyen las *válvulas conniventes*, que son pliegues circulares en la mucosa intestinal, o el revestimiento de la membrana mucosa.

## Bellos vellos

Las vellosidades y microvellosidades son otras estructuras de la pared intestinal que incrementan el área de absorción. Las *vellosidades* son proyecciones en forma de dedos de la mucosa. Las *microvellosidades* son proyecciones diminutas de citoplasma en la superficie de las células epiteliales.



### Otras estructuras

El intestino delgado también contiene criptas intestinales, placas de Peyer y glándulas de Brunner:

- Las *criptas intestinales* son glándulas simples incrustadas en los surcos que separan vellosidades.
- Las *placas de Peyer* son conglomerados de tejido linfático dentro de la submucosa.
- Las *glándulas de Brunner* secretan moco.

### Funciones

Funciones del intestino delgado:

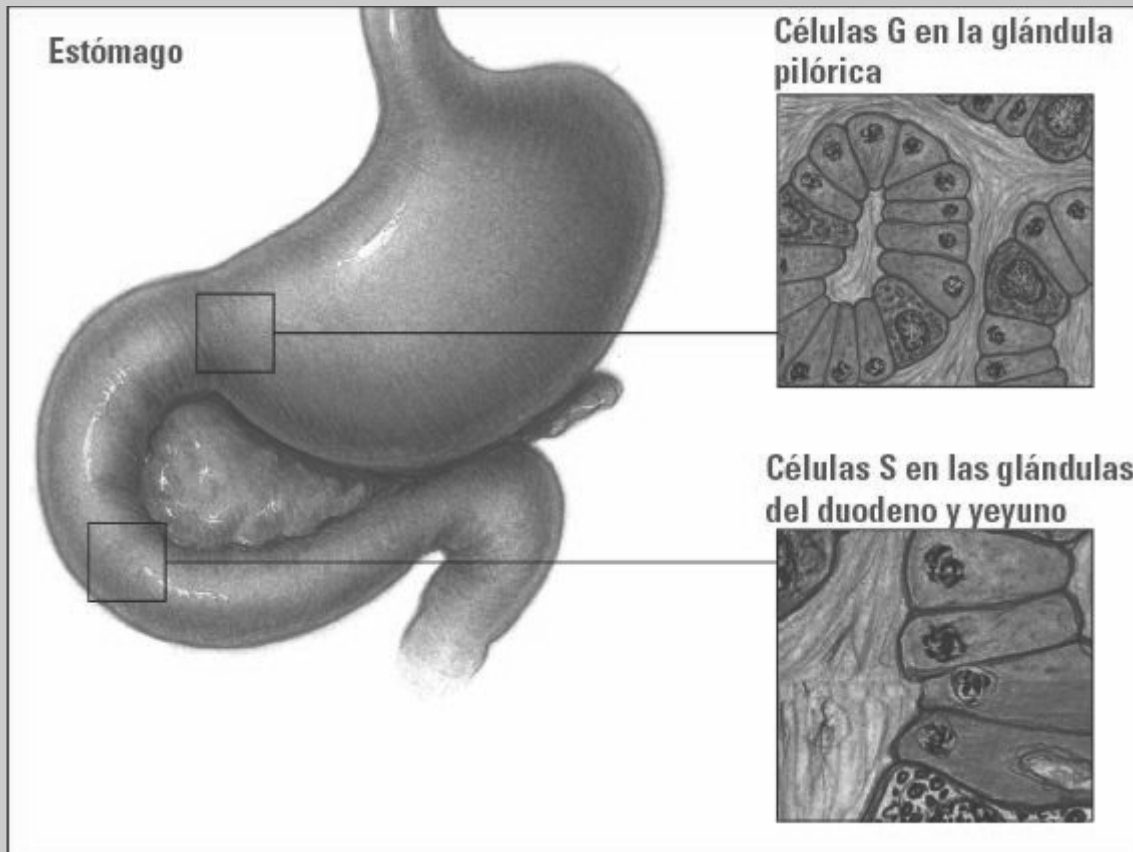
- Completa la digestión de alimentos.
- Absorbe moléculas de alimentos a través de la pared del intestino y las envía al sistema cardiovascular, el cual las lleva a todas las células del cuerpo.
- Secreta hormonas que ayudan a controlar la secreción de bilis, líquido pancreático y líquido intestinal.



## Zoom

### Una mirada a las células especiales

Este corte del estómago muestra las células G (que secretan gastrina) dentro de las glándulas pilóricas. El corte del duodeno y yeyuno muestra a las células S (que liberan secretina) en las glándulas del duodeno y yeyuno.



---

## Intestino grueso

El intestino grueso se extiende desde la válvula ileocecal (la válvula entre el íleon del intestino delgado y el primer segmento del intestino grueso) hasta el ano. Tiene seis segmentos:

1. El *ciego*, una estructura similar a un saco que compone los primeros centímetros del intestino.
2. El *colon ascendente*, que se eleva desde la pared abdominal posterior derecha y gira de forma abrupta debajo del hígado, en la flexura hepática.
3. El *colon transverso* se ubica sobre el intestino delgado. Pasa de manera horizontal a través del abdomen, debajo del hígado, el estómago y el bazo. En el

ángulo cólico izquierdo, también conocido como *ángulo esplénico*, gira hacia abajo

4. El *colon descendente* inicia cerca del bazo y se extiende hacia abajo a la izquierda del abdomen para entrar en la cavidad pélvica.
5. El *colon sigmoideo* desciende por la cavidad pélvica, donde se convierte en el recto.
6. El *recto*, los últimos centímetros del intestino grueso, termina en el *ano*, la abertura externa del intestino grueso que permite la eliminación de desechos.

## Funciones

Las funciones del intestino grueso incluyen absorción de agua, secreción de moco y eliminación de desechos de la digestión.

---

## Estructuras de la pared del tubo digestivo

La pared del tubo digestivo está compuesta por diferentes capas. Estas capas son la mucosa, submucosa, capa muscular y peritoneo visceral.

### Mucosa

La *mucosa* es la capa más interna, también llamada *túnica mucosa*. Consta de células de superficie y epiteliales y tejido conectivo. Las *vellosidades*, proyecciones de la mucosa en forma de dedos, secretan jugo gástrico y jugos protectores, además de absorber nutrientes.

### Submucosa

La *submucosa*, también denominada *túnica submucosa*, envuelve la mucosa. Se compone de tejido conectivo laxo, sangre, vasos linfáticos y una red de nervios conocida como *plexo submucoso* o *plexo de Meissner*.

### Capa muscular

La *capa muscular*, o *túnica muscularis*, se encuentra alrededor de la submucosa. En la boca, la faringe y la parte superior del esófago, está conformada por músculo esquelético.

## Fibras por todos lados

En cualquier otra parte del tubo digestivo, la capa muscular se compone de fibras de músculo liso longitudinales o circulares. Durante el peristaltismo, las fibras longitudinales acortan la longitud de la luz, mientras que las circulares lo estrechan. En algunos puntos del tubo digestivo, las fibras musculares circulares se engrosan para formar esfínteres.

## Bolsillos para todo

En el intestino grueso, las fibras musculares se unen para formar tres bandas (tenias) a lo largo del colon. Estas bandas arrugan el intestino y forman bolsas conocidas como *haustros*.

## Entre más redes, mejor

Entre las dos capas musculares se encuentra otra red de nervios, el *plexo mientérico* o *plexo de Auerbach*. La pared del estómago tiene una tercera capa hecha de fibras musculares oblicuas (véase *Características del tubo digestivo*).

---

## Peritoneo visceral

El *peritoneo visceral* es la cubierta externa del tubo digestivo. Cubre la mayor parte de los órganos abdominales y se encuentra junto a otra capa idéntica, el *peritoneo parietal*, el cual cubre la cavidad abdominal.



## Pliegues de dos capas

El peritoneo visceral se convierte en pliegues de dos capas alrededor de los vasos sanguíneos, nervios y vasos linfáticos. Se une al yeyuno e íleon en la pared posterior



del abdomen para evitar una posible torsión. Un pliegue parecido fija el colon transversal a la pared posterior del abdomen.

## El peritoneo visceral tiene muchos nombres

El peritoneo visceral es llamado de diferentes maneras. En el esófago y el recto se denomina *adventicia*. En cualquier otra parte del tubo digestivo se conoce como *serosa*.

---

## Inervación del tubo digestivo

La distensión del plexo submucoso estimula la transmisión de señales nerviosas hacia el músculo liso, lo que inicia el peristaltismo y las contracciones que mezclan los alimentos.

### Estimulación parasimpática

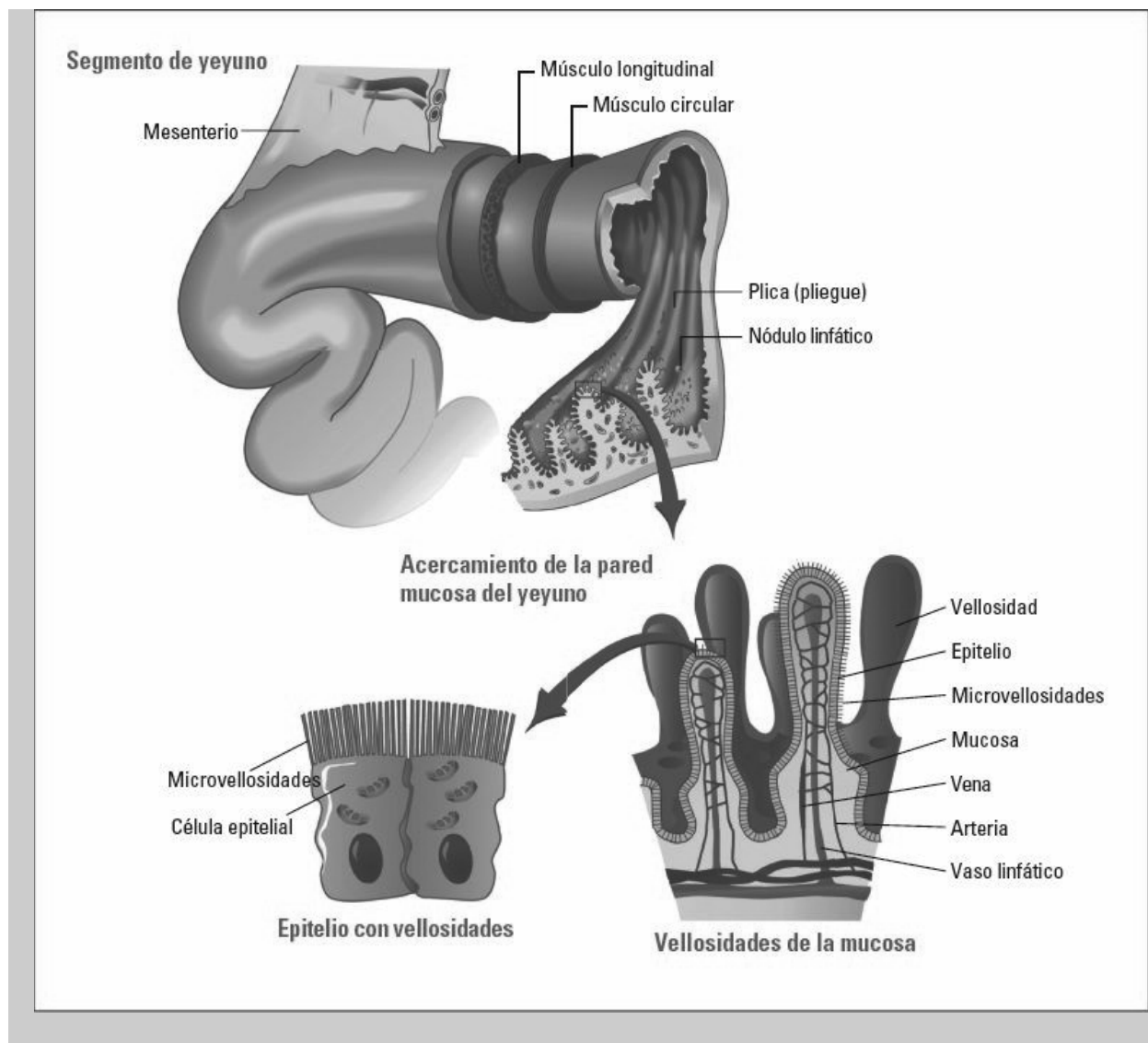
La estimulación parasimpática del nervio vago (en la mayoría de los intestinos) y los nervios espinales sacros (en el colon descendente y el recto) incrementa el tono intestinal y de los esfínteres. También aumenta la frecuencia, fuerza y velocidad de las contracciones del músculo liso, así como la actividad motora y secretora.



### Zoom

#### Características del tubo digestivo

Varias capas (mucosa, submucosa y muscular) conforman la pared del tubo digestivo. La ilustración muestra la anatomía celular de la pared e incluye características especiales, como las vellosidades, peritoneo, músculos y la red nerviosa.



### Estimulación simpática

La estimulación simpática, mediante los nervios espinales de los niveles T6 a L2, disminuye el peristaltismo e inhibe la actividad gastrointestinal.

## Órganos accesorios del aparato digestivo

Los órganos accesorios del aparato digestivo (hígado, vesícula biliar y páncreas) aportan hormonas, enzimas y bilis, sustancias indispensables para la digestión.



---

## Hígado

El hígado, la glándula más grande del cuerpo, está muy vascularizado. Pesa cerca de 1.4 kg y está encapsulado en tejido fibroso en el cuadrante superior derecho del abdomen. El *epiplón menor* es un pliegue de peritoneo que cubre la mayor parte del hígado. Se une a la curvatura menor del estómago. A través del epiplón menor, pasan la arteria hepática, la vena porta hepática, el colédoco y las venas hepáticas.

### Lóbulos y lobulillos

El hígado tiene cuatro lóbulos:

- Izquierdo
- Derecho
- Caudado (detrás del lóbulo derecho)
- Cuadrado (detrás del lóbulo izquierdo)

## Función

Los *lobulillos*, la unidad funcional del hígado, se componen de células hepáticas, los *hepatocitos*, que rodean una vena central e irradian hacia la periferia. Cada lámina de hepatocitos es separada una de otra mediante los *sinusoides*, el sistema capilar del hígado. Las células fagocíticas de forma estrellada (células de Kupffer) revisten los sinusoides y eliminan bacterias y toxinas que han alcanzado la sangre a través de los capilares del intestino (véase *Una mirada al lobulillo hepático*).

## Circulación

Los sinusoides llevan sangre oxigenada desde la arteria hepática. Además, llevan

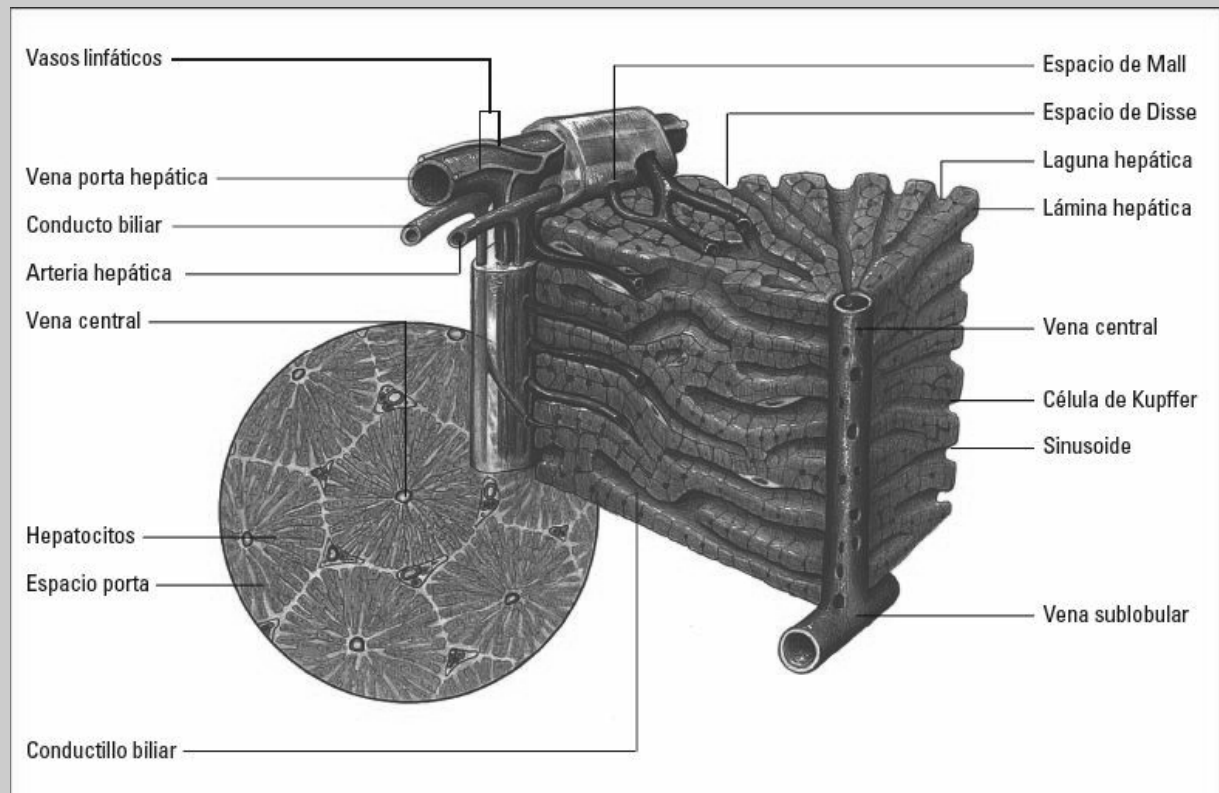
nutrientes desde la vena porta. La sangre sin oxígeno sale por la vena central, fluye por las venas hepáticas y alcanza la vena cava inferior.



## Zoom

### Una mirada al lobulillo hepático

La unidad funcional del hígado es el *lobulillo*. Consiste en una lámina de células hepáticas, o hepatocitos, que rodean una vena central e irradian hacia la periferia. Cada lámina de hepatocitos se encuentra separada una de otra por los *sinusoides*, el sistema capilar del hígado. Los sinusoides llevan sangre oxigenada desde la arteria hepática y nutrientes desde la vena porta.



### Conductos

Los conductos pueden compararse con un sistema de tren subterráneo que transporta bilis a través del tubo digestivo. La *bilis* es un líquido de color verde que se compone de agua, colesterol, sales biliares y fosfolípidos. Sale a través de conductos biliares que se unen en los conductos hepáticos derecho e izquierdo. Ambos forman el conducto hepático común. Este conducto se une al conducto cístico de la vesícula biliar, y forma el colédoco (conducto biliar común), que desemboca en el duodeno.

### Descripción del puesto

El hígado tiene diferentes funciones importantes:

- Tiene una función importante en el metabolismo de los hidratos de carbono.

- Elimina varias sustancias tóxicas, endógenas y exógenas del plasma.
- Sintetiza proteínas del plasma, aminoácidos no esenciales y vitamina A.
- Almacena nutrientes esenciales, como las vitaminas K, D y B<sub>12</sub>, y hierro.
- Elimina amoníaco de los líquidos corporales y lo convierte en urea para desecharla en la orina.
- Ayuda a regular la glucemia mediante el almacenamiento y liberación de glucosa de acuerdo con las demandas del cuerpo.
- Secreta bilis.
- Procesa hemoglobina para que pueda utilizarse el hierro que contiene.
- Regula la coagulación.



### Función de la bilis

La bilis tiene varias funciones:

- Emulsifica (degrada) grasas.
- Promueve la absorción intestinal de ácidos grasos, colesterol y otros lípidos.

### Sin rastro de las sales biliares

Cuando las sales biliares están ausentes del tubo digestivo, los lípidos se excretan y las vitaminas liposolubles se absorben de manera deficiente.

### Producción de bilis

El hígado recicla cerca del 80% de las sales biliares. Las sales biliares se combinan

con pigmentos biliares, que resultan de la degradación de eritrocitos (biliverdina y bilirrubina) y colesterol. El hígado secreta continuamente bilis alcalina. La producción de bilis puede aumentar después de la estimulación del nervio vago, la liberación de secretina, el incremento del flujo sanguíneo en el hígado o la presencia de grasas en el intestino (véase *Hormonas gastrointestinales: producción y función*).

---

## Vesícula biliar

La *vesícula biliar* es un órgano en forma de pera que está unido a la superficie anterior del hígado mediante el conducto cístico. Está cubierta por peritoneo visceral.

### A trabajar

La vesícula biliar almacena y concentra la bilis producida por el hígado. También libera bilis en el colédoco (la unión del conducto cístico y el conducto hepático común) para que pueda alcanzar el duodeno con la contracción y relajación del esfínter de Oddi.



¡Eureka!

### Hormonas gastrointestinales: producción y función

Cuando son estimuladas, las estructuras gastrointestinales secretan cuatro hormonas. Cada hormona tiene una función diferente durante la digestión.

| Hormona y sitio de producción                                   | Factor estimulante   | Función  |
|---|--|--|
| <b>Gastrina</b><br>Antro pilórico y mucosa del duodeno          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Distensión del antro pilórico</li> <li>• Estimulación del nervio vago</li> <li>• Productos de la digestión de proteínas</li> <li>• Alcohol</li> </ul> | Estimula la secreción y motilidad gástrica   |
| <b>Péptido inhibidor gástrico</b><br>Mucosa de duodeno y yeyuno | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ácido gástrico</li> <li>• Lípidos</li> <li>• Productos de la digestión de lípidos</li> </ul>  | Inhibe la secreción y motilidad gástrica   |
| <b>Secretina</b><br>Mucosa de duodeno y yeyuno                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ácido gástrico</li> <li>• Productos de la digestión de lípidos</li> <li>• Productos de la digestión de proteínas</li> </ul>                           | Estimula la secreción de bilis y líquido pancreático alcalino  |
| <b>Colecistocinina</b><br>Mucosa de duodeno y yeyuno            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Productos de la digestión de lípidos</li> <li>• Productos de la digestión de proteínas</li> </ul>   | Estimula la contracción de la vesícula biliar y la secreción de líquido pancreático con enzimas abundantes |

## Páncreas

El *páncreas* es un órgano algo plano que se ubica detrás del estómago. Su cabeza y cuello se extienden hacia la curvatura del duodeno, mientras que su cola se posa sobre el bazo (véase *Una mirada a la vía biliar*, p. 204). Tiene funciones tanto exocrinas como endocrinas.

### Funciones exocrinas

El páncreas exocrino incluye células dispersas que secretan más de 1 000 mL de enzimas digestivas por día. Los lóbulos y lobulillos de conglomerados (*acinos*) de células que producen enzimas liberan sus secreciones en conductos que se unen para formar el conducto pancreático.

## Para recordar

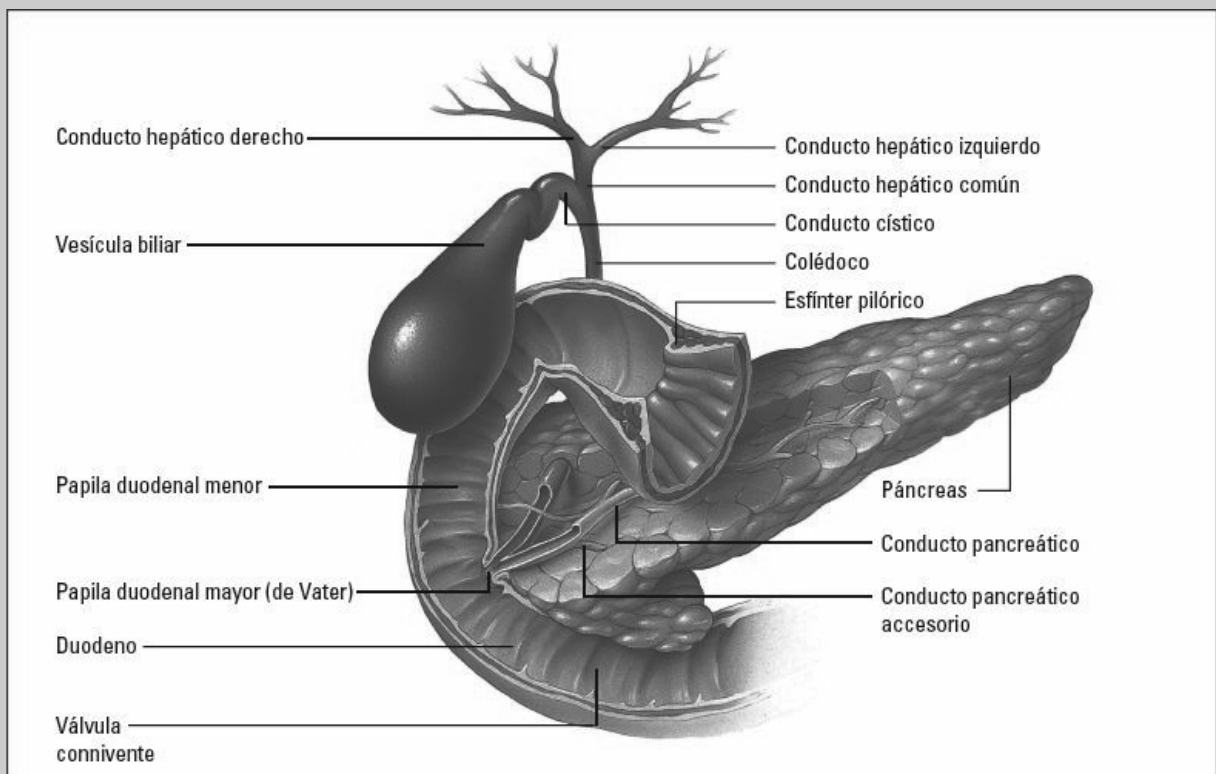
Para recordar la diferencia entre exocrino y endocrino, recuerda que **ex**ocrino se refiere al **exterior**, y **end**ocrino se refiere al **interior**.



## La máquina perfecta

### Una mirada a la vía biliar

Juntos, la vesícula biliar y el páncreas forman la vía biliar. Las estructuras de la vía biliar se muestran en la siguiente ilustración.



### Funciones endocrinas

La función endocrina del páncreas se lleva a cabo en los islotes de Langerhans, que están ubicados entre las células acinares.

### $\alpha$ , $\beta$ , pero sin $\omega$

Existen dos tipos de células de los islotes pancreáticos:  $\alpha$  y  $\beta$ . Estas células pueden encontrarse en los más de un millón de islotes. Las células  $\beta$  secretan *insulina* para facilitar el metabolismo de los hidratos de carbono. Por su parte, las células  $\alpha$  secretan *glucagón*, una hormona que estimula la glucogenólisis en el hígado. Ambas hormonas fluyen de manera directa a la sangre. La glucemia estimula su liberación.

### Conducto pancreático

A lo largo de todo el páncreas, transcurre el *conducto pancreático* y se une al



conducto biliar de la vesícula biliar justo antes de entrar al duodeno. La estimulación del nervio vago y la liberación de secretina y colecistocinina controlan la velocidad y cantidad de la secreción pancreática.



## Digestión y excreción

La digestión inicia en la cavidad bucal, donde ocurren la masticación, la salivación (inicio de la digestión de almidón) y la deglución.

Cuando una persona deglute, el esfínter hipofaríngeo, en la parte superior del esófago, se relaja para permitir que los alimentos entren al esófago (véase *¿Qué pasa durante la deglución?*, p. 206).

### El camino hacia el estómago

En el esófago, el nervio glossofaríngeo activa el peristaltismo. Este movimiento lleva los alimentos hacia el estómago. A medida que la comida pasa por el estómago, las glándulas de la mucosa del esófago secretan moco con el propósito de lubricar el bolo y proteger la mucosa de posibles daños causados por los alimentos masticados de

forma inadecuada.

---

## Fase cefálica de la digestión

Cuando el bolo de alimentos está en su viaje hacia el estómago, ya ha iniciado la *fase cefálica de la digestión*. En esta fase, el estómago secreta jugos digestivos (ácido clorhídrico [HCl] y pepsina).

---

## Fase gástrica de la digestión

Una vez que los alimentos entran al estómago a través del esfínter del cardias, las paredes del estómago se estiran. Lo anterior estimula el inicio de la fase gástrica de la digestión. Durante esta fase, la distensión de la pared del estómago estimula la liberación de *gastrina*.

### Gastrina

La gastrina se encarga de activar la función motora del estómago y la secreción de jugo gástrico de las glándulas gástricas. Las secreciones gástricas son muy ácidas (pH de 0.9-1.5); constan sobre todo de pepsina, HCl, factor intrínseco y enzimas proteolíticas (véase *Sitios de producción y mecanismos de secreción gástrica*, p. 207).

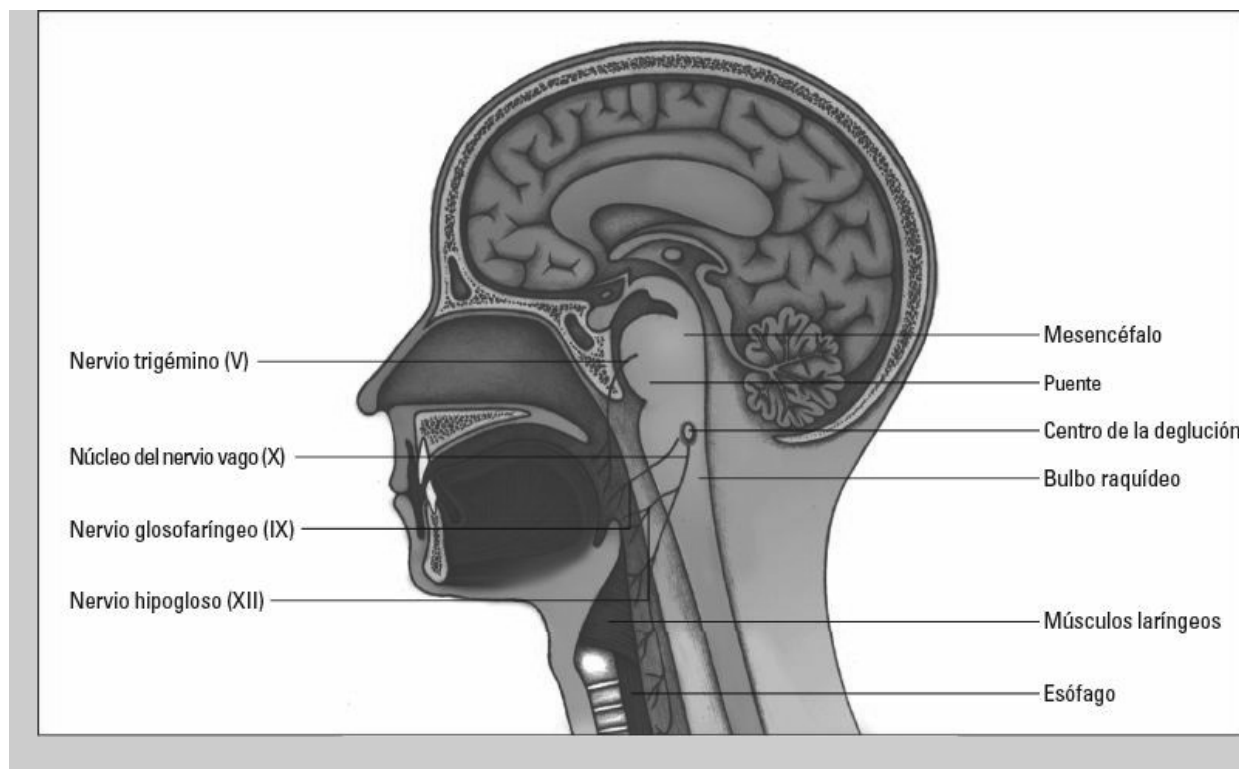


**¡Eureka!**

### ¿Qué pasa durante la deglución?

Antes de que pueda iniciar el peristaltismo, debe ocurrir un patrón neuronal que active la deglución. Este proceso se describe e ilustra a continuación:

- Los alimentos que tocan la parte posterior de la boca estimulan las zonas de receptores para la deglución que rodean la abertura de la faringe.
- Estas zonas de receptores transmiten impulsos al encéfalo mediante las porciones sensitivas de los nervios trigémino y glossofaríngeo.
- El centro de la deglución del encéfalo envía impulsos motores al esófago a través del trigémino, el vago y el hipogloso. Como consecuencia, inicia la deglución.



## Fase intestinal de la digestión

Por lo general, excepto en el caso del alcohol, se absorben sólo pequeñas cantidades de alimentos en el estómago. Las contracciones peristálticas separan la comida en pequeñas partículas y la mezclan con el jugo gástrico para formar el *quimo*. Después, las ondas peristálticas más fuertes mueven el quimo hacia el antro, donde se acumula en el esfínter pilórico antes de poder entrar al duodeno. Este último paso es lo que activa la fase intestinal de la digestión.



¡Eureka!

### Sitios de producción y mecanismos de secreción gástrica

El cuerpo del estómago se ubica entre el esfínter esofágico inferior, o cardias, y el esfínter pilórico. Entre estos esfínteres están el fondo, el cuerpo, el antro y el píloro. Estas áreas tienen gran variedad de células de la mucosa que ayudan al estómago a llevar a cabo sus funciones.

#### Glándulas y secreciones gástricas

Las glándulas del cardias, píloro y estómago secretan de 2-3 L de jugo gástrico desde las criptas gástricas todos los días. A continuación, todos los detalles:

- Tanto las *glándulas del cardias* (cerca del esfínter esofágico inferior) como las *glándulas pilóricas* (cerca del píloro) secretan moco poco viscoso.
- Las *glándulas gástricas* (en el cuerpo y fondo del estómago) secretan ácido clorhídrico (HCl), pepsinógeno, factor intrínseco y moco.

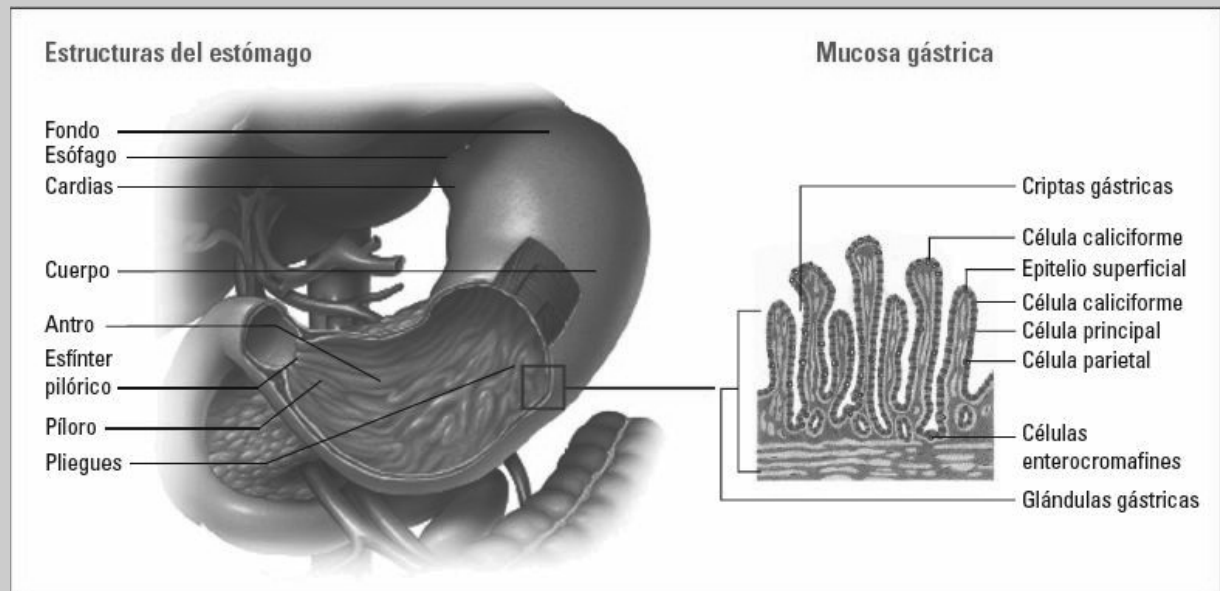
#### El estómago se protege a sí mismo

Las glándulas gástricas, las criptas gástricas y el epitelio de superficie están revestidas por células

especializadas. En el cuello de las glándulas gástricas, las células caliciformes producen moco. Las células caliciformes en el epitelio de la superficie producen moco alcalino. Ambas sustancias lubrican los alimentos y protegen al estómago de la autoingestión (de enzimas corrosivas).

### Otras secreciones

Las células enterocromafines producen *gastrina*, que estimula la secreción y motilidad gástrica. Las *células principales* producen pepsinógeno, que degrada proteínas a polipéptidos. El ácido clorhídrico y el factor intrínseco son secretados por células parietales grandes que están dispersas en el fondo gástrico. El ácido clorhídrico degrada el pepsinógeno, mantiene el ambiente ácido e inhibe el crecimiento de bacterias. El factor intrínseco se encarga de la absorción de vitamina B<sub>12</sub> en el intestino delgado.



### Vaciamiento del estómago

La velocidad a la que se vacía el estómago depende de varios factores, como la liberación de gastrina, las señales neuronales que se generan cuando se expande el estómago, además del *reflejo enterogástrico*. En esta reacción, el duodeno libera secretina y péptido inhibidor gástrico, mientras que el duodeno secreta colecistocinina. Todo lo anterior actúa para disminuir la motilidad gástrica.

### Intestino delgado

El intestino delgado tiene la mayor carga de trabajo en la absorción y digestión (véase *Intestino delgado: la forma afecta la función*).

¡Sólo es necesario  
olfatear! Los  
jugos digestivos  
son secretados  
como respuesta  
a estímulos como  
el olfato, gusto,  
masticación o al  
pensar en comida.



## Delgado pero trabajador

En el intestino delgado, las contracciones intestinales y varias secreciones digestivas desintegran los hidratos de carbono, proteínas y lípidos. Como resultado, la mucosa intestinal es capaz de absorber estos nutrientes en el torrente sanguíneo, junto con agua y electrólitos. A partir de este momento, los nutrientes están a disposición del cuerpo para utilizarse.

Cuando el quimo ha pasado por el intestino delgado hacia el colon ascendente, ya se ha reducido a sustancias que no pueden digerirse.

### Intestino grueso

El bolo de alimento inicia su camino por el intestino grueso, donde se unen el íleo y el ciego en el pliegue ileocecal. Después, el bolo se dirige hacia arriba por el colon ascendente hasta llegar al borde inferior del hígado. Cruza la pared abdominal, por

debajo del hígado y el estómago, a través del *colon transverso*. Luego desciende por el lado izquierdo de la cavidad abdominal hacia la fosa ilíaca, por el *colon descendente*.

## El viaje continúa

A partir de este punto, el bolo viaja por el colon sigmoideo hacia la porción inferior de la cavidad abdominal, de ahí al recto y, para concluir, al ano. El ano logra abrirse al exterior mediante dos esfínteres. El *esfínter interno* tiene fibras de músculo liso gruesas y circulares que se controlan de manera autónoma. El *esfínter externo* contiene fibras de músculo estriado que se controlan de manera voluntaria.

### *Absorción de líquidos*

El intestino grueso no produce hormonas o enzimas digestivas; sin embargo, continúa el proceso de absorción. La mitad proximal del intestino grueso absorbe todos los días casi toda el agua del colon gracias a sus vasos linfáticos y sanguíneos en la submucosa, excepto cerca de 100 mL. También absorbe grandes cantidades de sodio y cloruro.



¡Eureka!

### Intestino delgado: la forma afecta la función

Casi toda la absorción y digestión se realizan en los 6 m de intestino delgado. La estructura del intestino delgado, como se muestra abajo, es la clave para la digestión y absorción. Las proyecciones múltiples de la mucosa intestinal aumentan el área de la superficie de absorción cientos de veces, como se muestra en la vista aumentada de abajo a la izquierda.

Los pliegues conniventes están cubiertos de vellosidades. Cada vellosidad tiene un vaso linfático, una vénula, capilares, una arteriola, fibras nerviosas y músculo liso.

Todas las vellosidades tienen en su superficie cerca de 2 000 microvellosidades, lo que le da una apariencia similar a un cepillo. Estas vellosidades están revestidas con células epiteliales que entran en la lámina propia entre cada vellosidad para constituir glándulas intestinales (*criptas de Lieberkühn*).

#### Tipos de células epiteliales

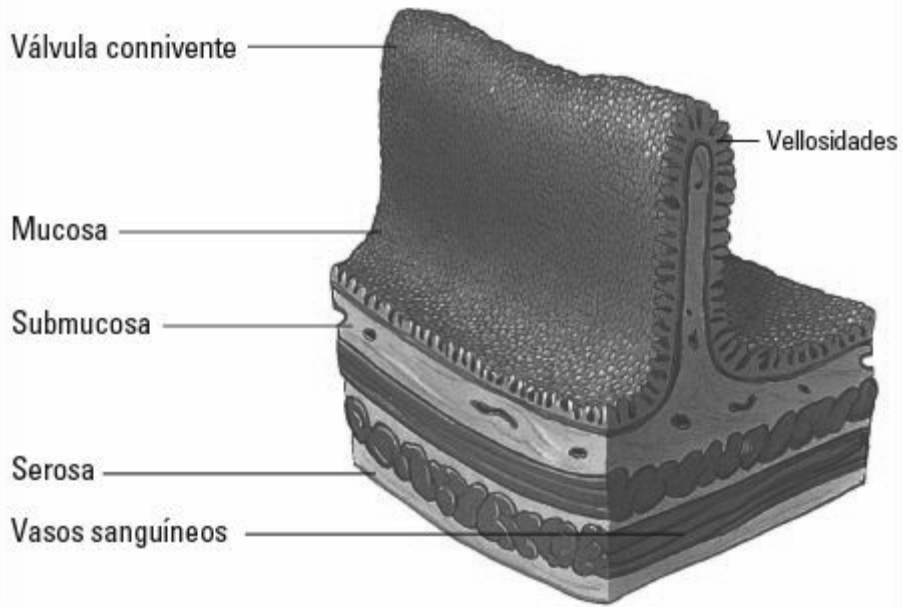
El tipo de célula epitelial determina su función. Las células caliciformes secretan moco y se encuentran sobre y entre las vellosidades en las criptas de la mucosa. En el duodeno proximal, las glándulas de Brunner especializadas también secretan mucho moco para lubricar y proteger el duodeno del quimo, potencialmente corrosivo y ácido, y el jugo gástrico.

Las *células enterocromafines* en el duodeno producen secretina y colecistocinina. Las *células indiferenciadas* que están en la profundidad de las glándulas intestinales se encargan de renovar el epitelio. Los enterocitos se componen de muchas microvellosidades agrupadas de manera compacta en una membrana celular que contiene mecanismos de transporte para la absorción; además, son capaces de producir enzimas para la etapa final de la digestión.

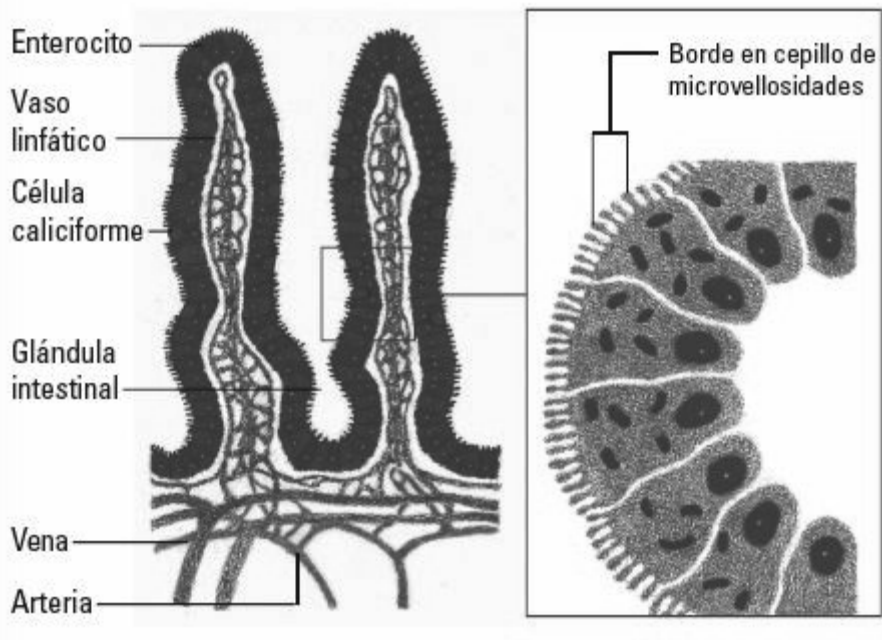
#### Glándulas intestinales

Las glándulas intestinales secretan, sobre todo, un líquido que cubre las vellosidades con partículas de quimo. La producción de líquido es consecuencia de la irritación de células nerviosas y, posiblemente, de la estimulación hormonal por parte de la secretina y colecistocinina. El borde en cepillo de microvellosidades secreta diferentes hormonas y enzimas digestivas que catalizan la degradación final de nutrientes.

### Corte transversal de la pared intestinal



### Mucosa intestinal



### ***Función de las bacterias***

El intestino grueso alberga *Escherichia coli*, *Enterobacter aerogenes*, *Clostridium perfringens* y *Lactobacillus bifidus*. Todas estas bacterias ayudan a la síntesis de vitamina K y degradan celulosa en un hidrato de carbono que sí se puede utilizar. Las bacterias también son responsables del meteorismo, el cual ayuda a propulsar las heces hacia el recto.



## La mucosa se prepara

La mucosa del intestino grueso produce *secreciones alcalinas* mediante glándulas cilíndricas compuestas por células caliciformes. Estas sustancias alcalinas lubrican la pared intestinal a medida que los alimentos pasan por el intestino. Así, la mucosa queda protegida frente a la acción bacteriana.

## Movimientos masivos

En el colon inferior, las contracciones largas y lentas generan ondas de propulsión que desplazan el bolo fecal. Por lo general, ocurren varias veces al día a fin de empujar el contenido intestinal al recto y producir el deseo de defecar.

La defecación es resultado del *reflejo de defecación*, una respuesta parasimpática y sensitiva. También interviene la relajación voluntaria del esfínter anal externo (véase *Cambios gastrointestinales relacionados con la edad*).



## La tercera edad

### Cambios gastrointestinales relacionados con la edad

Los cambios fisiológicos que acompañan al envejecimiento son menos incapacitantes en el aparato digestivo que en los demás sistemas, debido a que el tubo digestivo tiene buenas reservas funcionales. Sin embargo, como otros sistemas que cambian con la edad, sí muestra una reducción de la producción de nuevas células, que conlleva mayor riesgo de daño tisular. Los cambios normales incluyen disminución de la elasticidad de la mucosa y reducción de las secreciones gastrointestinales. Por lo tanto, se alteran algunos procesos, como la digestión y absorción. La motilidad del tubo digestivo, el tono de la pared



intestinal y los esfínteres y la fuerza de los músculos abdominales también se deterioran con la edad. Cualquiera de estos cambios puede causar molestias en los pacientes mayores, desde pérdida del apetito hasta estreñimiento. Además, la incidencia de cáncer gastrointestinal aumenta con la edad, en especial en el estómago y colon.

También hay cambios en la cavidad bucal. El esmalte de los dientes se desgasta, que vuelve los dientes vulnerables a la caries. Aumenta la incidencia de enfermedades periodontales, pero disminuye el número de papilas gustativas. El sentido del olfato se debilita, y disminuye la secreción de las glándulas salivales. El resultado es la pérdida del apetito.

### **Cambios en el hígado**

Los cambios fisiológicos en el hígado incluyen disminución del peso hepático, reducción de la capacidad regenerativa y menor flujo sanguíneo hacia el hígado. Como disminuye la cantidad de enzimas que participan en la oxidación y reducción, el hígado metaboliza fármacos y elimina sustancias tóxicas de manera menos eficiente con la edad.



## **Preguntas de autoevaluación**

1. ¿Cuál de las estructuras del aparato digestivo completa la digestión?

- A. Estómago
- B. Vesícula biliar
- C. Intestino delgado
- D. Intestino grueso

**Respuesta:** C. El intestino delgado completa el proceso de digestión.

2. Es una de las funciones del hígado:

- A. Regular la secreción de gastrina
- B. Almacenar vitamina B<sub>6</sub>, C y E
- C. Almacenar plasma, proteínas e hidratos de carbono
- D. Eliminar del plasma varias sustancias tóxicas, endógenas y exógenas

**Respuesta:** D. Además de muchas otras funciones, el hígado es responsable de eliminar del plasma sustancias tóxicas, endógenas y exógenas.

3. ¿Cuál de estas hormonas estimula la secreción y motilidad gástrica?

- A. Gastrina
- B. Péptido inhibidor gástrico
- C. Secretina
- D. Colecistocinina

**Respuesta:** A. La gastrina se produce en el antro pilórico y en la mucosa del duodeno. Estimula la secreción y motilidad gástrica.

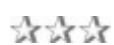
4. En esta fase, el estómago secreta jugo digestivo (ácido clorhídrico y pepsina):

- A. Cefálica
- B. Gástrica
- C. Intestinal
- D. Vaciamiento del estómago

**Respuesta:** A. Cuando el bolo alimentario se encuentra en su viaje hacia el estómago, ya ha iniciado la fase cefálica de la digestión. Esta es la fase en la que el estómago secreta jugos digestivos.

---

## **Puntuación**



Si contestaste cuatro preguntas de manera correcta, ¡bravo! Has pasado a

Lic. Gavino

305

- COMPARTIR NO TIENE LÍMITES -

través del aparato digestivo sin problemas.

- ☆☆ Si respondiste tres preguntas de manera acertada, ¡perfecto! Has masticado este aparato hasta los huesos. Es momento de continuar.
- ☆ Si contestaste menos de tres preguntas de forma correcta, no te preocupes. Puede tomarte un poco de tiempo digerir toda esta información.



## ¡Diviértete!

Ordena las siguientes palabras para descubrir los nombres de las capas de la pared del tubo digestivo. Después, dibuja líneas para unir cada línea con sus características.

CAMSOU

-----

SCUBASUMO

-----

PACA ACURLMUS

-----

-----

- A. La capa más interna.
- B. Se encuentra alrededor de la submucosa.
- C. También denominada *túnica submucosa*.
- D. También denominada *túnica mucosa*.
- E. Consta de células de superficie y epiteliales y tejido conectivo.
- F. Se compone de tejido conectivo laxo, sangre, vasos linfáticos y una red de nervios.
- G. Tiene proyecciones similares a dedos conocidas como *vellosidades*.
- H. Envuelve la mucosa.
- I. En la boca, faringe y parte superior del esófago, está conformada por músculo esquelético. En las demás partes del tubo digestivo, está formada por fibras de músculo liso circulares y longitudinales.

Respuesta: MUCOSA: A, D, E, G; SUBMUCOSA: C, F, H; TUNICA MUSCULAR: B, I

---

## Bibliografía

McCance, K. L., & Huether, S. E. (2015). *Pathophysiology: The biologic basis for disease in adults and children*. Tomado de: <https://books.google.com/books>. ISBN No.: 0323293751.

Lic. Gavino

306

- COMPARTIR NO TIENE LÍMITES -

# Capítulo 13

## Nutrición y metabolismo

### Objetivos



En este capítulo aprenderás:

- ◆ La función de hidratos de carbono, proteínas y lípidos
- ◆ Las funciones de las vitaminas y minerales
- ◆ La forma en la que la glucosa se convierte en energía
- ◆ La función de las hormonas en el metabolismo

### Nutrición

La *nutrición* es la ingesta, asimilación y empleo de los nutrientes. Los principales nutrientes en los alimentos deben degradarse en compuestos que pueda utilizar el cuerpo. Dentro de las células, los productos de la digestión sufren aún más reacciones químicas.

El *metabolismo* es la suma de estas reacciones químicas. A través del metabolismo, las sustancias en los alimentos son transformadas en energía o materiales que el cuerpo puede almacenar o utilizar.

El metabolismo implica dos procesos:

1. *Anabolismo*: la síntesis de sustancias complejas a partir de sustancias simples.
2. *Catabolismo*: la degradación de sustancias complejas en sustancias simples.

Lo necesario para la nutrición

El cuerpo necesita un aporte continuo de agua y otros nutrientes para crecer y repararse. Casi todos los nutrientes se obtienen de los alimentos ingeridos. Los tres principales tipos de nutrientes que requiere el cuerpo son hidratos de carbono, proteínas y lípidos.



Lo necesario para el metabolismo

Las *vitaminas* son necesarias para el metabolismo normal. Pueden contribuir a la realización de reacciones enzimáticas que facilitan el metabolismo de hidratos de carbono, proteínas y lípidos. Los *minerales* también son importantes; participan en funciones tan trascendentes como el metabolismo de enzimas y la transferencia de elementos esenciales a través de la membrana celular.

---

## Hidratos de carbono

Los *hidratos de carbono* son compuestos orgánicos constituidos de hidrógeno, carbono y oxígeno que se convierten en glucosa en el cuerpo, y brindan 4 kcal/g cuando se utilizan como fuente de energía.

¿Simple o complejo?

Los hidratos de carbono se catalogan como simples o complejos. Los hidratos de carbono *simples* incluyen los azúcares en frutas, vegetales, lácteos y alimentos elaborados con azúcar refinada. Aumentan la glucemia de manera muy rápida. Los hidratos de carbono *complejos* son los almidones y fibras que se encuentran en pan, granos y frijoles (judía/poroto). Aumentan la glucemia de manera más lenta que los hidratos de carbono simples.

Mono, di y poli

Los azúcares se clasifican como monosacáridos, disacáridos y polisacáridos. Son hidratos de carbono que funcionan como la primera fuente de energía del cuerpo.

La energía en los nutrientes se mide en kilocalorías, aunque la mayoría de las veces se les llama "calorías". Los adultos necesitan entre 1 600 y 2 800 calorías todos los días, de acuerdo con su edad, estatura, peso y actividad física.



## Monosacáridos

Los *monosacáridos* son azúcares simples que no pueden separarse en formas más pequeñas mediante hidrólisis. Se dividen en polihidroxialdehídos o polihidroxicetonas en función de si tienen un grupo aldehído o un grupo cetona en su molécula.

### Enlaces OH

Un aldehído contiene el característico grupo CHO. El término *polihidroxi* se refiere a la unión de átomos de carbono a un grupo hidroxilo (OH).

### Enlaces CO

Una *cetona* contiene el grupo carbonilo, CO, unido a grupos de carbono.

## Disacáridos

Los *disacáridos* se sintetizan a partir de los monosacáridos. Una molécula de disacárido se forma de dos monosacáridos, menos una molécula de agua. Algunos ejemplos de disacáridos son:

- *Sacarosa*: es el azúcar común en las mesas. Se encuentra en frutas y vegetales; consiste en la combinación de una molécula de glucosa y una de fructosa.
- *Lactosa*: es el azúcar que encontramos en la leche; es la combinación de una molécula de glucosa y una de galactosa.
- *Maltosa*: es el azúcar que se utiliza en la destilación y elaboración de cerveza; es la combinación de dos moléculas de glucosa.

## Polisacáridos

Como los disacáridos, los *polisacáridos* se crean a partir de monosacáridos. Un polisacárido se compone de una cadena larga (*polímero*) de más de diez monosacáridos unidos por enlaces glucosídicos. Los polisacáridos que se ingieren se degradan en azúcares simples para emplearse como fuente de energía. El glucógeno es un ejemplo de polisacárido. El cuerpo produce glucógeno mediante el uso del exceso de azúcar (monosacáridos) y lo almacena para emplearlo en el futuro. Cuando las reservas de glucógeno están llenas, el hígado convierte el exceso en grasa.

La fibra es otro ejemplo de un polisacárido, pero no puede degradarse a azúcares más simples. En consecuencia, el cuerpo no puede obtener energía de la fibra.

---

## Proteínas

Las *proteínas* son compuestos orgánicos nitrogenados complejos que contienen cadenas de aminoácidos. Algunos de estos contienen sulfuro y fósforo. Las proteínas se utilizan con mucha frecuencia en el crecimiento y reparación de los tejidos corporales. Cuando se utilizan para proveer energía, proporcionan 4 kcal/g. Algunas proteínas se combinan con los lípidos para formar lipoproteínas o con hidratos de carbono para formar glucoproteínas.

## Aminoácidos

Los *aminoácidos* son los “ladrillos” con los que se construyen las proteínas. Cada aminoácido contiene un átomo de carbono al que se une un grupo carboxilo (COOH) y un grupo amino.

Los aminoácidos son los "ladrillos" con los que se construyen las proteínas.



### El enlace que nos une

Los aminoácidos se unen mediante la condensación del grupo COOH de un aminoácido con el grupo amino del aminoácido adyacente. Esta reacción libera una molécula de agua y crea una unión que se denomina *enlace peptídico*.

### La forma y su función

La secuencia y los tipos de aminoácidos en una cadena determinan la función de una proteína. Cada proteína se sintetiza en el ribosoma en forma de cadena lineal. Las atracciones químicas entre los aminoácidos en diferentes partes de la cadena provocan que la cadena se pliegue o gire en una conformación específica. La forma de una proteína, a su vez, determina su función.



## Para recordar

Recuerda las tres P de las proteínas:

**P**éptido = 2-10 aminoácidos

Polipéptido = 10 o más aminoácidos

Proteína = 50 o más aminoácidos

---

## Lípidos

Los *lípidos* son compuestos orgánicos que no se disuelven en agua, pero que sí lo hacen en alcohol y otros solventes orgánicos. Los lípidos son un tipo concentrado de combustible para el cuerpo, pues brindan 9 kcal/g. Los principales lípidos incluyen grasas (los lípidos más comunes) y esteroides.

## Grasas

Un triglicérido contiene tres moléculas de ácidos grasos combinadas con una molécula de glicerol. Un ácido graso se compone de una cadena de átomos de carbono, hidrógeno y algunos átomos de oxígeno. Las cadenas de ácidos grasos varían en longitud. Las cadenas largas de ácidos grasos (12 carbonos o más) son habituales en la mayoría de las grasas de los alimentos.

### Glicerol

El *glicerol*, por ejemplo, es un compuesto de tres carbonos (alcohol) con un grupo OH unido a cada átomo de carbono. El grupo COOH en cada molécula de ácido graso se une a un grupo OH de la molécula de glicerol. Lo anterior da lugar a la liberación de una molécula de agua. La unión de los grupos COOH y OH produce una unión de tipo éster.

## Fosfolípidos

Los *fosfolípidos* son lípidos complejos similares a las grasas, pero con un grupo que contiene fósforo y nitrógeno que sustituye una de las moléculas del ácido graso. Los fosfolípidos son el componente estructural principal de la membrana celular.

## Esteroides

Los *esteroides* son moléculas complejas en las que los átomos de carbono forman cuatro estructuras cíclicas unidas en diferentes sitios de la cadena. No contienen moléculas de glicerol ni ácidos grasos. Algunos ejemplos de esteroides son el colesterol, sales biliares y hormonas sexuales.

---

## Vitaminas y minerales

Las vitaminas son compuestos orgánicos necesarios en pequeñas cantidades para el metabolismo, crecimiento y desarrollo. Las vitaminas se catalogan como *hidrosolubles* y *liposolubles*.





Es cosa de todos los días

Las vitaminas hidrosolubles no se almacenan en el cuerpo, por lo que deben consumirse todos los días. El complejo vitamínico B y la vitamina C son ejemplos de vitaminas hidrosolubles.

Guardadas, pero nunca olvidadas

Las vitaminas liposolubles se disuelven en agua antes de que el torrente sanguíneo las absorba. El exceso de vitaminas liposolubles se almacena en el hígado y otros tejidos. En consecuencia, no es necesario ingerirlas a diario. Las vitaminas liposolubles son A, D, E y K (véase *Guía de las vitaminas y minerales*, p. 218-220).

## Minerales

Los minerales son sustancias inorgánicas que desempeñan una función importante en los siguientes rubros:

- Metabolismo de enzimas
- Transporte a través de la membrana celular
- Regulación del equilibrio acidobásico
- Presión osmótica

- Contractilidad muscular
- Transmisión del impulso nervioso
- Crecimiento

Los minerales están en los huesos, la hemoglobina, la tiroxina, los dientes y otros órganos. Se catalogan como *macrominerales* (más del 0.005% del peso corporal) y *microminerales* (menos del 0.005% del peso corporal). Los macrominerales incluyen el calcio, cloruro, magnesio, fósforo, potasio y sodio. Los microminerales incluyen cinc, cobalto, cobre, cromo, flúor, hierro, manganeso, molibdeno, selenio y yodo.

## Guía de las vitaminas y minerales

Una buena salud requiere de las cantidades correctas de vitaminas y minerales para satisfacer las necesidades metabólicas. La deficiencia o exceso de vitaminas o minerales puede causar algunos trastornos. Esta tabla muestra las principales funciones de las vitaminas y minerales, así como sus fuentes.

| Vitamina mineral               | o Principales funciones  | Fuente alimentaria   |
|--------------------------------|--|--|
| <i>Vitaminas hidrosolubles</i> |  |  |
| Vitamina C (ácido ascórbico)   | • Producción de colágeno, producción de huesos delgados y conservación de yodo, cicatrización, producción de eritrocitos, resistencia a la infección.                                | • Frutas y vegetales frescos.  |
| Vitamina (tiamina)             | B <sub>1</sub> • Producción de sangre, metabolismo de hidratos de carbono, digestión, aprendizaje, tono muscular, mantenimiento del sistema nervioso central.                        | • Carne de vacuno y cerdo, pollo, pescado, azúcar sin refinar, levadura de cerveza, arroz integral, nueces, germen de trigo y granos enteros.        |
| Vitamina (riboflavina)         | B <sub>2</sub> • Producción de eritrocitos, metabolismo energético, respiración celular, mantenimiento de tejidos en piel, ojo y mucosas.  | • Carne de vacuno y cerdo, pollo, pescado, azúcar sin refinar, levadura de cerveza, huevo, frutas, verduras de hoja verde, nueces y granos enteros.  |
| Vitamina (piridoxina)          | B <sub>6</sub> • Producción de anticuerpos, digestión, síntesis de ADN y ARN, utilización de lípidos y proteínas, metabolismo de aminoácidos, síntesis de hemoglobina, mantenimiento | • Carne de vacuno y cerdo, pollo, azúcar sin refinar, levadura de cerveza, hígado de pescado, verduras de hoja verde, vegetales, maní, pasas de uva, |

|   |   |   |
|---|---|---|
|   | del sistema nervioso central.   | nuez castaña, germen de trigo y granos enteros.   |
| Ácido fólico (folacina, ácido pteroilglutámico)       | • Crecimiento y reproducción celular, digestión, función hepática, creación de ADN y ARN, metabolismo de proteínas, producción de eritrocitos.  | • Frutas cítricas, huevo, vegetales de hoja verde, lácteos, vísceras, mariscos y granos enteros.  |
| Niacina (ácido nicotínico, nicotinamida, niacinamida) | • Circulación, reducción de concentración de clorhídrico, metabolismo (hidratos de carbono, proteínas y lípidos), síntesis de hormonas sexuales.  | • Huevo, carne magra, lácteos, vísceras, maní, pollo, mariscos y granos enteros.  |
| Vitamina B <sub>12</sub> (cianocobalamina)            | • Producción de eritrocitos, metabolismo celular y nutrientes, crecimiento de tejidos, mantenimiento de células nerviosas, estimulación del apetito.  | • Carne de vacuno, huevo, de pescado, lácteos, vísceras, carne de cerdo.  |
| <i>Vitaminas liposolubles</i>                         |   |   |
| Vitamina A  | • Reparación y mantenimiento de tejidos, resistencia a infección, crecimiento de huesos, desarrollo del sistema nervioso, metabolismo celular, visión nocturna.   | • Carne de vacuno, huevo, mantequilla.<br>• Vegetales de hoja verde y amarilla, frutas amarillas (fuente de caroteno, un precursor de la vitamina A). |
| Vitamina D (calciferol)                               | • Metabolismo de calcio y fósforo (formación de hueso), función de miocardio, mantenimiento del sistema nervioso, coagulación sanguínea.  | • Yema de huevo, vísceras, mantequilla, aceite de hígado de bacalao, pescado con grasa.   |
| Vitamina E (tocoferol)                                | • Retraso del envejecimiento, factor anticoagulante, diuresis, fertilidad, protección pulmonar en contra de la contaminación, función sexual del hombre, mantenimiento de la membrana celular de músculo y neuronas, aporte | • Yema de huevo, vísceras, mantequilla, aceite de hígado de bacalao, pescado con grasa.   |

|                      |  |   |
|----------------------|--|---|
|                      | sanguíneo al miocardio y reducción del colesterol sérico.  |   |
| Vitamina (menadiona) | K • Síntesis de protrombina y otros factores de coagulación en el hígado.  | • Verduras de hoja verde, aceite de cártamo, yogur, azúcar no refinada.<br>• También es producida por bacterias en el tubo digestivo. |
| <i>Minerales</i>     |  |   |
| Calcio               | • Coagulación sanguínea, desarrollo de huesos y dientes, ritmo cardíaco, permeabilidad de la membrana celular, crecimiento y contracción de músculo, transmisión del impulso nervioso. | • Queso, leche, azúcar no refinada, yogur, granos enteros, nueces, legumbres, vegetales con hoja.                                     |
| Cloruro              | • Equilibrio acidobásico, equilibrio hídrico, presión osmótica, control de electrólitos.   | • Frutas, vegetales, sal de mesa.   |
| Magnesio             | • Equilibrio acidobásico, metabolismo, síntesis de proteínas, relajación muscular, respiración celular, transmisión del impulso nervioso.  | • Vegetales de hoja verde, nueces, mariscos, cacao, granos enteros.   |
| Fósforo              | • Producción de huesos y dientes, crecimiento y reparación celular, producción de energía.   | • Huevo, pescado, granos, carne, pollo, leche, lácteos.   |
| Potasio              | • Latido cardíaco, contracción muscular, transmisión del impulso nervioso, crecimiento rápido, distribución de líquidos y equilibrio acidobásico.                                      | • Mariscos, azúcar no refinada, vegetales, frutas, nueces.  |
| Sodio                | • Equilibrio hídrico, contracción muscular, equilibrio acidobásico, permeabilidad celular, función de los músculos y transmisión del impulso nervioso.                                 | • Queso, leche, sal, alimentos procesados, sopas enlatadas, comida rápida y salsa de soja.  |

|                  |  |
|------------------|--|
| Fluoruro (flúor) | • Formación de huesos y dientes.<br>• Agua, mariscos.  |
| Yodo             | • Producción de hormonas tiroideas, producción de energía, metabolismo, desarrollo físico y mental.<br>• Algas, sal (yodada), mariscos.  |
| Hierro           | • Crecimiento (en niños), síntesis de hemoglobina, resistencia al estrés y enfermedad, respiración celular, transporte de oxígeno.<br>• Yema de huevo, carne de vacuno, pollo, germen de trigo, hígado, moluscos, pan, cereales, vegetales verdes, azúcar no refinada. |
| Selenio          | • Procesos inmunitarios, síntesis de trifosfato de adenosina en la mitocondria, protección celular.<br>• Mariscos, carnes, hígado, yema de huevo.  |
| Cinc             | • Reparación de tejido quemado o herido, digestión de hidratos de carbono, metabolismo (lípidos, proteínas, hidratos de carbono), crecimiento y desarrollo de gónadas, crecimiento celular.<br>• Hígado, champiñones, mariscos, soya, espinaca, carnes.                |

## Digestión y absorción

Los nutrientes deben ser digeridos por enzimas del tubo digestivo. Las enzimas dividen las unidades grandes en unidades más pequeñas. En este proceso, conocido como *hidrólisis*, un compuesto se une al agua y después se divide en compuestos más pequeños. Las unidades pequeñas se absorben en la pared del intestino delgado para que sean transportadas al hígado a través del sistema venoso porta.

### Digestión y absorción de hidratos de carbono

Las enzimas degradan hidratos de carbono complejos. En la cavidad bucal, la *amilasa salival* inicia la hidrólisis de almidones y los convierte en disacáridos. En el intestino delgado, la *amilasa pancreática* continúa este proceso.

#### Hidrolizar y separar

Las *disacaridasas* en la mucosa del intestino hidrolizan disacáridos en monosacáridos. La lactasa separa el compuesto lactosa en glucosa y galactosa,

mientras que la sacarasa hidroliza al compuesto sacarosa en glucosa y fructosa.

### A seguir el camino

Los monosacáridos, como la glucosa, fructosa y galactosa, se absorben en la mucosa de la pared intestinal. Después, son transportados a través del sistema venoso porta hacia el hígado. Ahí, las enzimas convierten la fructosa y galactosa en glucosa.

Los nucleótidos del ácido desoxirribonucleico (ADN) y ácido ribonucleico (ARN) son degradados por las ribonucleasas y desoxirribonucleasas en pentosas y compuestos que contienen nitrógeno (bases de nitrógeno). Al igual que la glucosa, estos compuestos se absorben en la mucosa del intestino.



---

## Digestión y absorción de proteínas

Las enzimas digieren las proteínas mediante la hidrólisis de los enlaces peptídicos que unen los aminoácidos de las cadenas de proteínas. Este proceso de hidrólisis

reestablece moléculas de agua.

La pepsina gástrica degrada las proteínas en:

- Polipéptidos
- Tripsina pancreática
- Quimotripsina
- Carboxipeptidasa (la cual convierte polipéptidos en péptidos)

El camino continúa

Las peptidasas de la mucosa intestinal degradan los péptidos en los aminoácidos que los constituyen. Después de ser absorbidos en la mucosa intestinal por los mecanismos de transporte activo, estos aminoácidos viajan por el sistema venoso porta hacia el hígado. El hígado convierte los aminoácidos que no son necesarios para la síntesis de proteínas en glucosa.

---

## Digestión y absorción de lípidos

La mayor parte de la digestión de lípidos ocurre en el intestino delgado. La lipasa pancreática degrada lípidos y fosfolípidos en una mezcla de glicerol, ácidos grasos de cadena corta y larga y monoglicéridos. El sistema venoso porta lleva estas sustancias al hígado. La lipasa hidroliza los enlaces entre el glicerol y los ácidos grasos, un proceso que reestablece moléculas de agua que fueron liberadas cuando se formaron los enlaces.

En cadena

El glicerol se difunde de manera directa a través de la mucosa. Los ácidos grasos de cadena corta se difunden hacia las células epiteliales del intestino. Aquí, son llevadas al hígado por el sistema venoso porta.

En una cadena más larga

Los ácidos grasos de cadena larga y monoglicéridos en el intestino se disuelven en las micelas de sales biliares. Después, se difunden a las células epiteliales del intestino. Allí, la lipasa degrada los monoglicéridos absorbidos en glicerol y ácidos grasos. En el retículo endoplasmático liso de las células epiteliales, los ácidos grasos y el glicerol se combinan para formar grasas.



## Quilomicrones

En compañía de una pequeña cantidad de colesterol y fosfolípidos, los triglicéridos son cubiertos por una capa de proteínas para formar lipoproteínas denominadas *quilomicrones*. Los quilomicrones pasan desde los vasos linfáticos del intestino hasta los conductos linfáticos. Una vez que alcanzan la circulación corporal al pasar por el conducto torácico, se distribuyen a las células del cuerpo.

Guardados para más tarde

En las células, los lípidos de los quilomicrones son extraídos y degradados por las enzimas en ácidos grasos y glicerol. Poco después, se absorben y recombinan en los adipocitos para reconstituir los triglicéridos, que se almacenan para utilizarse en el futuro.

## Metabolismo de los hidratos de carbono

Los hidratos de carbono son la fuente de energía preferida por la célula humana. La mayoría de los hidratos de carbono en los alimentos se catabolizan rápidamente para liberar energía.

---

## De glucosa a energía

Todos los hidratos de carbono ingeridos se convierten en glucosa, la fuente principal de energía del cuerpo. La glucosa que no es necesaria para proveer energía inmediata



debe guardarse en forma de glucógeno o convertirse en lípidos.

La energía del catabolismo de glucosa se genera en tres fases:

1. Glucólisis
2. Ciclo del ácido cítrico (*ciclo de Krebs*)
3. Cadena de transporte de electrones (véase *Vía de la glucosa*, p. 224) La glucólisis, que ocurre en el citoplasma celular, no necesita oxígeno. Las otras dos fases, que ocurren en la mitocondria, sí utilizan este elemento.

## Glucólisis

La *glucólisis* es el proceso por el cual las enzimas degradan la molécula de seis carbonos de la glucosa en moléculas de tres carbonos, el *ácido pirúvico* (piruvato). La glucólisis proporciona energía en forma de trifosfato de adenosina (ATP, *adenosine triphosphate*).

Todo esto de la nutrición y el metabolismo es bastante simple. Se trata de hacer que la energía se ponga a trabajar.



En la vía de la glucosa

Ahora, el ácido pirúvico libera una molécula de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y se convierte en un fragmento de acetil de dos carbonos dentro de la mitocondria. Este fragmento se une a un compuesto orgánico complejo denominado *coenzima A* (CoA), y así se forma la acetil-CoA.

## Ciclo del ácido cítrico

La segunda fase del catabolismo de glucosa es el ciclo del ácido cítrico. Esta es la vía por la que la molécula de acetil-CoA es oxidada por las enzimas para liberar energía.

Carbonos por todas partes

Los fragmentos de acetil-CoA, de dos carbonos, entran al ciclo del ácido cítrico al unirse al ácido oxalacético, de cuatro carbonos, para formar ácido cítrico, un compuesto de seis carbonos. En este proceso, la molécula de CoA se separa del grupo acetil, haciendo que la molécula de CoA esté disponible para formar más moléculas de acetil-CoA. El ácido cítrico se convierte primero, mediante enzimas, en compuestos intermedios. Después, vuelve a convertirse en ácido oxalacético. El ciclo puede comenzar de nuevo. Además de liberar CO<sub>2</sub> y generar energía, cada “vuelta” del ciclo del ácido cítrico libera átomos de hidrógeno, que son tomados por las coenzimas dinucleótido de nicotinamida y adenina (NAD, de *nicotinamide adenine dinucleotide*) y dinucleótido de flavina y adenina (FAD, de *flavin adenine dinucleotide*).



¡Eureka!

## Vía de la glucosa

El catabolismo de la glucosa genera energía en tres fases: la glucólisis, el ciclo del ácido cítrico y la cadena de transporte de electrones. Este diagrama resume las primeras dos fases.

### Glucólisis

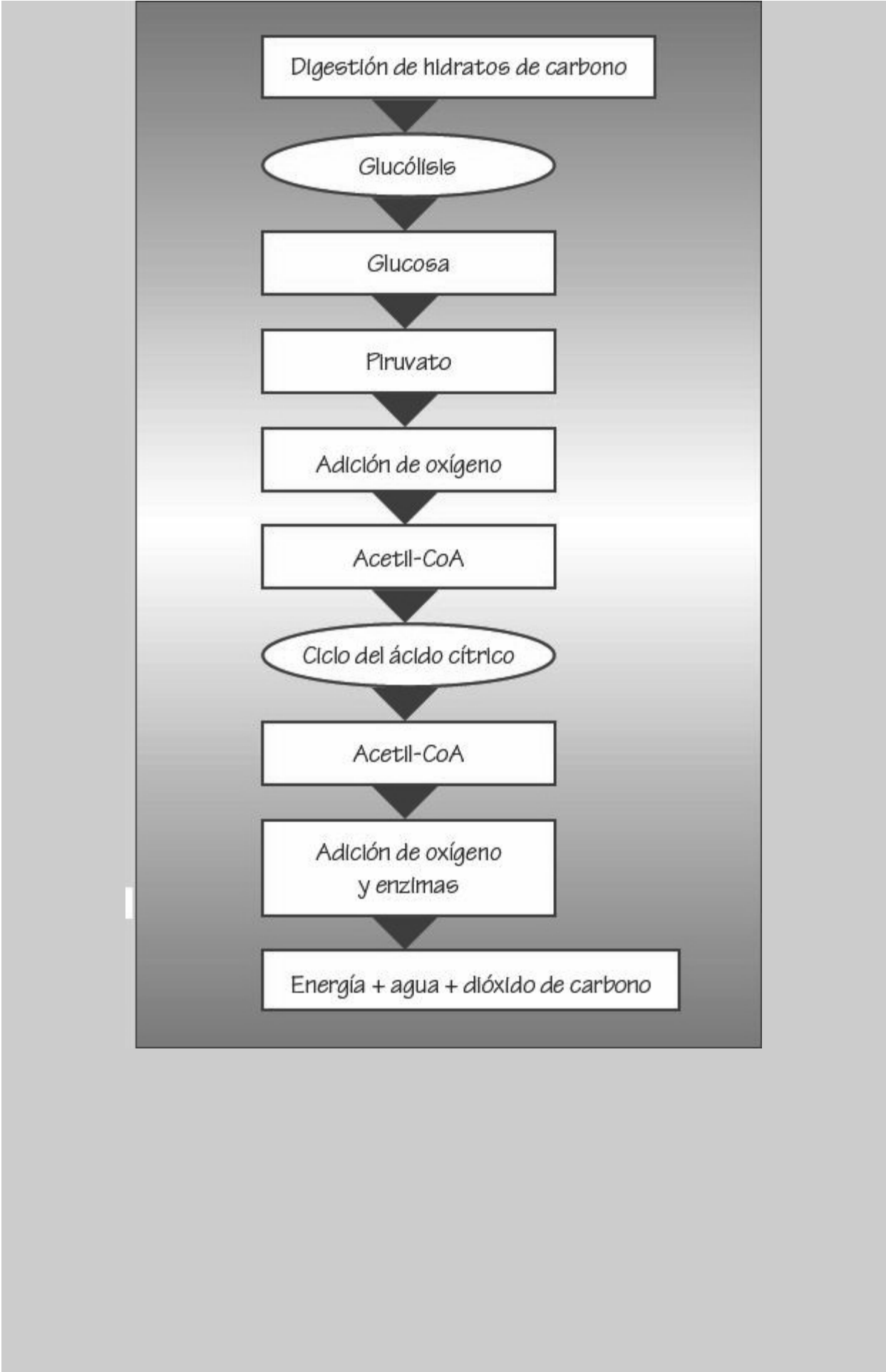
La glucólisis, la primera fase, degrada una molécula de glucosa para formar dos moléculas de ácido pirúvico, el cual genera energía en forma de trifosfato de adenosina (ATP) y acetil-coenzima A (CoA).

### Ciclo del ácido cítrico

La segunda fase del catabolismo de la glucosa es el ciclo del ácido cítrico. Los fragmentos de acetil-CoA se unen al ácido oxalacético para formar ácido cítrico. La molécula de CoA se separa del grupo acetil, y puede formar más moléculas de acetil-CoA. El ácido cítrico se convierte primero en compuestos intermedios. Después, vuelve a convertirse en ácido oxalacético. El ciclo del ácido cítrico también libera dióxido de carbono.

### Cadena de transporte de electrones

En la tercera fase del catabolismo de la glucosa, las moléculas de la membrana mitocondrial interna atraen electrones de los átomos de hidrógeno para llevarlos a través de reacciones de oxidorreducción dentro de la mitocondria. Los iones de hidrógeno producidos en el ciclo del ácido cítrico se combinan con oxígeno para formar agua.





## Cadena de transporte de electrones

La cadena de transporte de electrones es la última etapa del catabolismo de los hidratos de carbono. En este paso, las moléculas transportadoras en la membrana interna de la mitocondria recogen electrones de los átomos de hidrógeno en el NAD y FAD (cada átomo de hidrógeno contiene un ion hidrógeno y un electrón). Estas moléculas transportan electrones mediante una serie de reacciones de oxidorreducción catalizadas por enzimas dentro de la mitocondria.



### Atracción de oxígeno

El oxígeno tiene un papel muy importante en la atracción de electrones a lo largo de la cadena del sistema de transporte. Durante la oxidación, un compuesto químico pierde electrones, mientras que en la reducción, el compuesto los gana. Estas reacciones liberan la energía contenida en los electrones y generan ATP.

Después de pasar por la cadena de transporte de electrones, los iones de hidrógeno producidos en el ciclo del ácido cítrico se combinan con oxígeno para formar agua.

---

## Regulación de la glucemia

Ya que todos los hidratos de carbono ingeridos se convierten en glucosa, el cuerpo necesita al hígado, las células musculares y ciertas hormonas para regular la concentración de glucosa en sangre.

### Hígado

Cuando la glucosa excede las necesidades inmediatas del cuerpo, algunas hormonas estimulan el hígado para que convierta la glucosa en glucógeno o lípidos. El glucógeno se sintetiza a través de la glucogénesis, y los lípidos a través de la

lipogénesis.



### Deficiencia de glucosa

Cuando las concentraciones de glucosa disminuyen de manera excesiva, el hígado puede proporcionar este compuesto mediante dos procesos:

- Degradación de glucógeno a glucosa por glucogenólisis.
- Síntesis de glucosa a partir de aminoácidos, mediante gluconeogénesis.

## Células musculares

Las células musculares pueden convertir la glucosa en glucógeno para almacenarla. A pesar de ello, no tienen las enzimas necesarias para convertir nuevamente el glucógeno a glucosa. Durante la actividad física intensa, cuando la demanda de oxígeno es mayor al aporte de éste, las células musculares degradan el glucógeno para obtener ácido láctico y energía. El ácido láctico se acumula en los músculos. En consecuencia, se agota el glucógeno del tejido muscular.

### Glucógeno: el regreso

Una parte del ácido láctico se difunde desde las células musculares para alcanzar el hígado, donde se convierte en glucógeno. El hígado convierte el glucógeno nuevo en glucosa, la cual regresa a los músculos a través del torrente sanguíneo y, ahí, se vuelve a convertir en glucógeno.

### Energía

Cuando la actividad muscular se detiene, una parte del ácido láctico que se acumuló

vuelve a formar ácido pirúvico. El ácido pirúvico es oxidado por completo durante el ciclo del ácido cítrico y la cadena de transporte de electrones para obtener energía.

---

## Hormonas

En respuesta a los cambios de glucosa en sangre, las hormonas regulan la glucemia mediante la estimulación de los procesos metabólicos que reestablecen la concentración de glucosa normal (véase *Cómo afecta la insulina la glucemia*).

### Insulina y glucosa

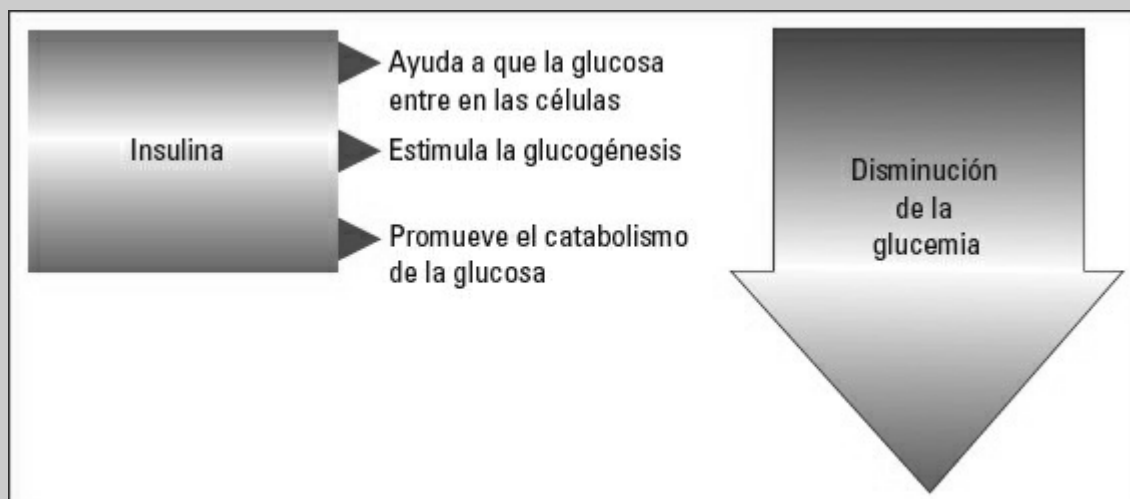
La *insulina* se produce en las células de los islotes pancreáticos. Es la única hormona que reduce de manera significativa las concentraciones de glucosa en sangre. Además de promover la captación y uso como fuente de energía de la glucosa por las células, la insulina propicia que la glucosa se almacene como glucógeno (glucogénesis) y lípidos (lipogénesis). Por lo tanto, la producción de insulina tiene efectos en todo el cuerpo.



¡Eureka!

### Cómo afecta la insulina la glucemia

A diferencia de la mayoría de las hormonas, la insulina favorece la disminución de las concentraciones de glucosa en sangre ayudando a la glucosa a entrar en las células, lo que da lugar a la glucogénesis e inicia el catabolismo de la glucosa.



## Metabolismo de las proteínas

Las proteínas se absorben en forma de aminoácidos, son llevadas al sistema venoso porta en el hígado y, después, a través de todo el cuerpo. Los aminoácidos que se



absorbieron se mezclan con otros aminoácidos en el cuerpo. Estos otros aminoácidos pueden sintetizarse a partir de otras sustancias en el cuerpo, como los *cetoácidos*, o pueden obtenerse por degradación de proteínas.

---

## Conversión de aminoácidos

El cuerpo no puede almacenar aminoácidos. En vez de hacerlo, los convierte en proteínas o glucosa, o los cataboliza para obtener energía. Antes de que cualquiera de estos cambios suceda, los aminoácidos deben transformarse mediante desaminación o transaminación.

### Desaminación

En la *desaminación*, un grupo amino ( $-NH_2$ ) se separa del aminoácido para crear una molécula de amoníaco y una de cetoácido. La mayor parte del amoníaco se convierte en urea y se excreta en la orina.

### Transaminación

En la *transaminación*, un grupo amino se intercambia por un grupo ceto del cetoácido mediante el efecto de enzimas transaminasas. Durante este proceso, el aminoácido se convierte en un cetoácido, mientras que el cetoácido original se convierte en un aminoácido.

---

## Síntesis de aminoácidos

Las proteínas se crean a partir de una fuente de 20 aminoácidos en el cuerpo (véase *Aminoácidos esenciales y no esenciales*).

### Fuente de energía

Los aminoácidos que no se utilizan en la síntesis de proteínas pueden convertirse en cetoácidos, y metabolizarse en el ciclo del ácido cítrico y la cadena de transporte de electrones para producir energía.

### Aminoácidos esenciales y no esenciales

Los aminoácidos son los “ladrillos” con los que se construyen las proteínas, se catalogan como *esenciales* o *no esenciales* de acuerdo con la capacidad del cuerpo para sintetizarlos. El cuerpo no puede sintetizar los nueve aminoácidos, así que deben obtenerse de la dieta. Los 11 aminoácidos restantes pueden sintetizarse en el cuerpo, por lo que no son indispensables en la dieta. Sin embargo, sí son necesarios para la síntesis de proteínas.

#### Esenciales

- Histidina
- Isoleucina
- Leucina

#### No esenciales

- Alanina
- Arginina
- Asparagina

- Lisina
- Metionina
- Fenilalanina
- Treonina
- Triptófano
- Valina
- Ácido aspártico
- Cistina
- Glutamina
- Glicina
- Hidroxiprolina
- Prolina
- Serina
- Tirosina

Hay 20  
aminoácidos:  
9 esenciales y  
11 no esenciales



### Segunda oportunidad

Los aminoácidos que no se utilizaron en la síntesis de proteínas pueden emplearse para crear ácido pirúvico y, más tarde, acetyl-CoA. Los fragmentos de acetyl-CoA se condensan para formar cadenas de ácidos grasos de cadena larga, un proceso inverso a la degradación de ácidos grasos. Los ácidos grasos se combinan con glicerol para formar grasas.

### Todos quieren ser glucosa

Los aminoácidos pueden emplearse para crear glucosa. Primero deben convertirse en ácido pirúvico, el cual se puede utilizar en la síntesis de glucosa.

## Metabolismo de lípidos

Los lípidos se almacenan en las células del tejido adiposo hasta que son necesarios para brindar energía. Cuando se requieren para generar energía, cada molécula de

lípido es degradada en glicerol y tres moléculas de ácidos grasos. El glicerol puede ser convertido en ácido pirúvico y después en acetil-CoA, que puede participar en el ciclo del ácido cítrico.

---

## Producción de cuerpos cetónicos

Por lo general, los cuerpos cetónicos se forman en el hígado a partir de fragmentos de acetil-CoA que se obtuvieron del catabolismo de los ácidos grasos. Las moléculas de acetil-CoA proporcionan tres tipos de cuerpos cetónicos: ácido acetoacético, ácido  $\beta$ -hidroxibutírico y acetona.

El *ácido acetoacético* es resultado de la combinación de dos moléculas de acetil-CoA y la liberación subsecuente de CoA en estas moléculas.

El *ácido  $\beta$ -hidroxibutírico* se crea cuando se añade hidrógeno al átomo de oxígeno en la molécula de ácido acetoacético. El término  $\beta$  (*beta*) indica la ubicación del átomo de carbono que contiene el grupo OH.

La *acetona* se produce cuando el grupo COOH del ácido acetoacético libera CO<sub>2</sub>. El tejido muscular, el tejido del encéfalo y otros tipos de tejido oxidan estos cuerpos cetónicos para obtener energía.



## Producción excesiva de cuerpos cetónicos

En ciertas circunstancias, la producción de cuerpos cetónicos es mayor a la cantidad que el cuerpo puede oxidar para obtener energía. Estos casos incluyen la inanición, el ayuno y la diabetes mellitus descompensada (el cuerpo no puede degradar glucosa).

El cuerpo debe utilizar lípidos, en lugar de glucosa, como su fuente primaria de energía.

### Cetosis

El empleo de lípidos, en lugar de glucosa, como fuente de energía conduce al exceso de cuerpos cetónicos. Este estado altera el equilibrio acidobásico del cuerpo y los mecanismos homeostáticos, y causa cetosis.

## Producción de lípidos

El exceso de aminoácidos puede almacenarse como grasa mediante la conversión de cetoácidos a acetyl-CoA. La glucosa puede convertirse en ácido pirúvico y después en acetyl-CoA, que puede transformarse en ácidos grasos y grasa (de la misma manera en que los aminoácidos se convierten en lípidos) (véase *Cambios en la nutrición relacionados con la edad*).



## La tercera edad

### Cambios en la nutrición relacionados con la edad

A medida que una persona envejece, disminuye la cantidad de calorías que necesita. En la mayoría de los casos, los requerimientos de proteínas, vitaminas y minerales se mantienen iguales a lo largo de la vida. De cualquier forma, la capacidad del cuerpo para procesar estos nutrientes también se ve afectada por el proceso de envejecimiento.

#### Cambios fisiológicos

La motilidad intestinal disminuye de manera frecuente con el avance de la edad, lo que produce estreñimiento. Además, la falta de actividad física, el estrés emocional, los medicamentos y las dietas inadecuadas, que contienen alimentos procesados, blandos y poca fibra, pueden causar estreñimiento. El abuso de laxantes disminuye la digestión y absorción al causar que los alimentos pasen demasiado rápido por el tubo digestivo. También puede ocurrir incontinencia fecal en las personas mayores.

Estos son otros cambios fisiológicos que pueden afectar la nutrición de las personas de edad avanzada:

- Deterioro en la función renal: mayor susceptibilidad a deshidratación y litiasis renal.
- Pérdida de calcio y nitrógeno (en personas que no pueden caminar).
- Disminución de la actividad enzimática y de las secreciones gástricas.
- Secreción menor de pepsina y ácido clorhídrico: menor absorción de calcio y vitaminas B<sub>1</sub> y B<sub>2</sub>.
- Menor salivación y disminución del sentido del gusto: reducción del apetito, incremento del consumo de dulces y alimentos picantes.
- Disminución de la motilidad intestinal y el peristaltismo del intestino grueso.
- Adelgazamiento del esmalte dental: los dientes se vuelven frágiles.
- Menor fuerza en la mordida.
- Menor actividad del reflejo nauseoso.

#### Factores externos

Otros factores que pueden afectar la nutrición de las personas es el nivel socioeconómico y los factores psicológicos, como la soledad y una menor prioridad dentro del núcleo familiar. La falta de dinero o transporte y la elección de remedios alternativos pueden conducir a un acceso limitado a alimentos nutritivos. Además, algunas situaciones habituales en las personas de edad avanzada pueden afectar la movilidad y, en consecuencia, su capacidad para preparar su propia comida o de alimentarse por su



## Preguntas de autoevaluación

1. ¿Cuál es el tipo de nutriente que aporta 9 kcal/g?

- A. Proteínas
- B. Hidratos de carbono
- C. Lípidos
- D. Vitaminas

**Respuesta:** C. Los lípidos son un tipo concentrado de combustible para el cuerpo, pues proporcionan 9 kcal/g.

2. ¿Cuál es la hormona que disminuye la glucemia?

- A. Adrenalina
- B. Cortisol
- C. Insulina
- D. Glucógeno

**Respuesta:** C. La insulina es la única hormona que reduce de manera significativa las concentraciones de glucosa en sangre. Lo hace al facilitar la entrada de glucosa a las células. Por lo tanto, estimula la glucogénesis al promover el catabolismo de glucosa.

3. Los aminoácidos esenciales son:

- A. Compuestos orgánicos necesarios en pequeñas cantidades para el metabolismo, crecimiento y desarrollo.
- B. Compuestos orgánicos que no se disuelven en agua, pero que sí lo hacen en alcohol y otros solventes orgánicos.
- C. La unidad estructural de las proteínas que no es necesario obtener de la dieta.
- D. La unidad estructural de las proteínas que debe obtenerse de la dieta.

**Respuesta:** D. No es posible sintetizar los nueve aminoácidos esenciales, así que deben obtenerse de la dieta.

4. ¿Cuál es la vitamina que está implicada en la síntesis de protrombina y otros factores de la coagulación?

- A. Vitamina K
- B. Vitamina E
- C. Vitamina B<sub>12</sub>
- D. Vitamina B<sub>6</sub>

**Respuesta:** A. La vitamina K está implicada en la síntesis de protrombina y otros factores de la coagulación en el hígado.

---

## Puntuación

- ☆☆☆ Si contestaste cuatro preguntas de manera correcta, ¡hurra! Has digerido una cantidad saludable de conocimiento.
- ☆☆ Si respondiste tres preguntas de forma acertada, ¡impresionante! Pronto serás un genio del metabolismo.
- ☆ Si contestaste menos de tres preguntas de manera correcta, obtén energía. Sólo faltan algunas preguntas de autoevaluación más.



## ¡Diviértete!

Descifra las palabras en las casillas de la izquierda para revelar los nombres de estos tres tipos de nutrientes. Después, dibuja una línea para unir cada nutriente con la información correcta. Pon atención, pues algunas de las oraciones son verdaderas para más de un nutriente.

- A. Son un tipo concentrado de combustible.
- B. Se utilizan de manera más frecuente en el crecimiento y reparación de los tejidos corporales.
- C. Tipo de nutriente que aporta 9 kcal/g.
- D. Son compuestos orgánicos constituidos de hidrógeno, carbono y oxígeno.
- E. Son compuestos orgánicos nitrogenados complejos que contienen cadenas de aminoácidos.
- F. Tipo de nutriente que aporta 4 kcal/g.
- G. Compuestos orgánicos que no se disuelven en agua, pero que sí lo hacen en alcohol y otros solventes orgánicos.
- H. Funcionan como la primera fuente de energía del cuerpo.
- I. Se componen de aminoácidos.
- J. Se clasifican como monosacáridos, disacáridos y polisacáridos.
- K. Los principales tipos son grasas, fosfolípidos y esteroides.

OPAENSTIR

SLOIDPI

DRIHSOT ED NORCAOB

Respuesta: PROTEÍNAS: B, E, F, I; LÍPIDOS: A, C, G, K; HIDRATOS DE CARBONO: D, F, H, J

## Bibliografía

- Academy of Nutrition and Dietetics. (2016). *Vitamins and minerals*. Tomado de: <http://www.eatright.org>, on June, 2016.
- Smolin, L. A., & Grosvenor, M. B. (2013). *Nutrition: Science and applications* (3rd ed.). Wiley Hoboken, NJ.
- United States Food and Drug Administration. (2016). *Fortify your knowledge about vitamins*. Tomado de: <http://www.fda.gov/ForConsumers/ConsumerUpdates/ucm118079.htm>, on June, 2016.

United States Department of Agriculture. (2016). Interactive tools. Tomado de:  
<https://fnic.nal.usda.gov/dietary-guidance/interactive-tools>, on June, 2016.

# Capítulo 14

## Aparato urinario

### Objetivos



En este capítulo aprenderás:

- ◆ Principales estructuras del aparato urinario
- ◆ Funciones de los riñones, uréteres, vejiga y uretra
- ◆ Manera en la que se forma la orina
- ◆ Función de las hormonas en el aparato urinario

### Estructuras del aparato urinario

El aparato urinario está compuesto por:

- Dos riñones
- Dos uréteres
- Una vejiga
- Una uretra

Al trabajar juntas, estas estructuras eliminan y excretan desechos del cuerpo a través de la orina. También controlan los líquidos, electrólitos y el equilibrio acidobásico; están implicadas en la producción de eritrocitos y controlan la presión sanguínea.



Imagina que somos los plomeros del cuerpo. En conjunto con los uréteres, la vejiga y la uretra, hacemos todo, desde eliminar desechos...



...hasta controlar el equilibrio acidobásico, y así mantener la presión sanguínea.



## Riñones

Los *riñones* son órganos con forma de haba que miden cerca de 11 cm de largo, 6 cm de profundidad y 3 cm de ancho. Se encuentran en la parte posterior del abdomen, a cada lado de la columna vertebral. Sus principales funciones son la excreción, eliminación y homeostasis del plasma. Cada riñón tiene tres regiones: corteza renal, médula renal y pelvis renal.



### Mis tres regiones

- La *corteza renal* (región externa) contiene cerca de 1.25 millones de túbulo renales.
- La *médula renal* (región intermedia) funciona como una cámara de recolección.
- La *pelvis renal* (región interna) recibe orina a través de los cálices mayores.

### Corteza renal

La *corteza renal* es la parte más externa del riñón. Se localiza entre la cápsula renal y la médula renal. Contiene mecanismos que filtran la sangre (corpúsculos y túbulos renales), conductos de recolección y una gran red vascular. Es relativamente lisa, excepto por las columnas renales (columnas corticales) que se proyectan desde la corteza renal hasta la médula renal para separar las pirámides renales.

### Médula renal

La *médula renal* es la parte interna del riñón. Está compuesta por porciones de tejido en forma de cono que se denominan *pirámides renales (medulares)*. Cada riñón contiene de 8-10 pirámides renales (cuñas que se forman de haces paralelos de túbulos y capilares). Un túbulo mayor, el asa de Henle, se extiende desde la corteza renal hasta la médula renal. Cada pirámide se separa de la corteza mediante columnas. La parte ancha de cada pirámide se dirige hacia la corteza, mientras que la parte más angosta (papila) se dirige hacia la pelvis renal.

### Pelvis renal (véase *Una mirada al aparato urinario*)

La *pelvis renal* es un tubo en forma de embudo cuyas ramificaciones se llaman *cálices* (cáliz, en singular). Los cálices menores se unen para formar dos o tres cálices mayores. Los cálices mayores son contenedores en forma de vaso que recolectan orina desde la papila de cada pirámide renal y drenan en la pelvis renal, la cual transporta la orina al uréter. Los cálices, la pelvis renal y el uréter están revestidos de músculo liso para mover la orina mediante peristaltismo (Faiz, Blackburn & Moffat, 2011; Marieb & Hoehn, 2014; Netter, Hansen & Lambert, 2005; Peate & Nair, 2015; Shier, Butler & Lewis, 2015; Waugh & Grant, 2014).

### Lugar seguro

Los riñones son órganos retroperitoneales. Con esta posición, están protegidos en el frente por todo el contenido del abdomen. Además, reciben un poco de protección por parte de la porción inferior de la caja torácica y los músculos de la columna vertebral. La protección más importante es la capa de tejido adiposo dentro de la que se encuentra cada riñón. El hígado y el tejido adiposo son rodeados por una cápsula de tejido conectivo fibroso denominada *fascia renal*. El riñón derecho se encuentra un poco más abajo que el riñón izquierdo.

### Influencia suprarrenal

Encima de cada riñón está una glándula suprarrenal. Estas glándulas se ven influidas por la liberación de renina en los riñones. En consecuencia, las glándulas influyen sobre el sistema renal cuando secretan aldosterona, la cual afecta de manera directa la cantidad de sodio y agua que se reabsorbe en los riñones. Todo lo anterior deriva en cambios en la presión sanguínea.

### Aporte sanguíneo y nervioso

Los riñones reciben cerca de un cuarto del gasto cardíaco cada minuto (1 200 mL). Las arterias renales suministran este volumen. Las arterias renales, derecha e

izquierda, surgen de la aorta abdominal y se dividen en cinco ramas segmentarias. En último lugar, se dividen en varias arterias interlobulillares justo antes de entrar al riñón. Casi el 90% de la sangre que entra al riñón perfunde la corteza renal. La sangre sale de los riñones a través de las venas renales, que conducen la sangre hacia la vena cava inferior.

El aporte nervioso de cada riñón y su uréter correspondiente es proporcionado por el plexo renal, una red de fibras y ganglios autonómicos. El plexo renal está formado por las fibras de los nervios torácicos inferiores y por los primeros nervios esplácnicos (Faiz et al., 2011; Marieb & Hoehn, 2014; Shier et al., 2015; Waugh & Grant, 2014).

Trabajan todo el día

El conjunto de tejidos permite que los riñones lleven a cabo varias funciones, a saber:

- Excretar y eliminar desechos (en forma de orina)
- Filtrar sangre (regular la composición y volumen de la sangre)
- Homeostasis (equilibrio hídrico y acidobásico)
- Producir y liberar renina (activación de angiotensina II, liberación de aldosterona en las glándulas suprarrenales)
- Sintetizar eritropoyetina (hormona que estimula la producción de eritrocitos) y enzimas, como renina (control de la presión sanguínea y función renal)
- Convertir la vitamina D en una forma más activa

## La nefrona

La *nefrona* es la unidad estructural y funcional básica del riñón (véase *Estructura de la nefrona*, p. 238). Cada riñón contiene más de un millón de estas unidades y miles de conductos recolectores.

La nefrona tiene dos funciones principales:

- Filtrar por medios físicos los líquidos, desechos, electrólitos, ácidos y bases en el sistema de túbulos.
- Reabsorber y secretar de manera selectiva los iones para permitir el control preciso de líquidos y el equilibrio electrolítico.



### Zoom

#### Una mirada al aparato urinario

Los riñones se localizan en la parte superior de la región lumbar. El riñón derecho se encuentra un poco más abajo que el izquierdo para dar espacio al hígado, que se encuentra justo por arriba de éste. La posición de los riñones cambia un poco de acuerdo con la posición del cuerpo. Alrededor de los riñones hay una cápsula de tejido fibroso, una capa de tejido adiposo y la fascia renal.

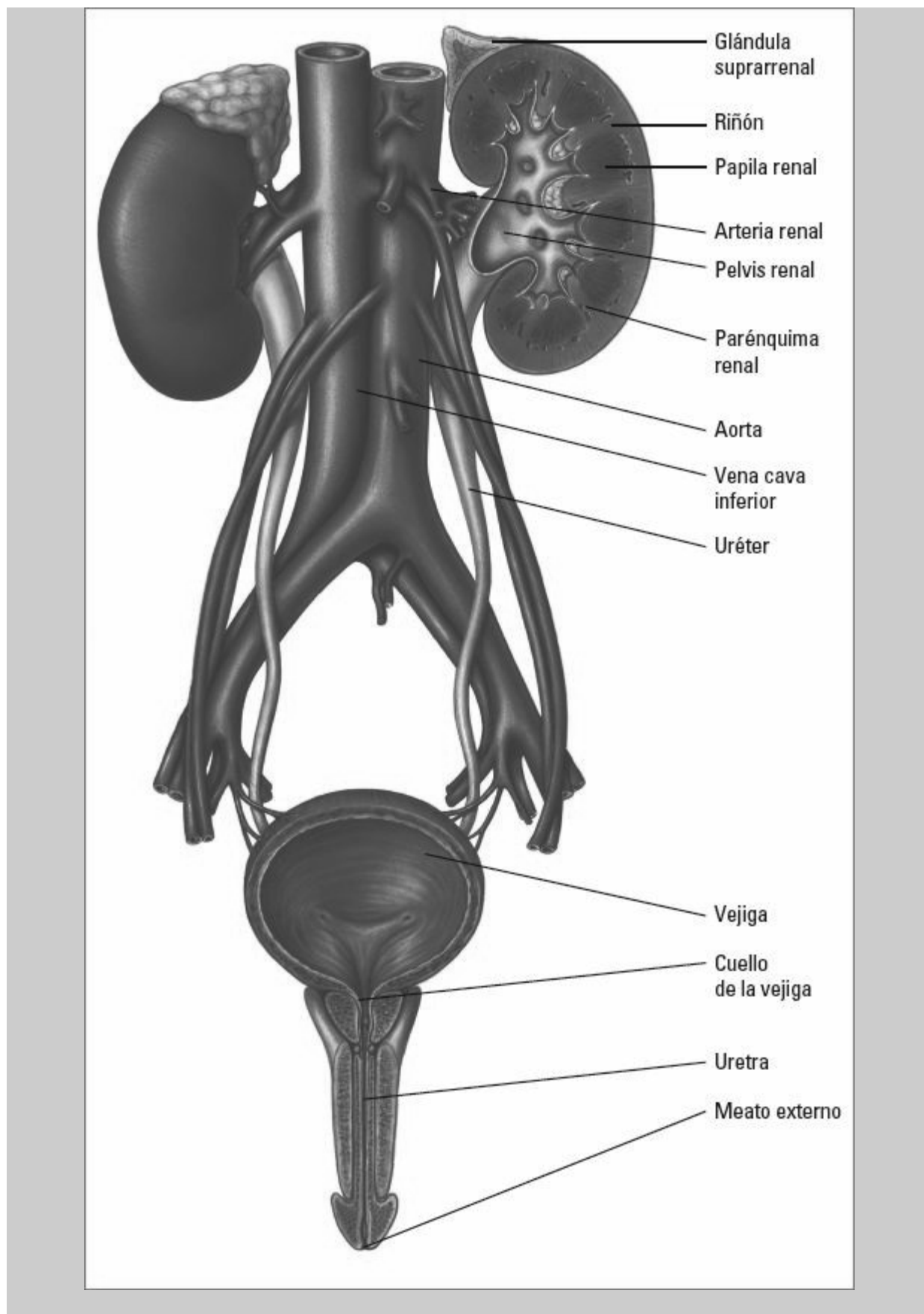
#### El camino de la sangre

Los riñones reciben desechos desde la arteria renal, la cual es una rama de la aorta abdominal. Después

de pasar por una red complicada de pequeños vasos sanguíneos y nefronas, la sangre filtrada regresa a la circulación por la vena renal, la cual drena su contenido en la vena cava inferior.

### **La limpieza**

Los riñones excretan desechos que las nefronas han retirado de la sangre. Los desechos se combinan con otros líquidos que deben eliminarse, como la urea, creatinina, fosfatos y sulfatos, para formar orina. La orina pasa a través de los uréteres hacia la vejiga gracias a un movimiento conocido como *peristaltismo*, es decir, la contracción y relajación circular de una estructura tubular. Cuando la vejiga se ha llenado, los nervios de la pared de la vejiga relajan el esfínter. En conjunto con estímulos voluntarios, la relajación del esfínter permite el paso de la orina hacia la uretra para ser eliminada del cuerpo.



Todas las nefronas se componen de un corpúsculo renal y un túbulo renal.

Corpúsculo renal

Cada uno de los corpúsculos renales se ubica en la corteza renal y constan de un conglomerado de capilares fenestrados (porosos) denominado *glomérulo*. El glomérulo se encuentra dentro de un conducto recolector, la *cápsula glomerular* o *de Bowman*. La cápsula de Bowman también se continúa con el túbulo renal. En este sitio, la sangre que entra al riñón desde las arterias se convierte en un líquido libre de proteínas y células. Los túbulos renales son el lugar donde el cuerpo recaptura de manera selectiva las sustancias que necesita reabsorber. Se logran reabsorber cerca del 99% de estas sustancias. Cualquier cosa que no se reabsorba se convierte en orina.



### Túbulo renal

Los túbulos renales inician en la corteza renal, pasan hacia la médula y regresan a la corteza. Cada túbulo mide unos 3 cm de largo y posee tres partes:

- *Túbulo contorneado proximal*: es la sección que sale de la cápsula glomerular y tiene membranas celulares permeables. Como consecuencia, es posible la reabsorción de casi todas las sustancias filtradas, como glucosa, aminoácidos, metabolitos y electrólitos, para llevarlas a capilares y permitir la circulación de gran cantidad de agua.
- *Asa de Henle*: es una curva en forma de sujetador de papel con porciones ascendentes y descendentes. Junto con los vasos sanguíneos y túbulos colectores, forman las pirámides renales en la médula.
- *Túbulo contorneado distal*: se extiende hasta vaciar su contenido en un túbulo colector. Cada porción tiene una función diferente.

Los glomérulos y los túbulos distales de la nefrona se ubican en la corteza renal. Las sustancias que se han filtrado viajan por toda la longitud de los túbulos, desde la porción proximal hasta la distal, desde el glomérulo hasta el túbulo colector.

### Túbulo colector

El líquido en las nefronas se dirige a través de los túbulos colectores en las pirámides medulares.

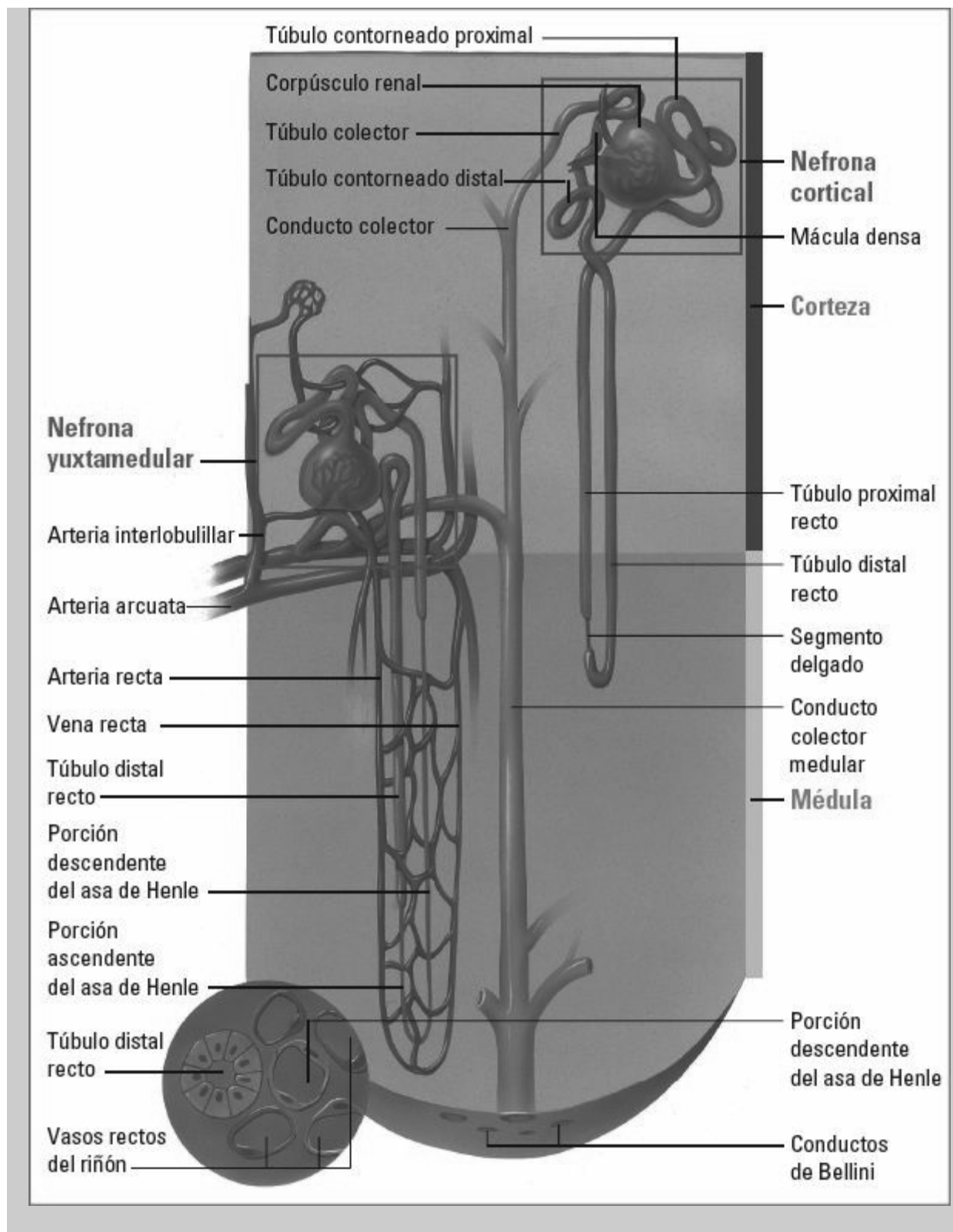
Hay dos tipos de células en cada túbulo colector: *células principales* y *células intercaladas*. Las células principales mantienen la concentración de agua y sodio, mientras que las intercaladas mantienen el equilibrio acidobásico. Los túbulos colectores se fusionan en la pelvis renal y abren su luz en los cálices menores para entregar orina.



## Zoom

### Estructura de la nefrona

La *nefrona* es la unidad funcional básica del riñón y es el sitio donde se forma la orina. Todas las nefronas se componen de un corpúsculo renal y un túbulo renal. La arteria renal, una rama grande de la aorta abdominal, lleva la sangre hacia cada riñón. La sangre fluye a través de la arteria interlobulillar hacia la arteriola aferente, la cual suministra sangre al glomérulo. La sangre es propulsada a través de las membranas del glomérulo hacia la arteriola eferente y los capilares peritubulares, vénulas y arteria interlobulillar. La red de capilares peritubulares irriga los túbulos de la nefrona.



## La tercera edad

### Cambios del aparato urinario con la edad

A medida que una persona envejece, suceden cambios en los riñones y vejiga que pueden alterar la



función del aparato urinario.

### **Riñones**

Después de los 40 años de edad, la función del riñón disminuye. Si una persona vive hasta los 90 años, la función renal puede disminuir un 50%. Los cambios relacionados con la edad en el riñón y sus vasos causan cambios hemodinámicos dentro del glomérulo y disminución de la filtración glomerular. La reducción del gasto cardíaco y los cambios ateroscleróticos en los vasos sanguíneos pueden causar que el flujo de sangre en los riñones disminuya un 53%. Además, la habilidad de los túbulos para concentrar orina y reabsorber líquidos disminuye debido al menor tamaño y número de nefronas. Conforme se reduce la producción de aldosterona y renina, los riñones responden menos a la hormona antidiurética.

### **Vejiga**

A medida que una persona envejece, se debilitan los músculos de la vejiga. Como consecuencia, la vejiga no se vacía por completo, se retiene orina y aumenta la probabilidad de tener infecciones vesicales.

### **Otros cambios**

Además de los cambios que se han mencionado, existen otras situaciones relacionadas con la edad que afectan la función renal: menor tamaño renal, menor depuración de fármacos, menor tamaño de la vejiga y menor capacidad de responder a variaciones en la ingesta de sodio. A los 70 años de edad, la concentración de nitrógeno ureico sanguíneo aumenta un 21%. También se incrementan la cantidad de orina residual, la frecuencia de la micción y la nicturia.

## Es hora de concentrarse

Hay un grupo de nefronas especializadas, las *nefronas yuxtamedulares*, cerca de la unión entre la corteza y la médula. Cuentan con asas largas que cumplen una función importante en la capacidad del riñón para concentrar orina. Cuando el líquido filtrado entra en la rama descendente del asa de Henle, ya se ha reabsorbido cerca del 70% del agua. En este punto, el líquido contiene concentraciones grandes de sales, en especial de sodio. Conforme el líquido avanza más profundo en la médula y el asa de Henle, más agua se mueve a los espacios extracelulares mediante ósmosis. Así, el líquido se concentra aún más.

Cuando el líquido entra al túbulo distal, su concentración se ajusta con la secreción de iones ( $K^+$ ,  $H^+$ ,  $HCO_3^-$ ), la reabsorción de sodio o la conservación de agua, según la composición del líquido intersticial. La concentración puede ser regulada hasta que el líquido abandona el conducto colector en forma de orina (véase *Cambios del aparato urinario con la edad*).

---

## Uréteres

Los *uréteres* son tubos fibromusculares que dirigen la orina desde los riñones hasta la vejiga. Cada uno de los uréteres desciende de los riñones y entra de forma oblicua por la pared posterior de la vejiga, lo que previene el flujo retrógrado de orina. Como el riñón izquierdo se encuentra un poco más elevado que el riñón derecho, el uréter izquierdo es más largo que el derecho (véase *Las tres capas del uréter*).

La orina no depende sólo de la gravedad para viajar desde los riñones hasta la vejiga, sino que, a medida que entra en el uréter, estimula la contracción de la capa muscular. Las ondas peristálticas se presentan de una a cinco veces por minuto y dirigen la orina a través del uréter hacia la vejiga.

## Las tres capas del uréter

Cada uréter se compone de tres capas de tejido:

- *Mucosa*: hecha de epitelio transicional, la capa más interna.
- *Capa muscular*: contiene capas de músculo liso circular y longitudinal.
- *Adventicia*: capa externa de tejido conectivo fibroso.

---

## Vejiga

La *vejiga* es un órgano hueco, liso, muscular y colapsable que se encuentra en la pelvis. Se ubica en el retroperitoneo, en la cavidad pélvica, posterior a la sínfisis del pubis (la unión entre los dos huesos púbicos). Funciona como un almacén de orina. En el adulto promedio, la vejiga llena puede contener cerca de 500 mL de orina. Si la vejiga está por llenarse, su superficie se eleva por encima de la sínfisis del pubis y se puede palpar. La capacidad máxima de la vejiga es de alrededor de 800-1 000 mL. Puede estallar si se expande más allá de este punto.

El interior de la vejiga tiene dos aberturas para los uréteres y una para la uretra. La región de la vejiga con forma triangular que se forma entre estas aberturas se denomina *trígono*. La importancia clínica de esta zona radica en que ahí es más probable que persista una infección. La pared de la vejiga tiene tres capas:

- *Mucosa*: hecha de epitelio transicional, la capa más interna.
- *Capa muscular*: se denomina *músculo detrusor*, una combinación de músculo liso circular y longitudinal.
- *Adventicia*: es la capa externa, fibrosa; cubre toda la superficie de la vejiga, excepto la porción superior, cubierta por peritoneo.

La micción es resultado de dos procesos, uno voluntario y otro involuntario.



---

## Uretra

La *uretra* es un tubo delgado y circular que dirige la orina desde la vejiga hasta el exterior del cuerpo. La micción es consecuencia de procesos involuntarios (reflejos) y voluntarios (intencionales). El músculo detrusor se ensancha en la unión entre la uretra y la vejiga para formar el *esfínter uretral interno*. El sistema nervioso autónomo controla el esfínter interno, por lo que es involuntario. Su función es prevenir la salida de orina. Una vez que la uretra ha pasado el diafragma urogenital, otro esfínter, el uretral externo, la rodea. Este esfínter se compone de músculo esquelético; por lo que, junto con el músculo elevador del ano en el piso pélvico, funciona como esfínter voluntario. Cuando la orina llena la vejiga, las fibras nerviosas parasimpáticas en la pared causan la contracción de la vejiga, así como la relajación del *esfínter interno* (en el orificio uretral interno). El cerebro, mediante una reacción voluntaria, provoca que se relaje el esfínter externo para comenzar la micción. Este proceso se denomina *reflejo miccional*.

### Variaciones en la mujer

La uretra de la mujer mide de 3-4 cm de longitud y está conectada a la pared anterior de la vagina por el tejido conectivo. La uretra se encarga de conectar la vejiga con el *meato uretral*, el cual está entre el clítoris y el introito vaginal.

## Variaciones en el hombre

La uretra del hombre mide cerca de 20 cm de longitud y está dividida en tres partes: *uretra prostática* (2.5 cm), *uretra membranosa* (2 cm) y *uretra esponjosa* (15 cm). La uretra protática atraviesa la próstata de manera vertical. La uretra membranosa se extiende a través del diafragma urogenital. La uretra esponjosa se extiende desde el diafragma urogenital, a través del pene, hasta el orificio uretral externo. La uretra del hombre sirve como vía para el paso de orina y semen.

## Producción de orina

La producción de orina es una de las principales funciones del aparato urinario; es consecuencia de tres procesos que suceden en las nefronas: filtración glomerular, reabsorción tubular y secreción tubular (véase *Cómo los riñones producen la orina*, p. 242).

La orina, por lo general, es clara, amarilla y un poco ácida. Casi el 95% de la orina es agua y tiene una densidad relativa de 1.001-1.035. En general, los solutos en la orina son urea, ácido úrico y creatina (desechos de nitrógeno). Asimismo, en la orina se encuentran iones de sodio, potasio, calcio, magnesio, sulfatos, fosfatos, bicarbonato, amoníaco y urobilinógeno (derivado de la acción de las bacterias en el intestino). También pueden entrar a la orina algunos leucocitos, eritrocitos y espermatozoides (en los hombres) a medida que pasa desde los riñones hasta el orificio externo de la uretra. Cuando una persona consume fármacos que se excretan en la orina, ésta también contiene estas sustancias.

### Los riñones mandan

Los riñones pueden variar la cantidad de sustancias que se reabsorben y excretan en las nefronas, lo que cambia la composición de la orina.

### En control del flujo

La diuresis diaria es, en promedio, de 800-2 000 mL cuando se consumen 2 L de agua al día. Esta cifra varía de acuerdo con la ingesta de líquidos, actividad física, edad y clima. Por ejemplo, después de beber un gran volumen de líquidos, la diuresis de una persona aumenta rápido para eliminar el exceso de agua. Si una persona restringe su ingesta de agua o ingiere una cantidad grande de sodio, la diuresis disminuye para retener líquidos, y así mantener la concentración normal de líquidos.

## Hormonas y el aparato urinario

Las hormonas tienen una función importante en el aparato urinario, pues ayudan a controlar la absorción y secreción en los túbulos. Las hormonas que regulan el aparato urinario incluyen:

- Renina

- Hormona antidiurética (vasopresina)
- Angiotensina I
- Angiotensina II
- Aldosterona
- Eritropoyetina



**¡Eureka!**

## Cómo los riñones producen la orina

La producción de orina sucede en tres pasos: filtración glomerular, reabsorción tubular y secreción tubular.

### Paso 1: Filtración

La sangre fluye por la red de arterias hacia el riñón, donde es conducida de manera pasiva, por presión hidrostática, a través de un proceso de filtración en las tres capas de la membrana del glomérulo. Este proceso evita que las moléculas de tamaño mayor, como los eritrocitos y proteínas del plasma, alcancen el interior de la cápsula de Bowman. Así, se mantiene la presión osmótica en los capilares de la periferia. Cuando se detectan sangre o proteínas en la orina, significa que puede haber un problema con la filtración glomerular.

### Paso 2: Reabsorción

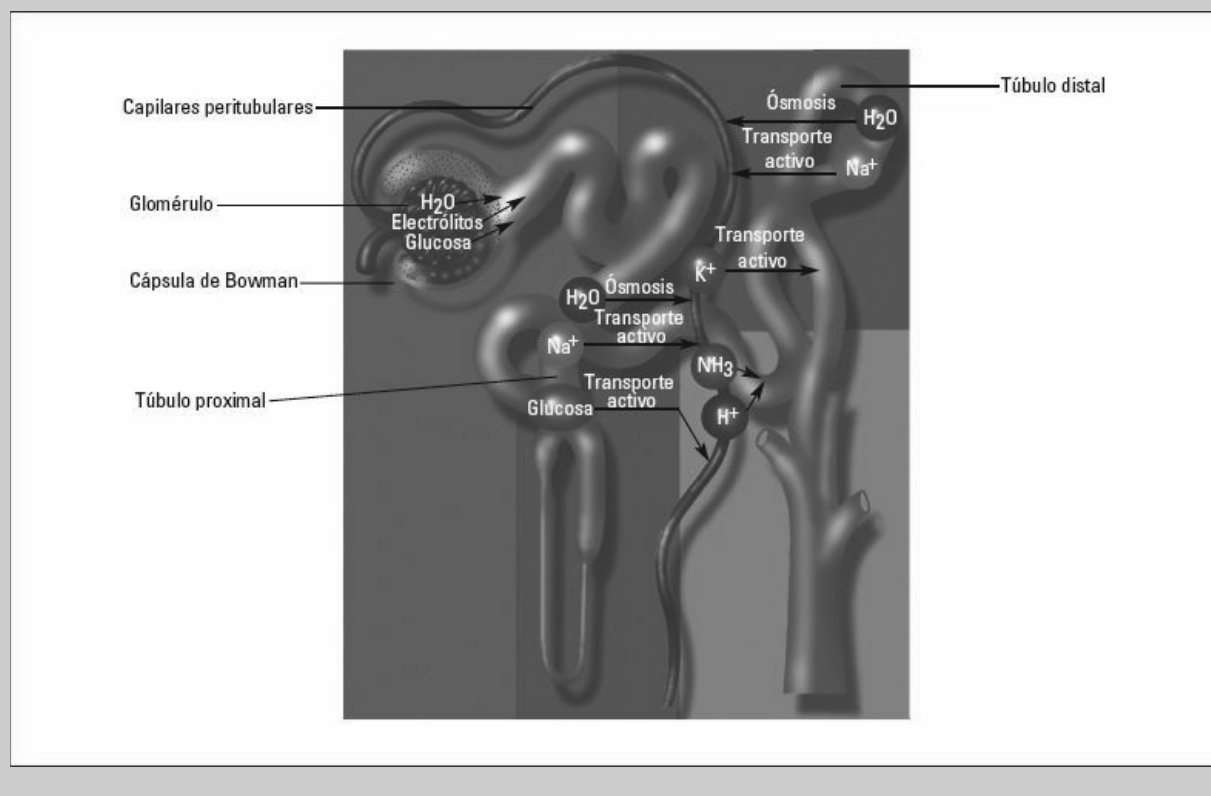
Conforme el líquido filtrado avanza por el sistema de túbulos renales y conductos colectores, se reabsorbe hacia la sangre, de manera selectiva, casi el 99%. Según la sustancia, el transporte puede ser activo (con energía) o pasivo. El transporte tubular activo consiste en el transporte activo de sodio (Na<sup>+</sup>), potasio (K<sup>+</sup>) y glucosa a través de las membranas del túbulo hacia los capilares peritubulares. La ósmosis facilita la reabsorción pasiva de agua (H<sub>2</sub>O) en el túbulo. Este proceso depende del gradiente osmótico

que resulta del movimiento de sodio y otros solutos. La presencia de hormona antidiurética causa la reabsorción de  $H_2O$  en el túbulo colector, mientras que la aldosterona regula la absorción de sodio en el túbulo colector. El volumen total de plasma en el cuerpo circula a través de los túbulos renales casi tres veces cada hora, de tal manera que si los túbulos renales no absorbieran la mayor parte de los líquidos que se filtran en el riñón, tomaría sólo 30 min para que todo el plasma se convirtiera en orina.

### Paso 3: Secreción

La secreción tubular es inversa a la reabsorción tubular. Algunas sustancias específicas se mueven desde los capilares peritubulares, a través de las células del túbulo, hasta llegar al líquido dentro de los túbulos. El túbulo contorneado proximal es el sitio principal donde ocurre la secreción de todas las sustancias, excepto del sodio.

La secreción de potasio se realiza mediante la regulación de aldosterona en el túbulo contorneado y el túbulo colector. Este proceso permite eliminar ciertos fármacos, metabolitos y sustancias no deseadas que se han reabsorbido de manera pasiva. Así, el cuerpo elimina el exceso de potasio y mantiene el pH en la sangre.



---

## Hormona antidiurética

La hormona antidiurética (ADH, *antidiuretic hormone*) se produce en el hipotálamo y se almacena en la neurohipófisis. Regula el equilibrio hídrico y la diuresis. Las cantidades altas de ADH aumentan la concentración de agua y orina, mientras que los valores bajos de ADH causan que disminuya la absorción de agua y diluyen la orina (véase *Cómo funciona la hormona antidiurética*, p. 244).

---

## Sistema renina-angiotensina-aldosterona

La *renina* es una enzima en la sangre que se secreta en las células yuxtaglomerulares de los riñones. Convierte el angiotensinógeno que se libera en el hígado en

angiotensina I. La angiotensina I se convierte en angiotensina II mediante la enzima convertidora de angiotensina cuando circula por los pulmones. La angiotensina II tiene mucha capacidad para constreñir las arteriolas. De esta manera, puede aumentar la presión sanguínea. La angiotensina II también estimula la secreción de aldosterona en las glándulas suprarrenales. La aldosterona regula la absorción de sodio y agua en los túbulos renales y túbulos colectores, y así influye en el equilibrio hídrico.

### La aldosterona está bajo mucha presión

El mineralocorticoide aldosterona promueve la reabsorción de líquidos mediante la regulación de la retención de sodio y la secreción de potasio por las células epiteliales en los túbulos renales.

La corteza suprarrenal responde si la concentración de potasio en el suero aumenta, no hay flujo sanguíneo adecuado en los riñones o la presión sanguínea disminuye. La corteza suprarrenal incrementa la secreción de aldosterona. Como consecuencia, se retiene sodio y aumenta la presión sanguínea (véase *Sistema renina-angiotensina-aldosterona*).



### La mejor protección

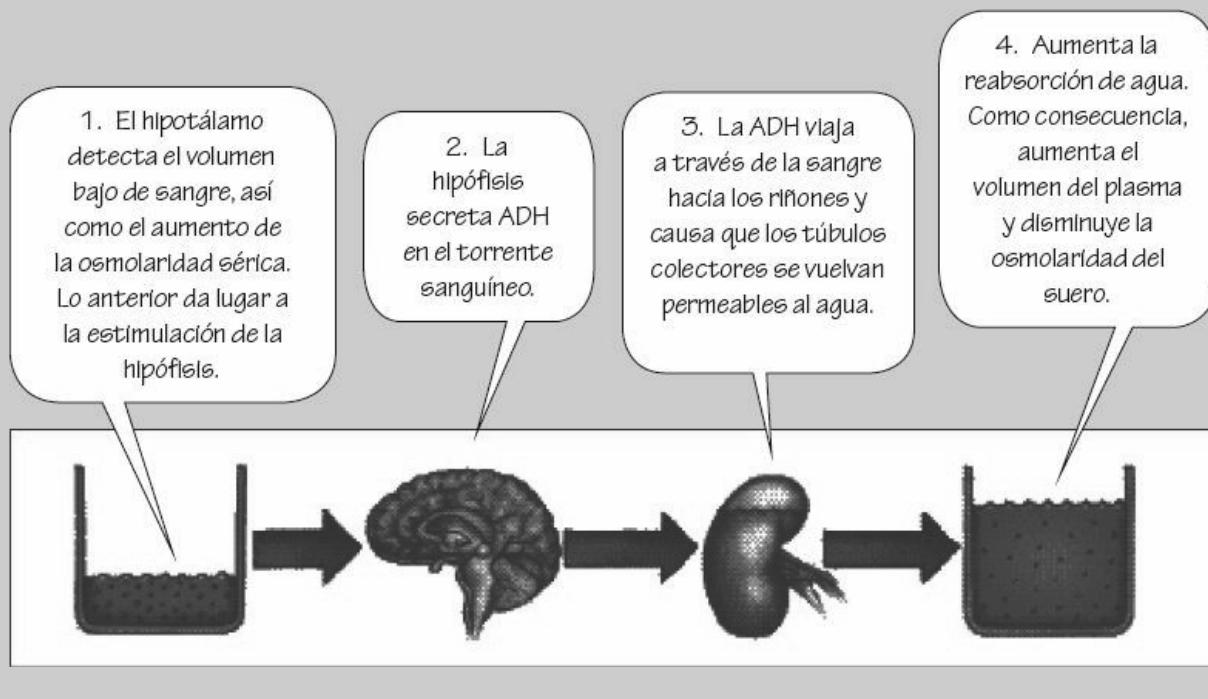
La principal función del sistema renina-angiotensina es ser un mecanismo de defensa para mantener la presión sanguínea en situaciones como hemorragia y pérdida masiva de sodio. La presión sanguínea baja y las concentraciones reducidas de sodio son dos de los tres factores que estimulan a los riñones para liberar renina (el tercero es la estimulación del sistema nervioso simpático).



¡Eureka!

## Cómo funciona la hormona antidiurética

La hormona antidiurética (ADH) regula el equilibrio hídrico en cuatro pasos:



## Eritropoyetina

Los riñones secretan *eritropoyetina* como respuesta a las concentraciones bajas de oxígeno en la sangre dentro de las arterias. Esta hormona viaja a la médula ósea, donde estimula la producción de eritrocitos con el propósito de mejorar la capacidad de transporte de oxígeno en la sangre.

Todo está en el equilibrio

Los riñones también regulan el equilibrio de calcio y fósforo mediante la filtración y reabsorción de casi la mitad del calcio libre en el suero. Además, los riñones activan la vitamina D<sub>3</sub>, un compuesto que facilita la absorción de calcio en el intestino y regula la excreción de fosfato.



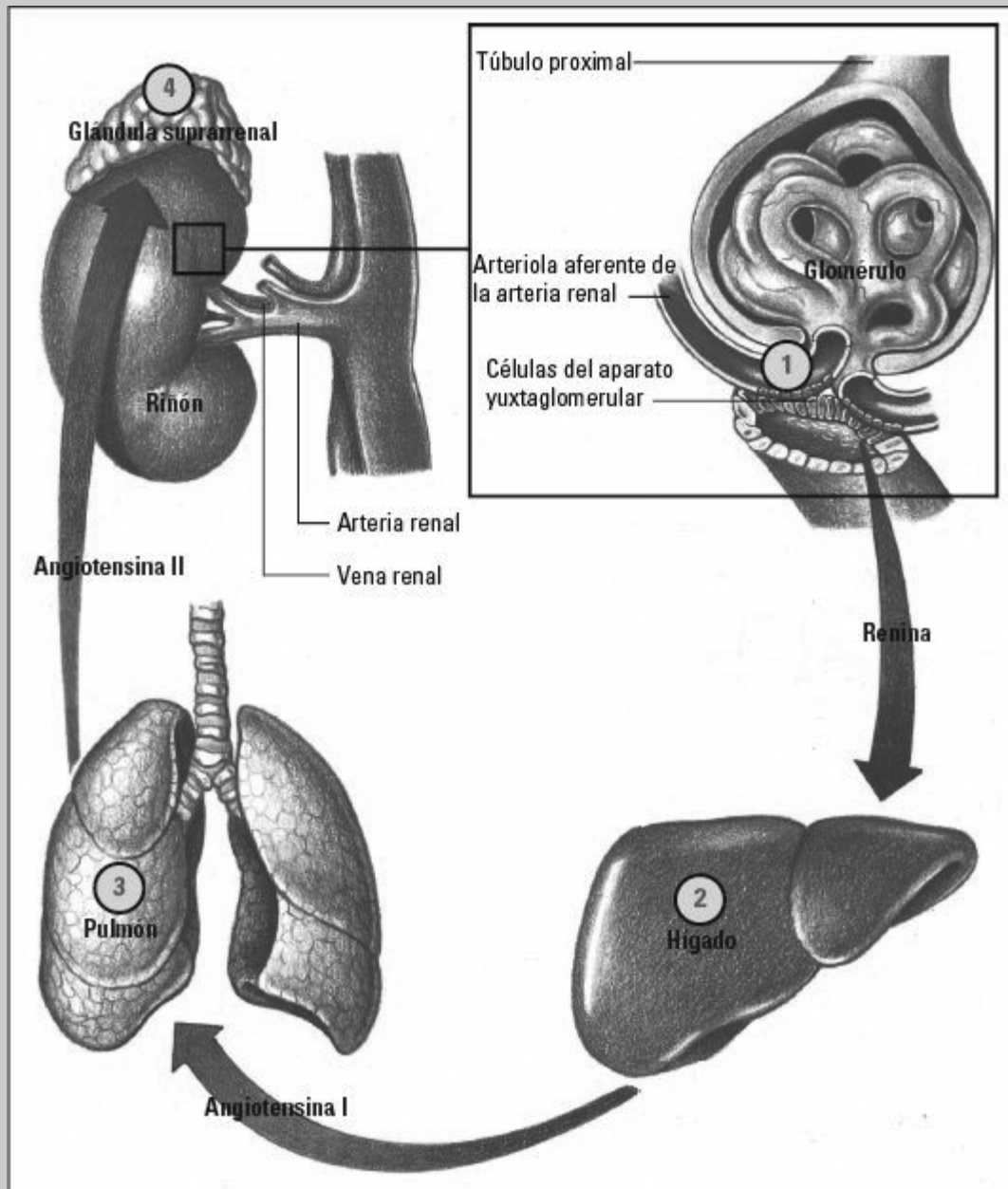
¡Eureka!

## Sistema renina-angiotensina-aldosterona



El sistema renina-angiotensina-aldosterona regula los niveles de sodio y agua en el organismo, y la presión sanguínea. Las células yuxtaglomerulares (1) cercanas al glomérulo secretan renina a la sangre.

La renina circula a través del cuerpo y convierte el angiotensinógeno (2), producido en el hígado, en angiotensina I. Poco después, en los pulmones (3), la angiotensina I es convertida en angiotensina II mediante hidrólisis. La angiotensina II actúa sobre la corteza suprarrenal (4) para estimular la producción de aldosterona. La aldosterona produce su efecto en las células yuxtaglomerulares para aumentar la retención de sodio y agua. También estimula o evita la secreción de más renina, lo que completa el circuito de retroalimentación que se ajusta de manera automática para mantener la homeostasis.



## Preguntas de autoevaluación

1. En el adulto promedio, la vejiga llena puede contener cerca de:  
A. 50-100 mL de orina

- B. 200-300 mL de orina
- C. 500-600 mL de orina
- D. 700-900 mL de orina

**Respuesta:** C. En el adulto, la vejiga puede contener 500-600 mL de orina.

2. El uréter izquierdo es más largo que el derecho debido a que:
- A. El riñón izquierdo está más elevado que el derecho
  - B. El riñón derecho se encuentra más elevado que el izquierdo
  - C. El riñón izquierdo realiza más funciones
  - D. El uréter izquierdo tiene tres capas

**Respuesta:** A. El riñón izquierdo se encuentra un poco más elevado que el derecho. Como consecuencia, el uréter izquierdo necesita ser más largo para alcanzar la vejiga.

3. La micción es el resultado de un proceso involuntario y otro voluntario. Este mecanismo recibe el nombre de:
- A. Proceso renal
  - B. Tasa de filtración glomerular
  - C. Reflejo prostático
  - D. Reflejo miccional

**Respuesta:** D. El *reflejo miccional* es el sistema de señalización que se desencadena cuando la vejiga se llena con orina. Las fibras nerviosas parasimpáticas en la pared de la vejiga causan su contracción, así como la relajación del esfínter interno (en el orificio uretral interno), seguido de la relajación voluntaria del esfínter uretral externo.

4. Una persona ha comenzado un nuevo estilo de vida, por lo que ahora toma al menos 236 mL de agua cada 3 o 4 h. Los riñones responden a este cambio de la siguiente manera:
- A. Producen aldosterona
  - B. Secretan renina
  - C. Aumentan la diuresis
  - D. Secretan eritropoyetina

**Respuesta:** C. La diuresis varía de manera normal de acuerdo con la ingesta de líquidos y el clima. Después de la ingesta de un gran volumen de agua, aumenta la diuresis para eliminar el exceso de líquido.

---

## Puntuación

- ☆☆☆ Si contestaste cuatro preguntas de manera correcta, ¡felicidades! Te ganaste una riñonada.
- ☆☆ Si respondiste tres preguntas de forma acertada, ¡no está mal! Ya aprendiste a viajar por el aparato urinario.
- ☆ Si contestaste menos de tres preguntas de manera correcta, mantén el ánimo. Aún hay bastante tiempo para que te conviertas en un experto.



**¡Diviértete!**

Ordena las siguientes palabras para descubrir los nombres de las capas del riñón. Después, dibuja líneas para unir cada capa con sus características.

TREZOAC LEARN

-----  
-----

LAUDEMNEARLN

-----  
-----

LEVIPS REALN

-----  
-----

- A. Es la parte interna del riñón.
- B. Contiene mecanismos para filtrar la sangre.
- C. Funciona como las cámaras de recolección en el riñón.
- D. Es la parte externa del riñón.
- E. Está protegida por una cápsula fibrosa y tejido adiposo.
- F. Es la parte media del riñón.
- G. Recibe orina a través de los cálices mayores.

Respuesta: CORTEZA RENAL: B, D, E; MÉDULA RENAL: C, F; PÉLVIS RENAL: A, G

---

## Referencias

- Considine, R. V., Rhoades, R. A., & Bell, D. R. (2009). Chapter 38: Fertilization, pregnancy and fetal differentiation. In *Medical physiology: Principles for clinical medicine* (3rd ed.). Baltimore, MD: Lippincott Williams & Wilkins.
- Cooper, T. G.; World Health Organization (WHO). (2010). WHO reference values for human semen characteristics. *Human Reproduction Update*, 16(5), 559.
- Faiz, O., Blackburn, S., & Moffat, D. (2011). *Anatomy at a glance* (3rd ed.). Oxford, UK: Wiley-Blackwell.
- Marieb, E. N., & Hoehn, K. N. (2014). *Human anatomy and physiology: Pearson New International Edition* (9th ed.). Essex, UK: Pearson Education Limited.
- Netter, F. H., Hansen, J. T., & Lambert, D. R. (2005). *Netter's clinical anatomy*. Carlstadt, NJ: Icon Learning Systems.
- Oxford Medical Publications; Wilkins, R., Cross, S., Megson, I., & Meredith, D. (Eds.). (2011). *Oxford handbook of medical sciences*. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Peate, I., & Nair, M. (2015). *Anatomy and physiology for nurses at a glance*. Oxford, UK: Wiley-Blackwell.
- Porter, R. S., Kaplan, J. L., & Merck & Co. (2011). *The Merck manual of diagnosis and therapy*. Whitehouse Station, NJ: Merck Sharp & Dohme Corp.
- Shier, D., Butler, J., & Lewis, R. (2015). *Hole's essentials of human anatomy & physiology* (12th ed.). New York, NY: McGraw-Hill Education.
- Smith, L. B., & Walker, W. H. (2014). The regulation of spermatogenesis by androgens. *Seminars in Cell & Developmental Biology*, 30, 2–13. doi: 10.1016/j.semcdb.2014.02.012.
- Standring, S., & Gray, H. (2008). *Gray's anatomy: The anatomical basis of clinical practice*. Edinburgh, Scotland: Churchill Livingstone/Elsevier.

Waugh, A., & Grant, A. (2014). *Ross and Wilson: Anatomy and physiology in health and illness* (12th ed.).  
Edinburgh, Scotland: Churchill Livingstone/Elsevier.

# Capítulo 15

## Líquidos, electrólitos, ácidos y bases

### Objetivos



En este capítulo aprenderás:

- ◆ La forma en la que se distribuyen los líquidos en el cuerpo
- ◆ La función de los riñones en el equilibrio de los electrólitos
- ◆ Cómo compensa el cuerpo el desequilibrio acidobásico
- ◆ Las principales alteraciones del equilibrio acidobásico

### Equilibrio hídrico

La salud y la homeostasis (equilibrio de varias funciones corporales) en el cuerpo dependen del *equilibrio acidobásico, hídrico y electrolítico*. Los factores que alteran este balance, como las cirugías, enfermedades y lesiones, pueden llevar a cambios potencialmente letales en la actividad metabólica (véase *Cómo se ganan y pierden líquidos en el cuerpo*, p. 250).

### Los cuatro líquidos

El líquido en el cuerpo se compone de agua que contiene los solutos (sustancias disueltas) necesarios para realizar el funcionamiento de los procesos fisiológicos. Los solutos incluyen electrólitos, glucosa, aminoácidos y otros nutrientes. Hay cuatro tipos de líquidos en el cuerpo:

- *Líquido intracelular*: se encuentra dentro de cada una de las células del cuerpo.
- *Líquido intravascular*: es el líquido que se conoce como *plasma*. Está dentro de los vasos sanguíneos y linfáticos.
- *Líquido intersticial*: se encuentra en el tejido que rodea las células.

- *Líquido extracelular*: se trata del líquido en los espacios entre células; incluye el líquido intravascular y el líquido intersticial.



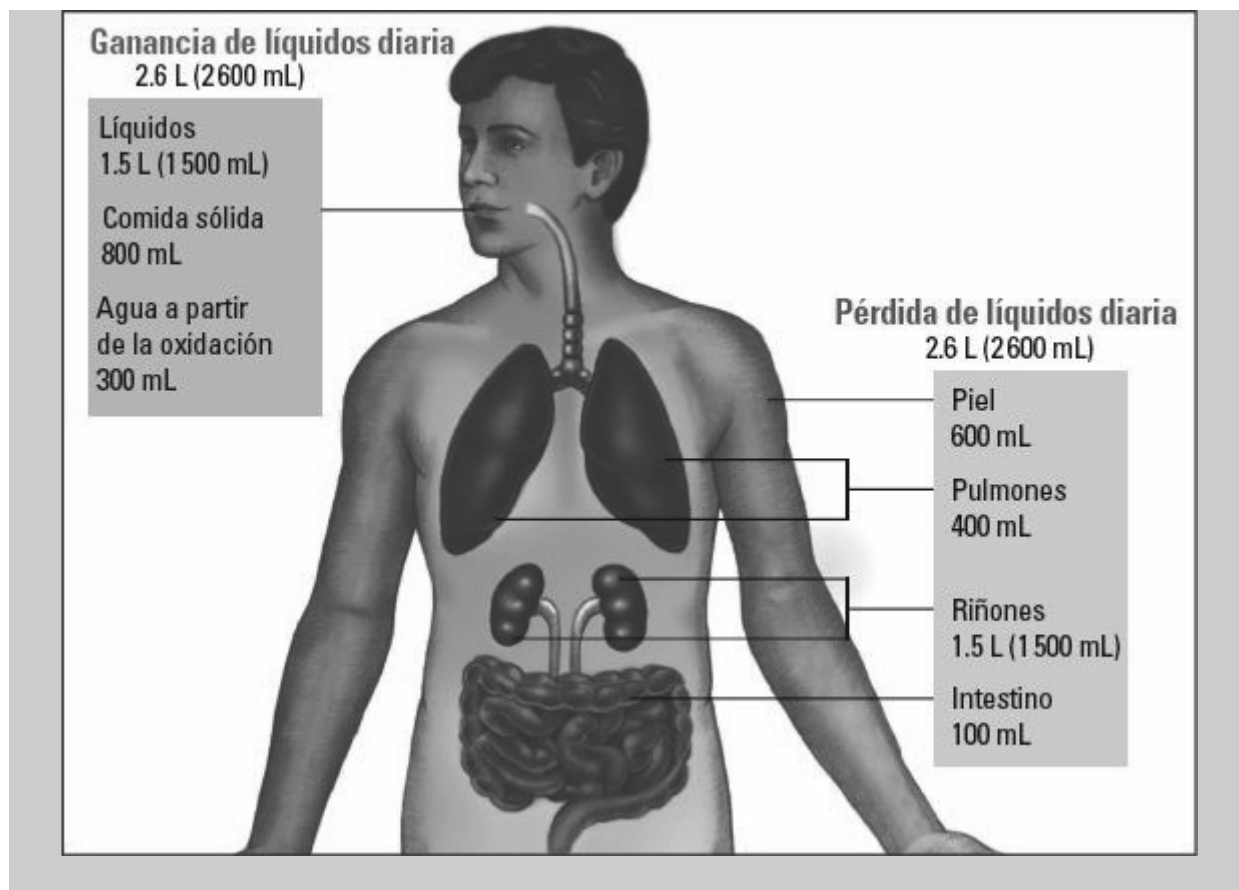
Líquidos, electrólitos, ácidos y bases. Es un acto de equilibrista mantener el cuerpo funcionando de manera correcta.



## La máquina perfecta

### Cómo se ganan y pierden líquidos en el cuerpo

Cada día, el cuerpo absorbe agua mediante el tubo digestivo (comida, líquidos, más el agua de la oxidación) y pierde líquidos a través de la piel, pulmones, intestinos (heces) y aparato urinario (orina). La ilustración muestra los principales sitios implicados en la ganancia y pérdida de líquidos, y el ingreso y egreso normal de éstos.



### El juego de los porcentajes

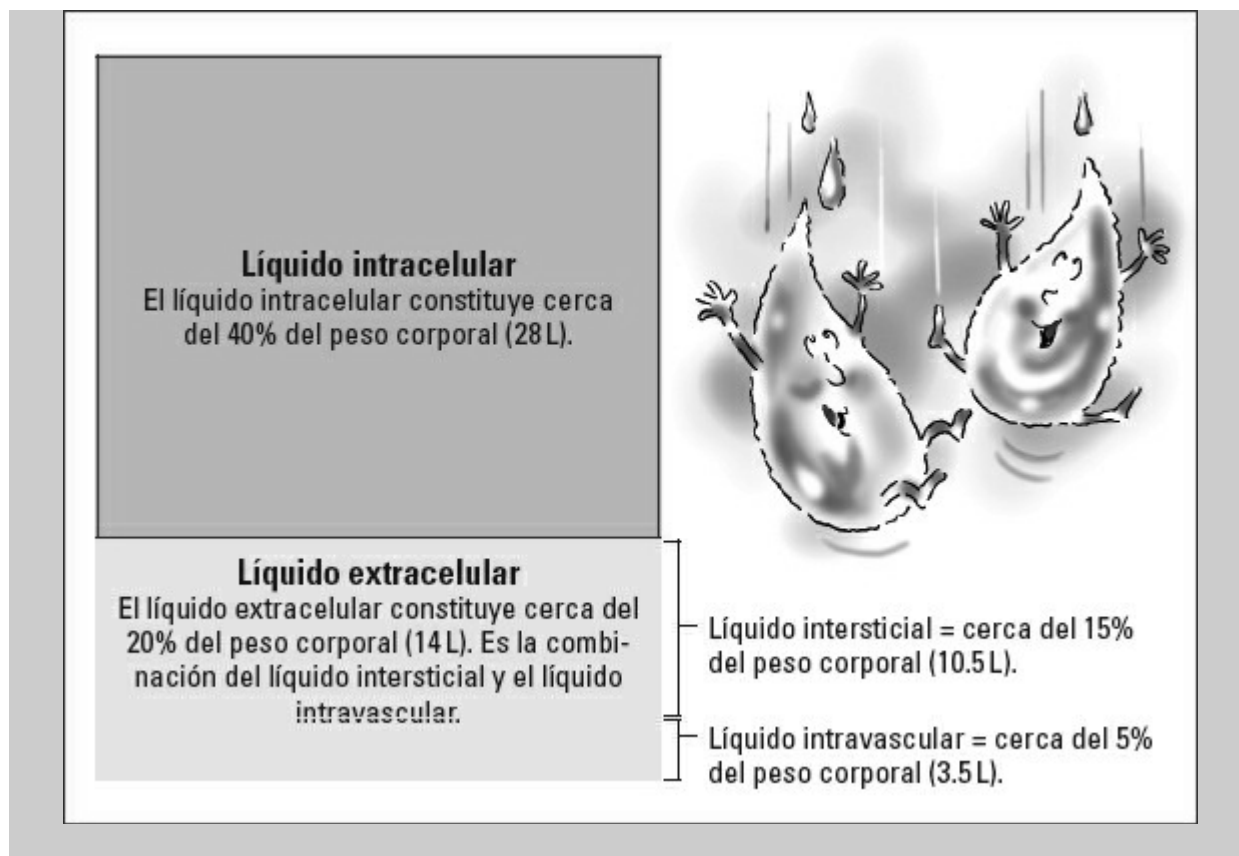
El líquido intracelular y el extracelular conforman cerca del 40 y 20%, respectivamente, del peso corporal total de un adulto (véase *El peso del agua*).

## Movimiento y formas de los líquidos

Los líquidos no se encuentran en formas puras dentro del cuerpo, sino que se encuentran en tres tipos de soluciones: isotónica, hipertónica e hipotónica.

### El peso del agua

El agua en el cuerpo existe dentro de dos compartimentos mayores separados por las paredes de los capilares y membranas de las células. Alrededor de dos terceras partes del agua en el cuerpo se encuentran dentro de la célula como líquido intracelular; el tercio restante está en el exterior de la célula como líquido extracelular.



### Sin cambios

Una solución *isotónica* tiene la misma concentración de solutos que otra solución. Por ejemplo, la solución salina normal es isotónica porque la concentración de sodio en ésta es la misma que la concentración de sodio en la sangre. En casos como el anterior, los dos líquidos en compartimentos adyacentes ya se encuentran en equilibrio, así que no hay movimiento de líquido. La ausencia de un desequilibrio determina un flujo neto de fluidos igual a 0. Las células no se encojen ni aumentan su tamaño, pues no hay pérdida ni ganancia de agua en el interior de la célula.

### Hipo = poco

Las soluciones hipotónicas tienen menores concentraciones de solutos que otras. Considera el siguiente ejemplo. Cuando una solución tiene menor concentración de sodio que otra, la primera es hipotónica en comparación con la segunda. Como consecuencia, el líquido de la primera solución (hipotónica) se desplaza a la segunda solución hasta que ambas tengan una concentración de sodio idéntica. Recuerda que el cuerpo intenta continuamente mantener el equilibrio. La administración de una solución hipotónica puede causar que el agua entre a las células, lo que hace que éstas se hinchen.

### Hiper = mucho

Una solución *hipertónica* tiene mayor concentración de solutos que otra solución. Por ejemplo, cuando una solución tiene más concentración de sodio que otra, la primera es hipertónica en comparación con la segunda. En consecuencia, el líquido de la



segunda solución (hipotónica) se desplaza hacia la primera solución hasta que ambas tengan una concentración de sodio idéntica. De nuevo, recuerda que el cuerpo intenta mantener el equilibrio. Por lo tanto, la administración de una solución hipertónica puede causar que el agua salga de la célula, haciendo que se encojan.

## Movimientos de los líquidos dentro de la célula

Así como el corazón late de manera constante, los líquidos y solutos se mueven sin parar dentro del cuerpo. Este movimiento es el que permite que el cuerpo mantenga la *homeostasis*, el estado de equilibrio que busca el cuerpo.

Los solutos dentro de los compartimentos corporales (intercelular, intersticial e intravascular) se mueven a través de las membranas que los separan. Estas membranas son semipermeables, es decir, permiten que sólo algunos solutos pasen a través de ellas. Los solutos se mueven a través de las membranas a nivel celular mediante difusión (el movimiento de partículas desde un área de mayor concentración hasta un área con menor concentración), transporte activo u ósmosis.

### Corriente arriba

En el *transporte activo*, los solutos pasan de un área de menor concentración a un área de mayor concentración. Imagina que el transporte activo es como nadar en contra de la corriente. Cuando un pez nada en contra de la corriente, necesita utilizar energía.

### En contra de la corriente

La energía necesaria para que un soluto se mueva en contra del gradiente de concentración viene del *trifosfato de adenosina* (ATP, *adenosine triphosphate*). El ATP se almacena en las células y provee energía para el movimiento de solutos hacia el interior o exterior de las células.

Algunos solutos, como el sodio y el potasio, utilizan el ATP para moverse hacia el interior o exterior de la célula en un tipo de transporte activo denominado *bomba de sodio y potasio*. Otros solutos que necesitan transporte activo para poder cruzar la membrana celular son los iones de calcio, hidrógeno, aminoácidos y algunos azúcares.



### Para recordar

Para recordar qué líquido pertenece a qué compartimento, recuerda que *inter* significa entre (como en intermedio) e *intra* significa dentro, o en el interior (como en intravenoso).

### De paso

La *ósmosis* es el transporte pasivo de líquidos a través de una membrana desde un área con concentración menor de solutos y comparativamente mayor concentración

de líquidos en un área con mayor concentración de solutos y comparativamente menor concentración de líquidos. La ósmosis se detiene cuando se ha movido suficiente líquido a través de la membrana para nivelar las concentraciones de solutos a ambos lados de la membrana.

### Hacia dentro

Por lo general, el agua entra al cuerpo desde el tubo digestivo. Cada día, el cuerpo consigue cerca de 1.5 L de agua por los líquidos que se consumen y otros 800 mL por los alimentos. Hasta el 97% del peso de la comida sólida puede ser agua. La oxidación de la comida en el cuerpo produce dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y unos 300 mL de agua de la oxidación.

### Hacia afuera

El agua sale del cuerpo a través de la piel (sudoración), los pulmones (aire espirado), el tubo digestivo (heces) y las vías urinarias (orina).

### La vía principal

La ruta principal por la que el agua abandona el cuerpo es la orina, ya que se excretan de 1-2.6 L todos los días. La pérdida de agua a través de la piel (600 mL) y los pulmones (400 mL) suma hasta 1 L todos los días; sin embargo, puede aumentar con el esfuerzo excesivo, lo que puede causar deshidratación.

### Sin interrupciones

En el cuerpo sano, las ganancias y pérdidas de líquidos se emparejan para mantener el funcionamiento adecuado del cuerpo. Sin embargo, cuando se interrumpe o funciona de manera inadecuada cualquier mecanismo de regulación del equilibrio hídrico, como la sed y el *mecanismo de contracorriente*, puede conducir al desequilibrio de líquidos

### ¡Tengo sed!

El principal regulador del ingreso de líquidos es la *sed*, el deseo consciente de beber agua. Cuando el cuerpo se deshidrata, el volumen de líquido extracelular se reduce, de manera que causa aumento de la concentración de sodio y de la osmolaridad.

Cuando la concentración de sodio alcanza 2 mEq/L por encima del valor normal, se estimulan las neuronas del centro de la sed en el hipotálamo. Entonces, el cerebro envía señales a las neuronas motoras para satisfacer la sed, haciendo que un individuo beba suficiente líquido para reestablecer el líquido extracelular a su nivel normal.

### Todo lo que entra tiene que salir

Gracias al mecanismo de contracorriente, los riñones pueden regular la excreción de agua al modificar la concentración de la orina, es decir, excretando orina de mayor o menor concentración, según el balance hídrico.



## Equilibrio electrolítico

Los *electrólitos* son sustancias que, al disolverse en agua, se *disocian* (separan) en partículas con carga, o iones. Es necesario contar con la cantidad y equilibrio adecuado de todos los electrolitos mayores para mantener el funcionamiento fisiológico normal del cuerpo.

Todos a la carga

Los iones pueden tener carga positiva (*cationes*) o negativa (*aniones*). Entre los cationes mayores se incluyen el sodio, potasio, calcio y magnesio. Entre los aniones mayores están el cloruro, bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) y fosfato.

Casi siempre las cargas de los cationes equilibran las cargas de los aniones, lo que da lugar a que los líquidos en el cuerpo sean neutros en su carga eléctrica. El plasma en la sangre contiene un poco más de electrolitos que el líquido intersticial.

¡Silencio! Nos estamos concentrando

Debido a que los iones están presentes en el cuerpo en concentraciones muy bajas, su cantidad se expresa en miliequivalentes por litro (mEq/L). Las células que regulan el líquido intracelular y el líquido extracelular tienen membranas permeables para diferentes sustancias. Como consecuencia, la composición electrolítica en estos dos compartimentos es diferente (véase *Composición electrolítica del líquido intracelular*

y extracelular).

## Composición electrolítica del líquido intracelular y extracelular

La siguiente tabla muestra la composición electrolítica del líquido intracelular y el líquido extracelular.

| Electrólito | Líquido intracelular | Líquido extracelular     |
|-------------|----------------------|--------------------------|
| Sodio       | 10 mEq/L             | 136-146 mEq/L            |
| Potasio     | 140 mEq/L            | 3.6-5 mEq/L              |
| Calcio      | 10 mEq/L             | 4.5-5.8 mEq/L (ionizado) |
| Magnesio    | 40 mEq/L             | 1.6-2.2 mEq/L            |
| Cloruro     | 4 mEq/L              | 96-106 mEq/L             |
| Bicarbonato | 10 mEq/L             | 24-28 mEq/L              |
| Fosfato     | 100 mEq/L            | 1-1.5 mEq/L              |

### Un equilibrio frágil

Los electrolitos afectan de manera muy importante la distribución de agua en el cuerpo, la osmolaridad y el equilibrio acidobásico. Hay muchos mecanismos en el cuerpo que ayudan a mantener el equilibrio de electrolitos. Si se interrumpe o funciona de manera incorrecta cualquiera de estos mecanismos, puede ocurrir un desequilibrio hidroelectrolítico.

Estos son los mecanismos principales que regulan a los electrolitos más comunes:

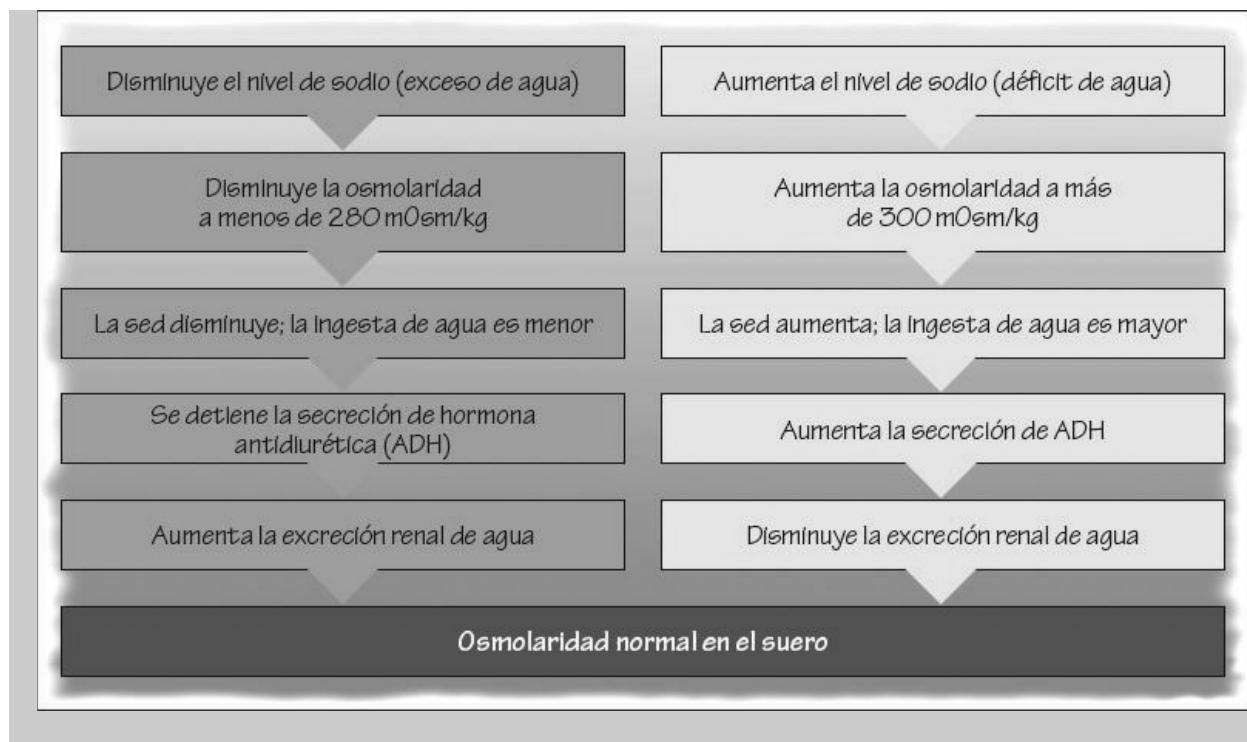
- Los riñones y la hormona denominada *aldosterona* son los principales reguladores de la concentración de sodio. El intestino delgado absorbe el sodio disponible en la comida; la piel y los riñones excretan sodio (véase *Regulación osmótica del sodio y el agua*).



¡Eureka!

### Regulación osmótica del sodio y el agua

El diagrama ilustra los dos mecanismos compensadores empleados para reestablecer el equilibrio de agua y sodio.



- Los riñones también regulan el potasio mediante la acción de la aldosterona. La mayor parte del potasio se absorbe de la comida en el tubo digestivo. Casi siempre, la cantidad excretada equivale a la ingesta de potasio.
- El calcio en la sangre se encuentra generalmente en equilibrio con las sales de calcio en el hueso. El principal regulador del calcio es la hormona paratiroidea o paratohormona (PTH), la cual controla tanto la captación de calcio en el tubo digestivo como su excreción en los riñones.
- El magnesio es controlado por la aldosterona, pues regula la reabsorción de éste en el riñón. El magnesio se absorbe en el tubo digestivo y se excreta en la orina, la leche materna y la saliva.
- Los riñones también regulan el cloruro. Los iones de cloruro se mueven en conjunto con los iones de sodio.
- Los riñones regulan el bicarbonato al absorberlo, excretarlo o producirlo. El bicarbonato, a su vez, tiene una función importante en el equilibrio acidobásico.
- Los riñones regulan el fosfato. El fosfato, que se absorbe de la comida, es incorporado a los huesos junto con el calcio. La hormona paratiroidea es la que controla la concentración de calcio y fosfato.



## Equilibrio acidobásico

Los procesos fisiológicos necesitan un equilibrio acidobásico, la concentración estable de iones hidrógeno en los líquidos del cuerpo.

### Una pregunta ácida

Un *ácido* es una sustancia que libera iones hidrógeno cuando está *disociada* (cambio de un compuesto complejo a uno simple) en una solución. Un ácido fuerte se disocia casi por completo y libera gran cantidad de iones hidrógeno.

### Una respuesta básica

Una *base* se disocia en agua y libera iones que se pueden combinar con iones hidrógeno. Al igual que un ácido fuerte, una base fuerte se disocia casi por completo y libera muchos iones.

La concentración de iones hidrógeno en un líquido determina si es ácido o básico (alcalino). Una solución *neutra*, como el agua, se disocia muy poco (véase *El pH*).

### Más iones, por favor

El cuerpo produce ácidos, por lo que es capaz de liberar iones hidrógeno mediante los

siguientes mecanismos:



¡Eureka!

## El pH

La cantidad del ion hidrógeno ( $H^+$ ) se expresa con frecuencia como pH, la cual indica el grado de acidez o alcalinidad de una solución.

- Cuando el pH de una sustancia es 7, la sustancia es neutra, con cantidades idénticas de iones  $H^+$  e hidroxilo u oxidrilo ( $OH^-$ ).
- Una solución *ácida* tiene más iones  $H^+$  que  $OH^-$ ; su pH es menor de 7.
- Una solución *alcalina* tiene menos iones  $H^+$  que  $OH^-$ ; su pH es mayor de 7.

En resumen, a medida que la cantidad del ion  $H^+$  aumenta, el pH disminuye.

### 1 = 10

Como el pH es una expresión exponencial, el cambio de una unidad de pH refleja que la cantidad de iones  $H^+$  ha aumentado o disminuido 10 veces. Por ejemplo, una solución con pH de 7 tiene diez veces más iones  $H^+$  que una solución con pH de 8.

- El catabolismo de las proteínas libera ácidos no volátiles, como ácido sulfúrico, fosfórico y úrico.
- La oxidación de lípidos produce cuerpos cetónicos ácidos.
- El catabolismo anaeróbico de la glucosa produce ácido láctico.
- El metabolismo intracelular produce  $CO_2$  como producto secundario; el  $CO_2$  se disuelve en los líquidos del cuerpo para formar ácido carbónico ( $H_2CO_3$ ).

## Amortiguadores del pH

El control del pH en el cuerpo es tan eficaz que, en condiciones normales, sólo varía entre 7.35 y 7.45, incluso con la producción de todos los ácidos mencionados. El equilibrio acidobásico depende de sistemas de amortiguadores, los pulmones y los riñones. Estos órganos neutralizan y eliminan ácidos de manera tan rápida como son producidos.

Si se interrumpe o altera un sistema de amortiguación o cualquier otro mecanismo implicado, se pierde el equilibrio acidobásico. La acidosis se produce cuando la cantidad de iones hidrógeno aumenta sobre los valores normales. La alcalosis tiene lugar cuando la cantidad de iones hidrógeno disminuye por debajo de los valores normales. Tanto la alcalosis como la acidosis pueden ocurrir ante la presencia de trastornos respiratorios, metabólicos o ambos (véase *Comprender la acidosis y alcalosis*, p. 258).



¡Eureka!

## Comprender las acidosis y alcalosis respiratorias y metabólicas

Lic. Gavino

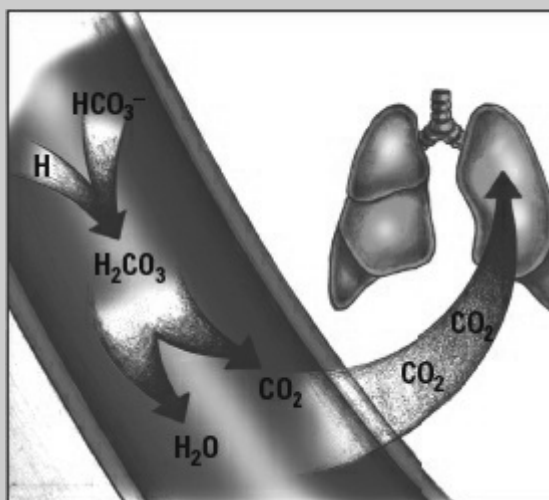
367

- COMPARTIR NO TIENE LÍMITES -

## Qué pasa durante la alcalosis respiratoria

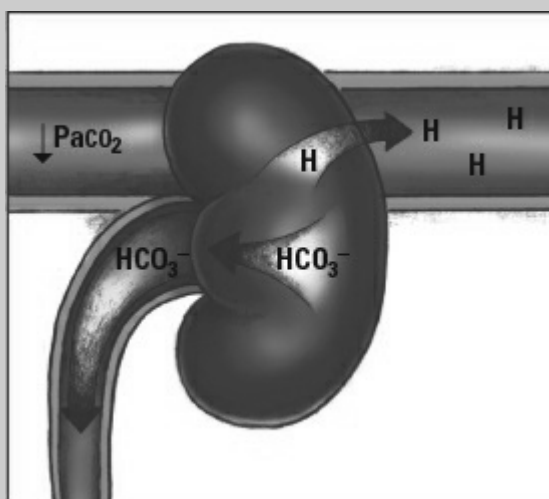
### Paso 1

Cuando la ventilación pulmonar aumenta más allá de la cantidad necesaria para mantener la cantidad normal de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), se exhalan cantidades excesivas de  $\text{CO}_2$ . Como resultado, se observa hipocapnia (disminución de la presión parcial de dióxido de carbono,  $\text{PaCO}_2$ ) y disminuye la producción de ácido carbónico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ), se pierden iones hidrógeno ( $\text{H}^+$ ) y bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ), lo que aumenta el pH. Encontrarás niveles de pH mayores de 7.45,  $\text{PaCO}_2$  menores de 35 mm Hg y  $\text{HCO}_3^-$  menor de 22 mEq/L (como se muestra a la derecha).



### Paso 2

Para defenderse del pH en aumento, los iones  $\text{H}^+$  pasan de las células a la sangre, intercambiándose por iones potasio ( $\text{K}^+$ ). Los iones  $\text{H}^+$  que entran en la sangre se combinan con iones  $\text{HCO}_3^-$  para formar  $\text{H}_2\text{CO}_3$ , el cual disminuye el pH. Encontrarás aún más reducción en el valor de  $\text{HCO}_3^-$ , una caída en el pH y disminución del  $\text{K}^+$  en suero (hipokalemia).



### Paso 3

La hipocapnia estimula los cuerpos aórticos y carotídeos y el bulbo raquídeo para aumentar la frecuencia cardíaca sin incrementar la presión sanguínea (como se muestra en la derecha). Se debe investigar si hay dolor de pecho (angina de pecho), cambios en el electrocardiograma, ansiedad e inquietud.

### Paso 4

Al mismo tiempo, la hipocapnia produce vasoconstricción en los vasos del cerebro y reducción en el flujo sanguíneo cerebral. La hipocapnia estimula de manera excesiva el bulbo raquídeo, el puente y otras partes del sistema nervioso autónomo. Encontrarás aumento en la ansiedad, diaforesis, disnea, períodos que alternan entre apnea e hiperventilación, mareos y cosquilleo en dedos de manos y pies.

### Paso 5



Cuando la hipocapnia persiste por más de 6 h, los riñones aumentan la excreción de  $\text{HCO}_3^-$  y reducen la excreción de  $\text{H}^+$  (como se muestra a la derecha). Puede haber períodos de apnea si el pH se mantiene alto y la  $\text{PaCO}_2$  se mantiene baja. Encontrarás frecuencia respiratoria disminuida, hipoventilación y respiración de Cheyne-Stokes.

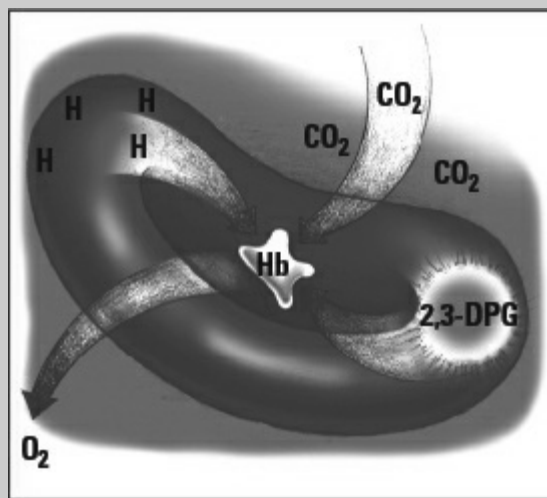
#### **Paso 6**

La  $\text{PaCO}_2$  disminuida provoca hipoxia en el cerebro debido a la vasoconstricción. La alcalosis grave inhibe la ionización de calcio (Ca), lo que da lugar al aumento en la excitabilidad nerviosa (y contracción muscular). Al final, la alcalosis sobrecarga el sistema nervioso central y el corazón. Encontrarás disminución en la consciencia, hiperreflexia, espasmo carpopedal, tetania, arritmias, convulsiones y coma.

### **Qué pasa durante la acidosis respiratoria**

#### **Paso 1**

Cuando disminuye la ventilación pulmonar, el  $\text{CO}_2$  retenido se combina con el agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ) para formar  $\text{H}_2\text{CO}_3$  en cantidades mayores a las habituales. El  $\text{H}_2\text{CO}_3$  se disocia para liberar  $\text{H}^+$  y  $\text{HCO}_3^-$ . El exceso de  $\text{H}_2\text{CO}_3$  ocasiona que descienda el pH. Encontrarás valores de  $\text{PaCO}_2$  mayores de 45 mm Hg y un pH menor de 7.35.



#### **Paso 2**

A medida que disminuye el pH, aumenta el 2,3-difosfoglicerato (2,3-DPG) en los eritrocitos, y causa cambios en la hemoglobina (Hb) que hacen que ésta libere oxígeno ( $\text{O}_2$ ). La Hb modificada, ahora alcalina, recoge  $\text{H}^+$  y  $\text{CO}_2$ , por lo que puede eliminar algunos iones  $\text{H}^+$  y exceso de  $\text{CO}_2$  (como se muestra a la derecha). Encontrarás disminución de la saturación de oxígeno en las arterias.

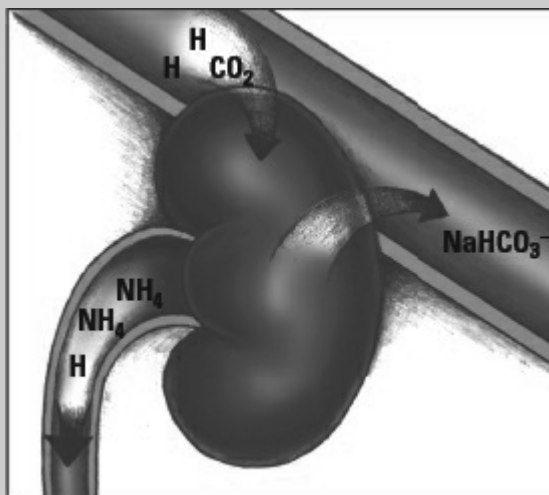
#### **Paso 3**

Todas las veces que aumenta la  $\text{PaCO}_2$ , el  $\text{CO}_2$  se acumula en todos los órganos y tejidos, incluyendo el líquido cefalorraquídeo y el centro respiratorio del bulbo raquídeo. El  $\text{CO}_2$  reacciona con el  $\text{H}_2\text{O}$  para formar  $\text{H}_2\text{CO}_3$ , el cual se disocia en  $\text{H}^+$  y  $\text{HCO}_3^-$ . La gran cantidad de  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}^+$  libre estimula el centro respiratorio para aumentar la frecuencia respiratoria. Con una frecuencia respiratoria mayor, se elimina más  $\text{CO}_2$ , lo que ayuda a disminuir el  $\text{CO}_2$  en sangre y otros tejidos. Encontrarás reaperiación rápida y superficial, y disminución de la  $\text{PaCO}_2$ .

#### **Paso 4**

En algún momento, el  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}^+$  hacen que los vasos sanguíneos en el cerebro se dilaten para aumentar el flujo sanguíneo. Este flujo sanguíneo que ha aumentado puede causar edema cerebral y afectar la función del sistema nervioso. Encontrarás cefalea, confusión, letargia, náuseas y vómitos. Conforme fallan los mecanismos respiratorios de compensación, la  $\text{PaCO}_2$  en aumento estimula los riñones para conservar  $\text{HCO}_3^-$  y  $\text{Na}^+$ , y a eliminar iones  $\text{H}^+$ , algunos de los cuales se eliminan en forma de amonio ( $\text{NH}_4$ ). El  $\text{HCO}_3^-$  adicional y  $\text{Na}^+$  se combinan para crear más bicarbonato de sodio ( $\text{NaHCO}_3^-$ ), una sustancia que es capaz de amortiguar más iones  $\text{H}^+$  libres (como se muestra a la derecha). Encontrarás un incremento en el contenido de ácido en la orina, aumento del pH en sangre y  $\text{HCO}_3^-$ , así como respiración

disminuida.



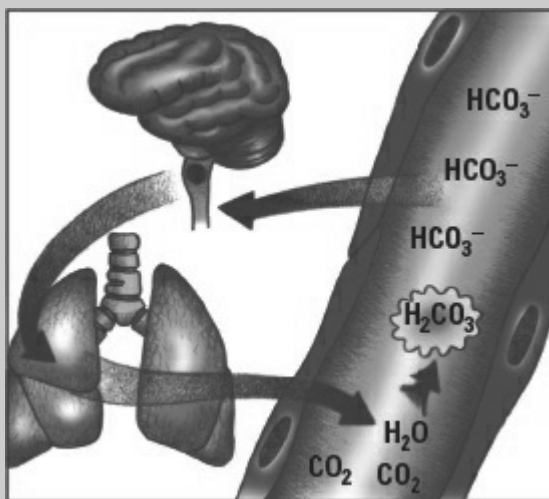
#### **Paso 5**

Conforme la concentración de iones  $H^+$  supera los mecanismos de compensación del cuerpo, los iones  $H^+$  entran a la célula y los iones  $K^+$  salen de ésta. Junto con la falta de  $O_2$ , aumenta la producción de ácido láctico, lo que afecta aún más el equilibrio acidobásico y altera las funciones neurológicas y cardíacas. Encontrarás hipokalemia, arritmias, aumento de la  $PaCO_2$ , disminución de la presión parcial de oxígeno, descenso en el pH y consciencia disminuida.

#### **Qué pasa durante la alcalosis metabólica**

##### **Paso 1**

A medida que el  $HCO_3^-$  comienza a acumularse en el cuerpo, los amortiguadores químicos en las células y el líquido extracelular se unen a los iones. No hay signos evidentes durante esta etapa.



##### **Paso 2**

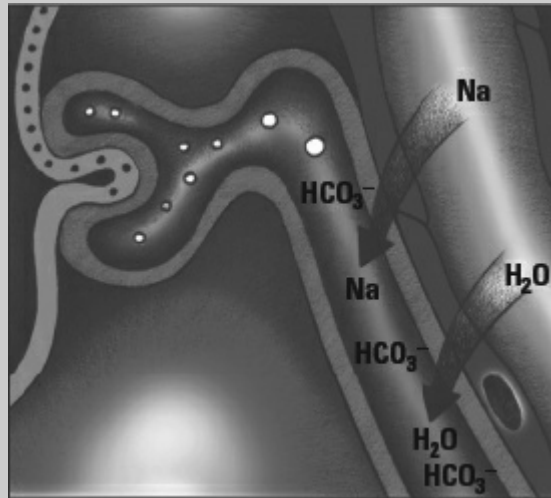
El  $HCO_3^-$  en exceso que no se combinó con las sustancias amortiguadoras aumenta el pH. En consecuencia, los quimiorreceptores del bulbo raquídeo se deprimen. Este proceso ocasiona que disminuya la frecuencia respiratoria y aumente la  $PaCO_2$ . El  $CO_2$  en exceso se combina con  $H_2O$  para formar  $H_2CO_3$  (como se muestra a la derecha). Nota: el  $O_2$  bajo limita la capacidad compensatoria de la respiración. Encontrarás un pH en suero mayor de 7.45,  $HCO_3^-$  mayor de 26 mEq/L,  $PaCO_2$  en aumento y respiración superficial y lenta.

##### **Paso 3**

Cuando el  $HCO_3^-$  supera los 28 mEq/L, los glomérulos renales no son capaces de reabsorber el exceso de esta sustancia. El exceso de  $HCO_3^-$  se excreta en la orina y se retienen iones  $H^+$ . Encontrarás orina alcalina y valores de pH y  $HCO_3^-$  que regresan poco a poco a la normalidad.

#### **Paso 4**

Para mantener el equilibrio electroquímico, los riñones excretan el exceso de iones  $\text{Na}^+$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  y  $\text{HCO}_3^-$  (como se muestra a la derecha). Al inicio, se debe investigar si hay poliuria y después signos de hipovolemia, incluyendo sed y sequedad de mucosas.



#### **Paso 5**

La disminución del nivel de los iones  $\text{H}^+$  en el líquido extracelular determina que los iones difundan hacia el exterior de las células. Con el propósito de mantener el equilibrio de cargas en la membrana celular, el  $\text{K}^+$  extracelular se mueve hacia el interior de la célula. Encontrarás signos de hipocalcemia, como anorexia, debilidad muscular, pérdida de los reflejos y otros.

#### **Paso 6**

Una vez que disminuyen los iones  $\text{H}^+$ , se reduce la ionización de  $\text{Ca}$ . Este descenso en la ionización hace que las células nerviosas sean más permeables al  $\text{Na}^+$ . Los iones de sodio que se mueven al interior de la célula producen hiperexcitabilidad del sistema nervioso periférico y del sistema nervioso central. Encontrarás tetania, agresividad, irritabilidad, desorientación y convulsiones.

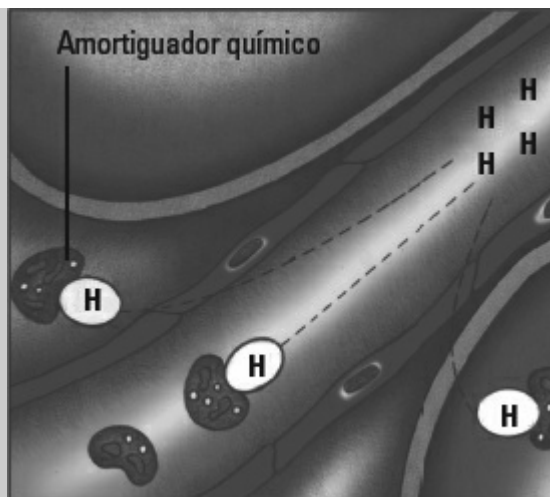
La alcalosis metabólica progresa hasta causar tetania, agresividad, irritabilidad, desorientación y convulsiones.



#### **Qué pasa durante la acidosis metabólica**

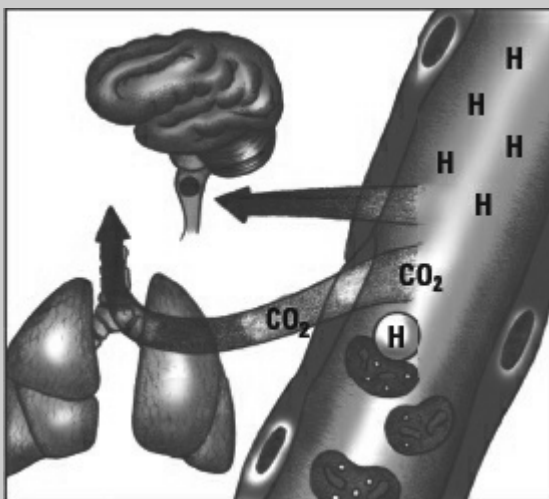
##### **Paso 1**

Conforme se acumulan los iones hidrógeno en el cuerpo, los amortiguadores químicos ( $\text{HCO}_3^-$  en el plasma y proteínas) en la célula y el líquido extracelular se unen a éstos (como se muestra a la derecha). No hay signos clínicos evidentes durante esta etapa.



### **Paso 2**

Los iones  $H^+$  en exceso (que no se pueden unir a los amortiguadores) disminuyen el pH y estimulan los quimiorreceptores en el bulbo raquídeo para aumentar la frecuencia respiratoria. La frecuencia respiratoria alta hace que disminuya la  $Pa_{CO_2}$ , lo que permite que más iones  $H^+$  se unan al  $HCO_3^-$ . La compensación respiratoria ocurre en pocos minutos, pero no es suficiente para corregir el desequilibrio (véase la segunda ilustración). Encontrarás pH menor de 7.35,  $HCO_3^-$  menor de 22 mEq/L, decremento en la  $Pa_{CO_2}$  y respiración rápida y profunda.



### **Paso 3**

Los riñones sanos intentan compensar la acidosis mediante la secreción del exceso de  $H^+$  hacia los túbulos renales. Estos iones son amortiguados por el fosfato o el amoníaco, y se excretan en la orina como un ácido débil. Encontrarás orina ácida.

### **Paso 4**

Por cada ion  $H^+$  que se secreta hacia el túbulo renal, un ion  $Na^+$  y un ion  $HCO_3^-$  se absorben desde los túbulos hasta la sangre. Encontrarás pH y niveles de  $HCO_3^-$  que regresan poco a poco a la normalidad.

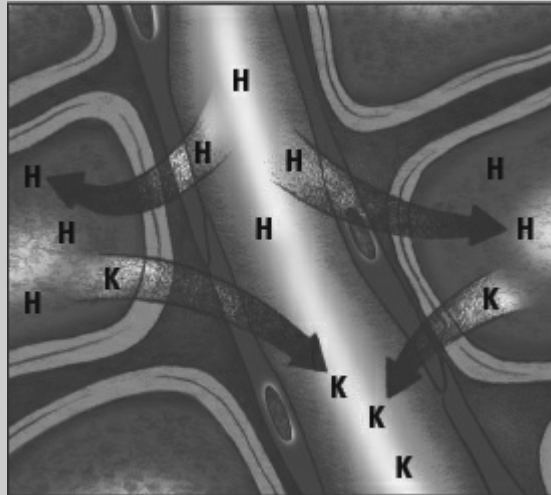
### **Paso 5**

El exceso de iones  $H^+$  en el líquido extracelular se difunde al interior de las células. Con la finalidad de mantener el equilibrio entre cargas a través de la membrana, las células liberan  $K^+$  hacia la sangre (como se muestra a la derecha). Encontrarás signos de hipercalemia, por ejemplo, cólicos intestinales, diarrea, debilidad, parálisis flácida, cosquilleo y adormecimiento en las extremidades, bradicardia, ondas T aumentadas, intervalo PR alargado y complejo QRS alargado.

### **Paso 6**

El exceso de iones  $H^+$  modifica el equilibrio normal de  $K^+$ ,  $Na^+$  y  $Ca^{2+}$ , lo que causa que disminuya la excitabilidad de los nervios. Encontrarás signos y síntomas de depresión progresiva del sistema nervioso

central, como letargia, cefalea sorda, confusión, estupor y coma.



---

## Sistemas de amortiguación

Los *amortiguadores* son sustancias que previenen cambios en el pH al eliminar o liberar iones hidrógeno. Los sistemas de amortiguación disminuyen el efecto del cambio brusco en la concentración de iones hidrógeno mediante la conversión de un ácido o base fuerte (que se disocia por completo) en uno débil (que libera menos iones hidrógeno).

Los sistemas de amortiguación que ayudan a mantener el equilibrio acidobásico son:

- Sistema de amortiguación por bicarbonato de sodio-ácido carbónico
- Sistema de amortiguación por fosfato
- Sistema de amortiguación por proteínas

Los riñones y los pulmones trabajan en equipo

El *sistema de amortiguación por bicarbonato de sodio-ácido carbónico* es el principal sistema de amortiguación en el líquido extracelular. La concentración de bicarbonato de sodio se regula en los riñones; la concentración de ácido carbónico se regula en los pulmones. Ambas partes de este sistema se renuevan de manera constante. La base fuerte (hidróxido de sodio) es reemplazada por bicarbonato de sodio y agua ( $H_2O$ ) como resultado de la acción del sistema. El hidróxido de sodio se disocia casi por completo y libera gran cantidad de hidroxilo. Si se añade un ácido fuerte, ocurre lo contrario.

El fosfato hace lo suyo

El *sistema de amortiguación por fosfato* trabaja al regular del pH de los líquidos a medida que pasan por los riñones. También es importante en el líquido extracelular.

Absorción de iones

Las proteínas amortiguadoras pueden existir como sales alcalinas o ácidas. En el *sistema de amortiguación por proteínas*, las proteínas intracelulares absorben iones hidrógeno (H<sup>+</sup>) que se produjeron durante el metabolismo.



---

## Pulmones

El sistema de amortiguación por proteínas cambia el pH de la sangre en 3 min o menos al modificar la frecuencia respiratoria. Cuando disminuye la frecuencia respiratoria, se reduce el intercambio y liberación de CO<sub>2</sub>, disminuye el hidrógeno y aumenta el pH. Los iones hidrógeno, presentes en todos los ácidos, son protones que pueden añadirse o eliminarse de una solución para cambiar el pH.

La respiración tiene una función importante en el control del pH. Los pulmones excretan CO<sub>2</sub> y regulan el contenido de ácido carbónico en la sangre. El ácido carbónico proviene del CO<sub>2</sub> y el agua que se produjeron durante la actividad metabólica en la célula.

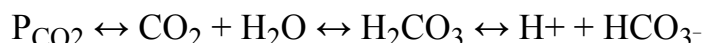
La fórmula lo dice todo

El CO<sub>2</sub> es soluble en el plasma. Una parte de los gases disueltos en el plasma reaccionan con agua para crear ácido carbónico, un ácido débil que se rompe de manera parcial para formar hidrógeno y bicarbonato. La siguiente fórmula refleja el equilibrio en el que se encuentran estas tres sustancias:



El CO<sub>2</sub> disuelto en el plasma está en equilibrio con el CO<sub>2</sub> en el alvéolo del

pulmón (presión parcial de dióxido de carbono [ $P_{CO_2}$ ]). Así, existe equilibrio entre la  $P_{CO_2}$  del alvéolo y las diferentes formas de  $CO_2$  en el plasma, como lo muestra la siguiente fórmula:



### No dejes de respirar

El cambio en la frecuencia o profundidad de la respiración puede alterar el contenido de  $CO_2$  dentro del alvéolo y la  $P_{CO_2}$  alveolar. El cambio de la  $P_{CO_2}$  en el alvéolo produce un cambio correspondiente en la cantidad de ácido carbónico que es formado por el  $CO_2$  disuelto. Todos estos cambios estimulan el centro respiratorio para que modifique la frecuencia y profundidad de la respiración.

El incremento en la  $P_{CO_2}$  alveolar aumenta la concentración de  $CO_2$  y ácido carbónico. Lo anterior estimula el centro respiratorio para aumentar la frecuencia y profundidad de la respiración. Como consecuencia, disminuye la  $P_{CO_2}$  en el alvéolo, lo que lleva a la reducción correspondiente de la concentración sanguínea de ácido carbónico y  $CO_2$  (véase *Cómo los mecanismos respiratorios afectan el pH*, p. 264).

La disminución en la frecuencia y profundidad de la respiración tiene el efecto contrario: aumenta la  $P_{CO_2}$  en el alvéolo, y desencadena el incremento de la concentración de  $CO_2$  y ácido carbónico en sangre.

---

## Riñones

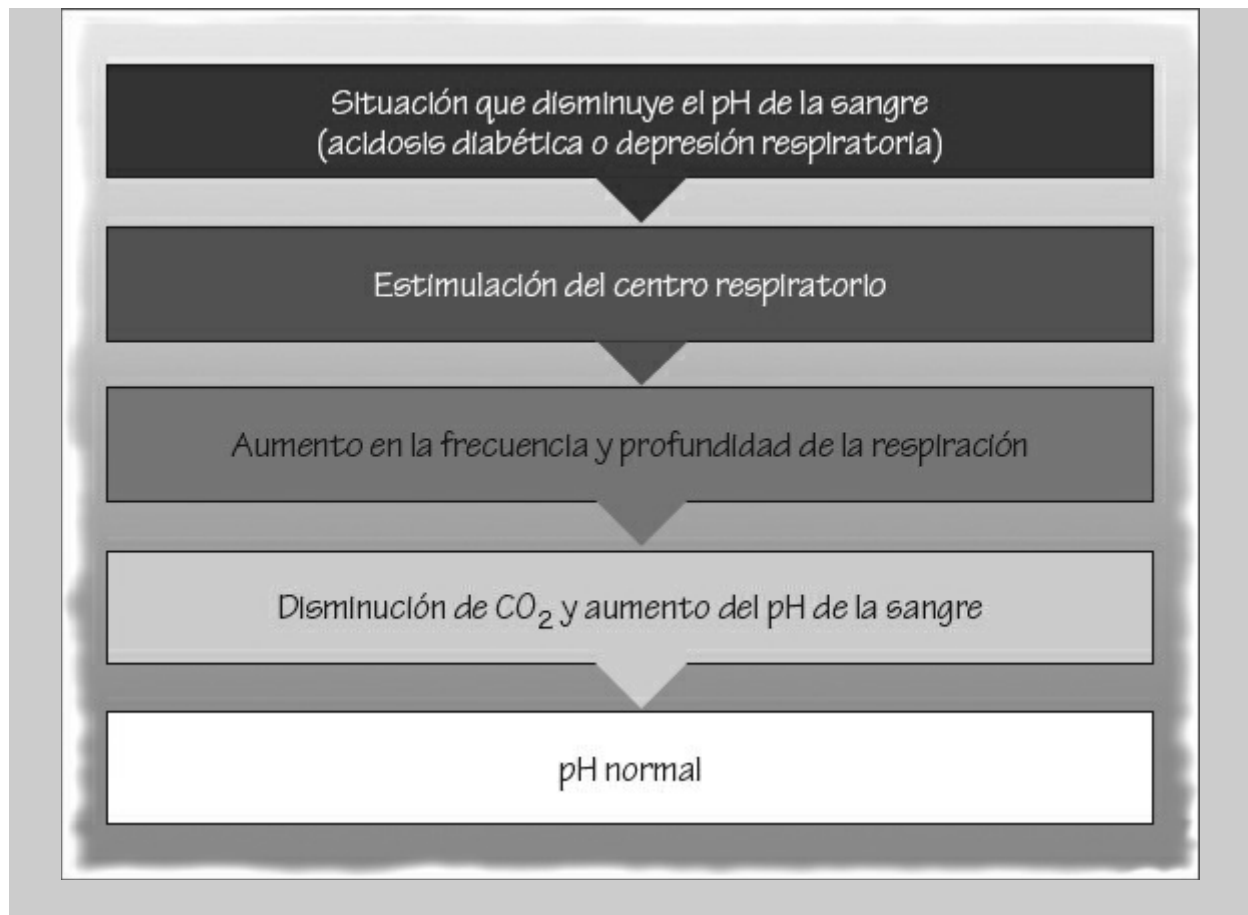
Además de excretar diferentes tipos de desechos, los riñones ayudan a mantener el equilibrio acidobásico mediante la regulación de la concentración de bicarbonato en sangre. Permiten la reabsorción de bicarbonato en los túbulos renales y crean más bicarbonato para reemplazar el que se ha utilizado para amortiguar ácidos.



¡Eureka!

### Cómo los mecanismos respiratorios afectan el pH

Un pH sanguíneo bajo estimula el centro respiratorio y causa *hiperventilación*. Lo anterior da lugar a que disminuyan las concentraciones de dióxido de carbono ( $CO_2$ ). Por lo tanto, hay menos iones hidrógeno y ácido carbónico en la sangre. Después, el pH de la sangre aumenta y algunas veces alcanza valores normales.



## Secreción tubular de iones

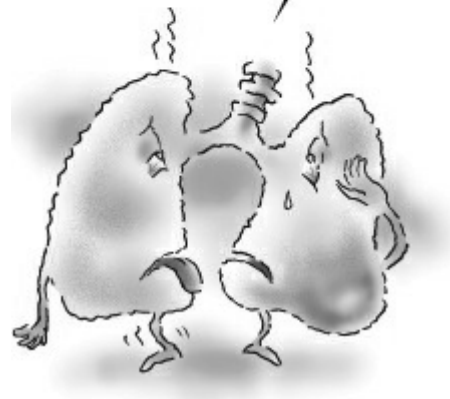
La recuperación y producción de bicarbonato en los riñones depende de la secreción de iones hidrógeno a cambio de iones sodio en los túbulos renales. A la vez, los iones sodio se reabsorben para regresarlos a la sangre.

### Una enzima muy influyente

Las células epiteliales de los túbulos renales logran producir ácido carbónico a partir del CO<sub>2</sub> y agua gracias a la *anhidrasa carbónica*. El ácido carbónico se disocia de manera rápida en los iones hidrógeno y bicarbonato. Los iones hidrógeno entran al túbulo renal a cambio de iones sodio. Los iones bicarbonato pasan a la sangre junto con los iones sodio que fueron reabsorbidos. El bicarbonato vuelve a reabsorberse desde los túbulos.



La hiperventilación es consecuencia del aumento del dióxido de carbono o el incremento del pH de la sangre. Eso nos hace trabajar más duro.



A los iones les gusta estar juntos

Todos los iones secretados hacia los túbulos renales se unen con un ion bicarbonato para formar ácido carbónico, el cual se disocia en  $\text{CO}_2$  y agua. El  $\text{CO}_2$  se difunde al interior de las células epiteliales del túbulo, donde se combina con más agua para formar más ácido carbónico.

## Reabsorción de bicarbonato

Las moléculas de agua que quedan en el túbulo renal se eliminan en la orina. Conforme los iones hidrógeno entran al túbulo para combinarse con bicarbonato, un ion bicarbonato en la célula epitelial se difunde a la circulación. Este proceso se denomina *reabsorción de bicarbonato* (el ion bicarbonato que entra a la circulación no es el mismo que entró al túbulo).

## Producción de amoníaco y sales de fosfato

Los riñones deben secretar más iones hidrógeno a cambio de iones sodio para crear más bicarbonato. El exceso de iones hidrógeno debe combinarse con otras sustancias dentro de los túbulos y excretarse para que los túbulos renales puedan secretar más iones hidrógeno. Este exceso de iones puede combinarse con amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), producido en el túbulo renal, o sales de fosfato en el túbulo renal.

## Iones en movimiento

El amoníaco que ha entrado en el túbulo renal se combina con los iones hidrógeno para formar iones amonio. Estos iones amonio se excretan en la orina junto con cloruro y otros iones. Cada molécula de amoníaco elimina un ion hidrógeno.

Al mismo tiempo, los iones sodio que se han absorbido y se han intercambiado por iones hidrógeno entran en la circulación, al igual que el bicarbonato generado en las células epiteliales del túbulo. Algunos iones hidrógeno secretados se combinan con el *fosfato disódico* ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ) en el túbulo renal. Todos los iones hidrógeno secretados que se combinan con el fosfato disódico provocan el cambio de la sal disódica a la sal monosódica *fosfato monosódico* ( $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ ). El sodio que se ha liberado en esta reacción puede reabsorberse a la circulación junto con el nuevo ion de bicarbonato.

## Factores que afectan la producción de bicarbonato

Son dos factores los que afectan la tasa de producción de bicarbonato en los túbulos renales:

- La cantidad de  $\text{CO}_2$  disuelto en el plasma
- La cantidad de potasio en las células de los túbulos

Si aumentan los valores de  $\text{CO}_2$  en el plasma, las células de los túbulos renales producen más bicarbonato. El incremento del  $\text{CO}_2$  en el plasma promueve la formación de ácido carbónico en las células de los túbulos renales.

## Reacción en cadena

La disociación parcial del ácido carbónico produce más iones hidrógeno para que sean secretados hacia el túbulo renal. Lo anterior permite que se liberen más iones bicarbonato a la circulación. En conjunto, estos procesos permiten que aumente la concentración de bicarbonato en la sangre y disminuya la cantidad de  $\text{CO}_2$  a cifras normales. Si el  $\text{CO}_2$  en la sangre decrece, las células de los túbulos renales producen menos ácido carbónico.

Como se producen y excretan menos iones hidrógeno, entra menos bicarbonato en la circulación. La concentración de bicarbonato en el plasma disminuye.



### ¡Qué potasio!

El contenido de potasio en las células del túbulo renal también regula el bicarbonato en el plasma al modificar la velocidad con la que el túbulo renal libera iones hidrógeno. Las concentraciones de potasio e hidrógeno dentro de la célula del túbulo están correlacionadas de manera inversa y proporcional. Si la secreción de iones hidrógeno aumenta en el túbulo, la secreción de iones potasio disminuye; si se reduce la secreción de iones hidrógeno, la de potasio se incrementa.

Por cada ion hidrógeno que se secreta hacia el túbulo, entra un ion de bicarbonato en la circulación. Ello significa que cuando incrementa la secreción de hidrógeno en el túbulo, aumenta el contenido de bicarbonato en el plasma.

Si hay poco potasio en la sangre, entra más bicarbonato al plasma y la concentración de bicarbonato excede los valores normales. Si el cuerpo contiene exceso de potasio, los túbulos excretan más potasio. En consecuencia, se secretan menos iones hidrógeno, se forma menos bicarbonato y la concentración de bicarbonato disminuye.



## Preguntas de autoevaluación

1. El personal de enfermería sabe que las soluciones con pH menor de 7 se consideran:
- A. Ácidas
  - B. Alcalinas
  - C. Solutos
  - D. Hipotónicas

**Respuesta:** A. Una solución con pH menor de 7 contiene más iones hidrógeno que iones hidroxilo, por lo que se considera ácida.

2. Una enfermera se encuentra a cargo de un paciente con alcalosis respiratoria. El mecanismo por el cual se compensa este cambio en el paciente es:
- A. Alcalosis metabólica
  - B. Acidosis respiratoria
  - C. Acidosis metabólica
  - D. Sistema de amortiguación por fosfato

**Respuesta:** C. El cuerpo desarrolla acidosis metabólica para compensar la alcalosis respiratoria crónica.

3. El personal de enfermería sabe que existen dos factores que afectan la velocidad con la que se produce bicarbonato en el epitelio del túbulo renal. Los factores son:
- A. Cantidad de aldosterona en el cuerpo y producción de orina
  - B. Cantidad de CO<sub>2</sub> disuelto en el plasma y cantidad de potasio en las células del epitelio del túbulo renal
  - C. Cantidad de potasio disuelto en el plasma y cantidad de CO<sub>2</sub> en las células del epitelio del túbulo renal
  - D. Cantidad de amoníaco producido en el túbulo renal y cantidad de sales de fosfato en la luz del túbulo renal

**Respuesta:** B. La velocidad con la que se crea nuevo bicarbonato en el epitelio del túbulo depende de la cantidad de CO<sub>2</sub> disuelto en el plasma y la cantidad de potasio en las células del epitelio del túbulo renal.

---

## Puntuación

- ☆☆☆ Si contestaste las tres preguntas correctamente, mereces una felicitación. Tienes el conocimiento en equilibrio.
- ☆☆ Si respondiste dos preguntas de forma acertada, ¡bien! Todos los sistemas de amortiguación están de tu lado.
- ☆ Si contestaste de manera correcta menos de dos preguntas, vuelve a revisar este capítulo. Necesitarás más tiempo para encontrar el equilibrio.



## ¡Diviértete!

Descifra las palabras en las casillas de la izquierda para revelar los nombres de los sistemas de amortiguación que mantienen el equilibrio acidobásico. Después, dibuja líneas para unir cada proceso con las características que le corresponden.

- A. Es el principal sistema de amortiguación en el líquido extracelular.
- B. Pueden existir como sales alcalinas o ácidas.
- C. Regula el pH de los líquidos conforme pasan por los riñones.

- D. Puede modificar la frecuencia respiratoria para cambiar el pH de la sangre.
- E. El riñón regula la concentración de bicarbonato de sodio; los pulmones regulan el ácido carbónico.
- F. Tiene fosfato sódico dihidrogenado como su componente ácido y fosfato sódico monohidrogenado como su componente alcalino.
- G. Reemplaza una base fuerte (hidróxido de sodio) con bicarbonato de sodio y agua; el hidróxido de sodio libera gran cantidad de hidroxilo al disociarse en agua.
- H. Utiliza proteínas intracelulares para absorber iones hidrógeno.

ACABBIOTORN ED DOSIO Y CADIO  
RANBOCOCI

-----  
-----  
-----  
-----

OATFOFS

-----

POAINSTER

-----

Respuesta: BICARBONATO DE SODIO Y ÁCIDO CARBÓNICO A, E, G; FOSFATO: C, F; PROTEÍNAS: B, D, H

## Bibliografía

- Chabner, D. (2016). *The language of medicine* (11th ed.). St. Louis, MO: Elsevier.
- Emmitt, M. (2014). *Simple and mixed acid base disorders. Up To Date*. Tomado de: [http://www.uptodate.com/contents/simple-and-mixed-acid-base-disorders?source=search\\_result&search=acid+base+balance&selectedTitle=1%7E48](http://www.uptodate.com/contents/simple-and-mixed-acid-base-disorders?source=search_result&search=acid+base+balance&selectedTitle=1%7E48)
- Grossman, S., & Porth, C. M. (2013). *Porth's pathophysiology: Concepts of altered health states* (9th ed.). Philadelphia, PA: Lippincott.
- Hinkle, J., & Cheever, K. (2013). *Brunner and Suddarth's textbook of medical surgical nursing* (13th ed.). Philadelphia, PA: Lippincott.
- Hogan, J., & Goldfarb, S. (2014). *Regulation of calcium and phosphate balance. Up To Date*. Tomado de: [http://www.uptodate.com/contents/regulation-of-calcium-and-phosphate-balance?source=search\\_result&search=serum+calcium&selectedTitle=8%7E150](http://www.uptodate.com/contents/regulation-of-calcium-and-phosphate-balance?source=search_result&search=serum+calcium&selectedTitle=8%7E150)
- Mount, D. B. (2014). *Causes and evaluation of hyperkalemia in adults*. Tomado de: [http://www.uptodate.com/contents/causes-and-evaluation-of-hyperkalemia-in-adults?source=search\\_result&search=potassium+regulation&selectedTitle=1%7E150](http://www.uptodate.com/contents/causes-and-evaluation-of-hyperkalemia-in-adults?source=search_result&search=potassium+regulation&selectedTitle=1%7E150)
- Sterns, R. H. (2014). *General principles of disorders of water balance (hyponatremia and hypernatremia) and sodium balance (hypovolemia and edema)*. Tomado de: [http://www.uptodate.com/contents/general-principles-of-disorders-of-water-balance-hyponatremia-and-hypernatremia-and-sodium-balance-hypovolemia-and-edema?source=search\\_result&search=osmotic+regulation+of+sodium+and+water&selectedTitle=1%7E150](http://www.uptodate.com/contents/general-principles-of-disorders-of-water-balance-hyponatremia-and-hypernatremia-and-sodium-balance-hypovolemia-and-edema?source=search_result&search=osmotic+regulation+of+sodium+and+water&selectedTitle=1%7E150)

Theodore, A. C. (2015). *Arterial blood gases. Up To Date*. Tomado de:  
[http://www.uptodate.com/contents/arterial-blood-gases?  
source=search\\_result&search=blood+gas+interpretation&selectedTitle=1%7E150](http://www.uptodate.com/contents/arterial-blood-gases?source=search_result&search=blood+gas+interpretation&selectedTitle=1%7E150)

# Capítulo 16

## Aparato reproductor

### Objetivos



En este capítulo aprenderás:

- ◆ Estructura anatómica y funciones del aparato reproductor de hombres y mujeres
- ◆ Producción de hormonas en el hombre y su participación en el desarrollo sexual
- ◆ Producción de hormonas en la mujer y su participación en la menstruación
- ◆ Anatomía y funciones de la glándula mamaria

### Una mirada al aparato reproductor

La principal diferencia anatómica entre el aparato reproductor femenino y el masculino es la presencia de genitales externos en el hombre, mientras que en la mujer son internos (dentro de la cavidad pélvica).

Esta es la principal diferencia: la mayoría de los órganos genitales del hombre son externos, mientras que la mayoría de los órganos genitales de la mujer están en la cavidad pélvica.



## Aparato reproductor masculino

El aparato reproductor masculino consta de órganos que producen, transfieren e introducen espermatozoides en la vía reproductiva de la mujer, donde tiene lugar la fertilización (véase *Estructuras del aparato reproductor masculino*).

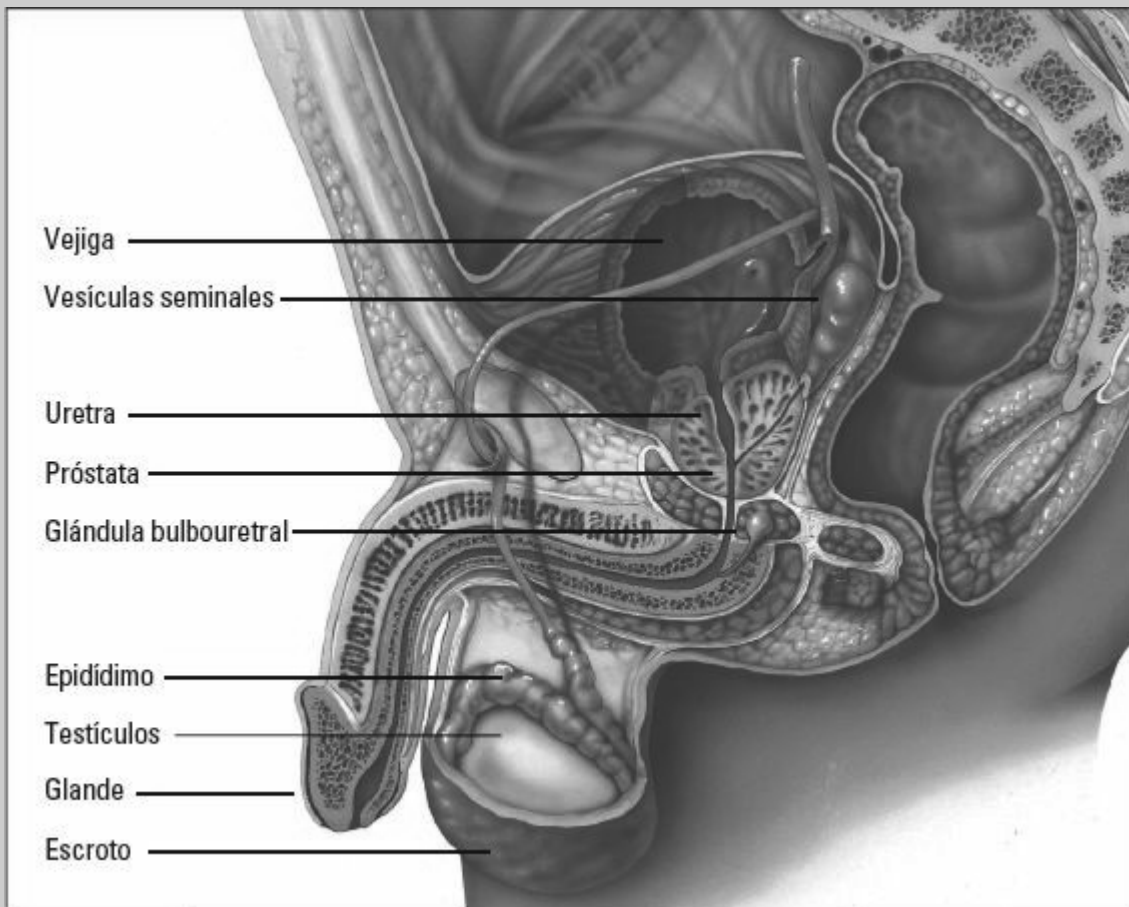


**Zoom**

### Estructuras del aparato reproductor masculino



El aparato reproductor masculino se compone del pene, el escroto y su contenido, la próstata y las estructuras inguinales. Estas estructuras se ilustran abajo (Merck Manual, Gray's Anatomy, Netter's Atlas).



### Trabajo extra

Además de producir las células sexuales masculinas (espermatogénesis), el aparato reproductor masculino tiene un papel importante en la secreción de hormonas sexuales, en especial testosterona.

---

## Pene

El *pene* es un órgano especializado en la copulación y como medio de evacuación. Este órgano deposita espermatozoides en el aparato reproductor de la mujer y actúa como conducto terminal de las vías urinarias. Se compone de una raíz unida al cuerpo, un cuerpo libre y una punta ensanchada, el glante.

En su interior, el cuerpo del pene de forma cilíndrica tiene tres columnas de *tejido eréctil* que se unen unas con otras mediante *tejido fibroso denso* y *músculo liso*. Las dos columnas laterales de tejido cavernoso (*corpus cavernosum*) forman la mayor parte del cuerpo del pene. Estas columnas están en contacto con el *cuerpo esponjoso*. Esta estructura rodea la uretra desde la parte proximal del bulbo del pene hasta el meato uretral externo en el glante (Waugh & Grant, 2014, pp. 461-463; Wilkins, Cross, Megson & Meredith, 2011, pp. 624-625).

El *glante*, en el extremo distal del pene, es una estructura cónica formada por el cuerpo esponjoso. En su margen lateral forma una cresta de tejido que se conoce como *corona*. En la parte posterior del glante, la piel se pliega para formar el prepucio. El prepucio puede ser eliminado mediante cirugía, en un procedimiento llamado *circuncisión* (Shier, Butler & Lewis, 2015, pp. 524-526). El glante es muy sensible a la estimulación sexual (Faiz, Blackburn & Moffat, 2011, pp. 72-73; Waugh & Grant, 2014, pp. 461-463). El *meato urinario* se abre a través del glante para permitir la micción y eyaculación.

### Una vía diferente

El pene recibe sangre a través de la *arteria pudenda interna*. La sangre viaja hacia el cuerpo cavernoso por medio de la arteria peneana. El flujo venoso regresa a través de la *vena iliaca interna* hacia la *vena cava*.

---

## Escroto

El pene se une con el *escroto* en la unión penoescrotal. Ubicado en la parte posterior del pene y anterior al ano, el escroto es una bolsa fuera del abdomen que consta de una capa delgada de piel que cubre a una capa de fascia superficial y músculo liso. En el interior, el *septo* divide el escroto en dos sacos, y cada uno de éstos contiene un testículo (Marieb & Hoehn, 2014, pp. 1093-1094; Shier et al., 2015, pp. 524-525).

### Muchos nódulos

Los nódulos linfáticos del pene, la superficie escrotal y el ano drenan en los nódulos linfáticos *inguinales*. Los nódulos linfáticos de los testículos drenan en los nódulos linfáticos aórticos y preaórticos laterales, en el abdomen.

---

## Testículos

Los *testículos* son las gónadas del hombre. En condiciones normales, hay dos testículos de 4 × 2.5 cm dentro del escroto, los cuales se encuentran rodeados de tres capas de tejido seroso fibroso: la *túnica vaginal*, la *túnica albugínea* y la *túnica vascular* (Marieb & Hoehn, 2014, pp. 1094-1095). El testículo se divide en 200-300 *lobulillos* mediante extensiones de la túnica albugínea. Cada lobulillo contiene de uno a cuatro *túbulos seminíferos*, pequeños conductos en los que ocurre la espermatogénesis (Waugh & Grant, 2014, pp. 459-461).

Una de las funciones del escroto es mantener los testículos 3 °C más fríos que el resto del cuerpo.



### Control de la temperatura

El desarrollo de los espermatozoides necesita una temperatura menor que la del resto del cuerpo. El *dartos*, un músculo liso en la fascia superficial, es el encargado de que se encoja y ascienda la piel del escroto. Lo anterior ayuda a controlar la temperatura. El *músculo cremáster* también ayuda a regular la temperatura al elevar los testículos. Este músculo se origina en el oblicuo interno.

---

## Sistema de conductos

El *sistema de conductos* del aparato reproductor masculino está conformado por el epidídimo y los conductos deferentes, y transporta los espermatozoides desde los testículos hasta el meato urinario (Marieb & Hoehn, 2014, pp. 1098-1099).

### Almacenamiento

Una vez que se han producido, los espermatozoides salen de los testículos a través de una red de túbulos hacia el epidídimo, donde son almacenados. El *epidídimo* es una red de túbulos de 45-50 cm que emerge en la parte superior de cada testículo y se extiende por el borde posterior. Durante la eyaculación, el músculo liso en el epidídimo se contrae para expulsar los espermatozoides en los *conductos deferentes*.

## Hacia abajo y en conjunto

Los conductos deferentes (*vas deferens*) son túbulos musculares que transportan espermatozoides desde el epidídimo hasta el conducto eyaculatorio. El sistema se dirige desde los testículos hasta la cavidad abdominal, donde se extiende desde arriba a través del *canal inguinal*, se arquea sobre la uretra y desciende detrás de la vejiga. Su porción ensanchada, el *ámpula*, se une con el conducto de la vesícula seminal para formar el conducto eyaculatorio. Después de atravesar la próstata, los conductos deferentes se unen a la uretra (Marieb & Hoehn, 2014, pp. 1096-1099).

Los conductos deferentes son una de las estructuras del cordón espermático, una vaina de tejido conectivo que se extiende desde los testículos a través del canal inguinal, sale por el escroto por el anillo inguinal externo y entra a la cavidad abdominal por el anillo inguinal interno. El canal inguinal se encuentra entre dos anillos. El cordón espermático contiene fibras de nervios autonómicos, vasos sanguíneos, vasos linfáticos y los conductos deferentes (Shier et al., 2015, pp. 520-524; Waugh & Grant, 2014, pp. 459-461).

## Salida del tubo

La uretra es un tubo pequeño que se dirige desde el piso de la vejiga hasta el exterior. Consta de tres partes:

- *Uretra prostática*: rodeada por la próstata, drena la vejiga.
- *Uretra membranosa*: se extiende a través del diafragma urogenital.
- *Uretra esponjosa*: compone el 75% de la uretra (Marieb & Hoehn, 2014).

---

# Glándulas accesorias del aparato reproductor

Las glándulas accesorias del aparato reproductor producen la mayor parte del semen; incluyen las *vesículas seminales*, las *glándulas bulbouretrales* (*glándulas de Cowper*) y la *próstata*. Las vesículas seminales son pares de sacos de unos 5 cm que se unen a los conductos deferentes en la base de la vejiga. Las dos glándulas bulbouretrales miden cerca de 1 cm cada una y están por debajo de la próstata.

## Del tamaño de una nuez

La *próstata* es una glándula en forma de anillo que mide 4 × 3 cm de espesor y está debajo de la vejiga, alrededor de la uretra proximal. Esta glándula se divide en varios lóbulos: izquierdo, derecho, medio y anterior. El izquierdo y derecho componen la parte principal de la glándula. El lóbulo medio es un área en forma de cono que se encuentra entre los dos conductos eyaculatorios y la uretra. Por último, el lóbulo anterior consta de tejido fibroso y muscular, y carece de tejido glandular (Marieb & Hoehn, 2014, pp. 1099-2000).

## En mejores condiciones

Las *glándulas seminales* (vesículas seminales) son glándulas huecas de 5-7 cm compuestas de mucosa de tejido pseudoestratificado cilíndrico en forma de rosca,

rodeadas de músculo liso y que almacenan y secretan líquido seminal. El *líquido seminal* es una sustancia amarilla, viscosa y alcalina compuesta de fructosa, ácido cítrico, prostaglandinas y enzimas. Este líquido es lo que se ilumina bajo luz ultravioleta en las investigaciones sobre abusos sexuales. Además, el líquido seminal es capaz de mejorar la motilidad de los espermatozoides y la fertilización. Compone el 60-70% del total del volumen de la eyaculación. Estas glándulas se unen a los conductos deferentes en el conducto eyaculador para permitir que el líquido seminal se combine con los espermatozoides antes de combinarse con el líquido prostático (Marieb & Hoehn, 2014, pp. 1099-1100).

La próstata secreta de manera continua líquido prostático, un líquido poco denso, lechoso y ácido. Durante la eyaculación, la contracción del músculo liso de la próstata expulsa el líquido prostático hacia la uretra. El líquido prostático tiene una función importante en la activación de los espermatozoides y constituye una tercera parte del volumen de la eyaculación. El líquido prostático está compuesto por citrato, enzimas y antígeno prostático específico (Marieb & Hoehn, 2014, pp. 1099-2000; Waugh & Grant, 2014, pp. 459-461).

### Un poco alcalino

El *semen* es una secreción blanca y viscosa con un pH un tanto alcalino (7.2-8). Consta de espermatozoides y secreciones de glándulas accesorias. Las vesículas seminales producen del 60-70% de la porción líquida del semen, mientras que la próstata genera el 30%. Las glándulas bulbouretrales elaboran un líquido viscoso para neutralizar la orina residual y lubricar la uretra, el cual también forma parte del semen (Marieb & Hoehn, 2014, pp. 1099-2000).

El líquido seminal mejora la motilidad de los espermatozoides y puede incrementar las probabilidades de fertilización al neutralizar la acidez en la uretra del hombre y la vagina.



---

## Espermatogénesis

La producción de espermatozoides (*espermatogénesis*) inicia cuando un hombre alcanza la pubertad y, de manera habitual, continúa durante el resto de la vida.

Divide y vencerás

La espermatogénesis ocurre en cuatro etapas durante 64-72 días:

1. *Mitosis*: las células epiteliales germinales primordiales (*espermatogonias*) crecen y se desarrollan en *espermatoцитos primarios*. Tanto las espermatogonias como los espermatoцитos primarios contienen 46 cromosomas (44 *autosomas* y los dos cromosomas sexuales, X y Y).
2. *Meiosis I*: los espermatoцитos primarios se dividen en espermatoцитos secundarios. No se crean nuevos cromosomas durante esta etapa, los pares sólo se dividen. Cada espermatoцитo secundario contiene la mitad del número de autosomas, 22. Un espermatoцитo secundario contiene un cromosoma X; el otro, un cromosoma Y.

**Para recordar**

Para recordar el significado de espermatogénesis, recuerda que *génesis* significa inicio o nuevo. Por lo tanto, *espermatogénesis* significa el inicio de nuevos espermatozoides



3. *Meiosis II*: cada espermatocito secundario se vuelve a dividir para formar *espermátidas (espermatoblastos)*.
4. *Espermiogénesis*: las espermátidas pasan por una serie de cambios estructurales que los transforman en espermatozoides maduros. Cada espermatozoide tiene una cabeza, cuello, cuerpo y cola. La cabeza contiene el *núcleo*, y la cola contiene gran cantidad de *trifosfato de adenosina* a fin de proporcionar energía para la *motilidad* del espermatozoide (Marieb & Hoehn, 2014, pp. 1101-1107).



### Todos en fila

Los espermatozoides nuevos pasan desde los túbulos seminíferos, a través de la red de túbulos de la *red testicular*, hasta los conductos deferentes y el epidídimo para madurar y ser almacenados (Marieb & Hoehn, 2014, pp. 1093-1095; Smith & Walker, 2014).

### Descanso por semanas

Los espermatozoides mantienen su potencial por varias semanas mientras están almacenados. Después de la eyaculación, los espermatozoides pueden sobrevivir de 3 a 5 días en el aparato reproductor de la mujer.

## Control hormonal y desarrollo sexual en el hombre

Los andrógenos (hormonas sexuales masculinas) se producen en los testículos, aunque se forman pequeñas cantidades en las glándulas suprarrenales. Son responsables del desarrollo de los órganos genitales masculinos y los caracteres sexuales secundarios. Algunas de las hormonas sexuales importantes en el hombre son:

- Hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH, *gonadotropin-releasing hormone*)
- Gonadotropinas
- Hormona luteinizante o lutropina (LH, de *luteinizing hormone*) y hormona foliculoestimulante o folitropina (FSH, *follicle-stimulating hormone*)
- Testosterona
- Inhibina (Smith & Walker, 2014)

La cantidad y motilidad afectan la fertilidad. Un recuento de espermatozoides menor de 15 millones por mililitro de semen eyaculado o motilidad menor de 32% pueden llevar a una reducción de la fertilidad (Cooper & WHO, 2010).



### El capitán del equipo

La *testosterona* es la hormona sexual masculina más importante, ya que es responsable del mantenimiento y desarrollo de los órganos sexuales masculinos y los caracteres sexuales secundarios, como el vello facial, grosor de las cuerdas vocales, incremento de la masa muscular y densidad ósea. La testosterona es necesaria en la espermatogénesis. La testosterona se sintetiza y secreta desde el tejido intersticial de los testículos (células de Leydig), el cual está ubicado en los testículos, adyacente a los túbulos seminíferos. Las células de Leydig secretan testosterona cuando son estimuladas por la hormona luteinizante (Marieb & Hoehn, 2014, pp. 1093-1095; Smith & Walker, 2014).



## Una decisión importante

Todos los embriones de menos de 6 semanas de gestación son *ambisexuales* (sin características femeninas ni masculinas). Entre las 6 y 8 semanas de gestación en un feto masculino, el tejido cortical involuciona, mientras que el tejido medular aumenta de tamaño para diferenciarse en testículos. Las células de Leydig y Sertoli proliferan de manera rápida para iniciar la secreción de testosterona. No se sabe si lo anterior es un proceso autónomo o si es resultado de la estimulación por parte de la producción de gonadotropina coriónica humana en la placenta (Considine, 2009). La presencia de testosterona afecta de manera directa la diferenciación en el feto. Ante la presencia de testosterona, los genitales del feto se desarrollan en pene, escroto y testículos, y ante su ausencia se convierten en clítoris, vagina y los otros órganos de la mujer.

La actividad androgénica causa que, en general antes del nacimiento, los testículos desciendan al escroto a través del canal inguinal. A pesar de lo anterior, 1 de cada 20 bebés de término nacen con uno o ambos testículos sin haber descendido. Esta alteración se llama *criptorquidia*. La mayoría de los casos se resuelven a los 6 meses de edad. En caso de que no suceda, los testículos pueden moverse desde el abdomen o el canal inguinal hacia el escroto mediante un procedimiento denominado *orquidopexia* (Hutson & Thorup, 2015).

## Otros personajes importantes

Las hormonas sexuales masculinas son reguladas por un sistema conocido como *eje hipotálamo-hipofisario-gonadal*. El hipotálamo libera GnRH para que la hipófisis anterior libere gonadotropinas (LH y FSH). La FSH estimula la espermatogénesis al aumentar de las concentraciones de testosterona. La LH se une a las células intersticiales alrededor de los túbulos seminíferos, lo que causa secreción de testosterona y promueve las últimas etapas de espermatogénesis. Un recuento alto de espermatozoides provoca que las células de los testículos produzcan una proteína llamada *inhibina*. El aumento en la concentración de inhibina y testosterona produce retroalimentación negativa para inhibir la liberación de GnRH y FSH. Cuando disminuye la espermatogénesis, la cantidad de inhibina también lo hace (Smith & Walker, 2014).



### Es tiempo de crecer

Durante la niñez, no se producen las gonadotropinas y la testosterona circulante es escasa. La secreción de gonadotropinas en la hipófisis inicia entre los 11 y 14 años de edad, lo que marca el inicio de la pubertad. Hay un aumento drástico en la producción de testosterona (cerca de 18 veces más). Este cambio en la producción de hormonas durante la pubertad estimula el desarrollo y maduración de los caracteres sexuales primarios: aumento del tamaño del pene y los testículos, y comienzo de la espermatogénesis, libido y función reproductiva y eréctil madura. También se promueven los caracteres sexuales secundarios: crecimiento de vello y cambios en las cuerdas vocales y la piel (aumento del grosor y cambios en las glándulas sebáceas) (Peate & Nair, 2015).



## La tercera edad

### Cambios en el aparato reproductor masculino relacionados con la edad

En los hombres de mayor edad puede haber disminución de la cantidad de testosterona en sangre. Como consecuencia, existe disminución de la libido, fatiga, depresión y disfunción eréctil. Las concentraciones bajas de testosterona también provocan atrofia testicular y disminuyen la producción de espermatozoides y la fertilidad (Malik et al., 2015).

De manera frecuente, la próstata aumenta de tamaño con la edad, pero su secreción disminuye. El líquido seminal también se reduce en volumen y se vuelve menos viscoso.

#### Cambios sexuales

Durante el coito, los hombres mayores pueden experimentar reacciones fisiológicas más lentas y menos intensas. Sin embargo, estos cambios no disminuyen de manera necesaria la satisfacción sexual.

### Una pausa

Después de que el hombre alcanza la madurez física, alrededor de los 20 años de edad, la función sexual y reproductiva permanecen constantes durante la vida (véase *Cambios en el aparato reproductor masculino relacionados con la edad*).

## Aparato reproductor femenino

A diferencia del aparato reproductor masculino, la mayor parte del aparato reproductor femenino es interno, pues se encuentra dentro de la cavidad pélvica. Se compone de vulva, vagina, cuello uterino, útero, tubas uterinas (trompas uterinas o de Falopio) y ovarios.

### Genitales externos

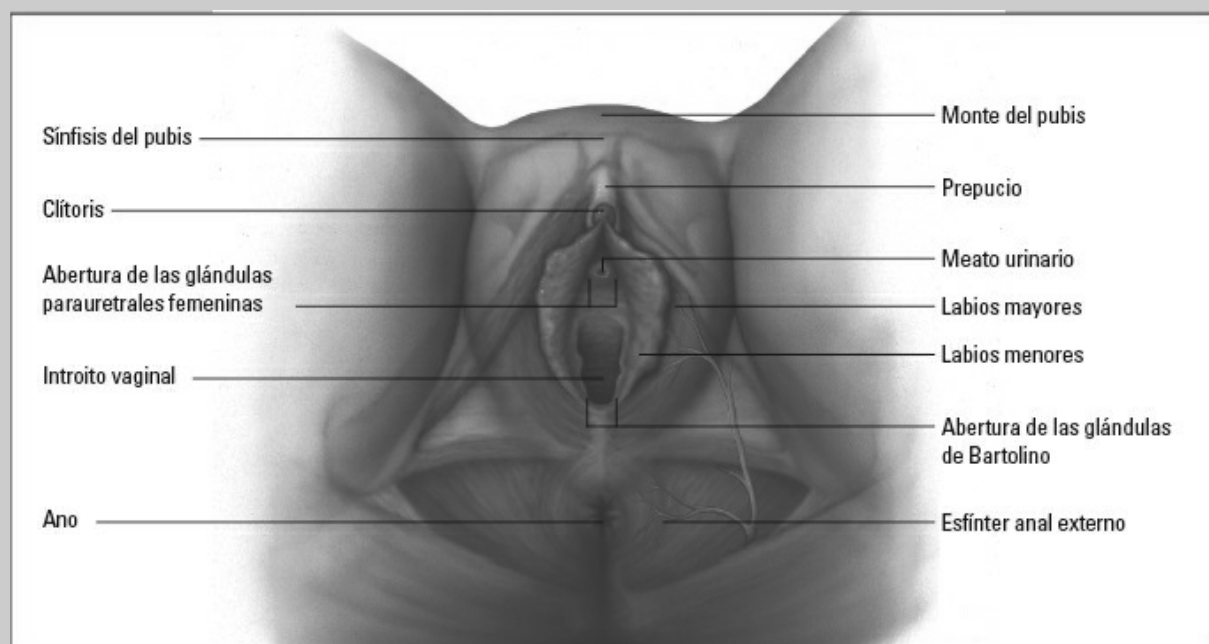
Los genitales externos de la mujer son el *monte del pubis*, los *labios mayores y menores*, el *clítoris*, el *introito vaginal* y las estructuras adyacentes. En conjunto, estas estructuras se denominan *vulva* (Faiz et al., 2011; Peate & Nair, 2015).



#### Zoom

#### Genitales externos femeninos

Los genitales externos femeninos incluyen el introito vaginal, el monte del pubis, el prepucio, el clítoris, los labios mayores y menores, el meato urinario y las glándulas asociadas (Strandring & Gray, 2008).



En la cima

El *monte del pubis* o *de Venus* es un cojinete de tejido conectivo y tejido adiposo que se recubre de vello púbico después de la pubertad. El patrón de crecimiento del vello es triangular, sobre la sínfisis del pubis (la articulación que se forma de la unión de los huesos púbicos).

### Ligas mayores

Los *labios mayores* son dos pliegues simétricos de tejido adiposo, tejido conectivo y músculo liso que cubren cada lado del borde de la vulva, desde el perineo hasta el monte del pubis. Los labios mayores tienen la función de proteger el orificio vaginal y el meato urinario. Después de la *menarquia* (inicio de la menstruación), la superficie externa de los labios mayores se cubre de vello púbico, mientras que la parte interna es húmeda y rosada. La vulva tiene gran concentración de glándulas sudoríparas apocrinas y glándulas sebáceas.

### Los menores

Los *labios menores* son dos pliegues de tejido conectivo mucoso con abundantes vasos sanguíneos, de apariencia rosada. Cada labio menor yace longitudinalmente junto a cada labio mayor. Tanto el labio menor como el mayor se unen en la parte anterior para formar el *prepucio*, una cobertura similar a un capuchón sobre el clítoris. La parte posterior de los labios menores se une en forma de cuña con los labios mayores en la parte posterior. En este sitio forman el *frenillo de los labios menores*, un pliegue delgado de tejido conectivo que se une al límite anterior del perineo.

El *vestíbulo* es un valle delimitado por los labios menores, con el clítoris como frontera en la parte anterior y el frenillo de los labios menores en la parte posterior. El vestíbulo está revestido por glándulas que producen moco. En los lados del meato urinario se encuentra un par de glándulas vestibulares menores, las glándulas parauretrales femeninas (glándulas de Skene). Las glándulas vestibulares mayores (glándulas de Bartolino) se localizan en la parte posterolateral del introito vaginal. El vestíbulo también contiene el meato urinario, la abertura externa por la que la orina sale del cuerpo de la mujer. Posterior a la uretra está la abertura exterior de la vagina, el introito vaginal.

### Pequeño pero muy sensible

El clítoris es un órgano de 2 cm que protruye en la vulva, en la parte anterior del vestíbulo. La porción visible del clítoris, por debajo del prepucio, es el glande del clítoris. El cuerpo del clítoris cuenta con columnas de tejido eréctil (cuerpos cavernosos) y corpúsculos sensitivos especializados. La parte anterior se une mediante tejido conectivo. Los cuerpos cavernosos y los bulbos del vestíbulo se ingurgitan durante la estimulación sexual de la mujer (Shier et al., 2015).

### No es tan simple como parece

La región en forma de diamante que se encuentra entre el arco púbico, el cóccix y las tuberosidades isquiáticas (el *perineo*) es una estructura compleja con músculos, vasos

sanguíneos, fascias, nervios y vasos linfáticos. El perineo contiene el *centro del periné* o *cuerpo perineal*, el punto de inserción para la mayor parte de la musculatura que soporta el piso pélvico (Marieb & Hoehn, 2014; Shier et al., 2015).

Los labios están muy vascularizados y tienen muchas terminaciones nerviosas, lo que los hace muy sensibles al dolor, la presión, la estimulación sexual y las temperaturas extremas.



---

## Genitales femeninos internos

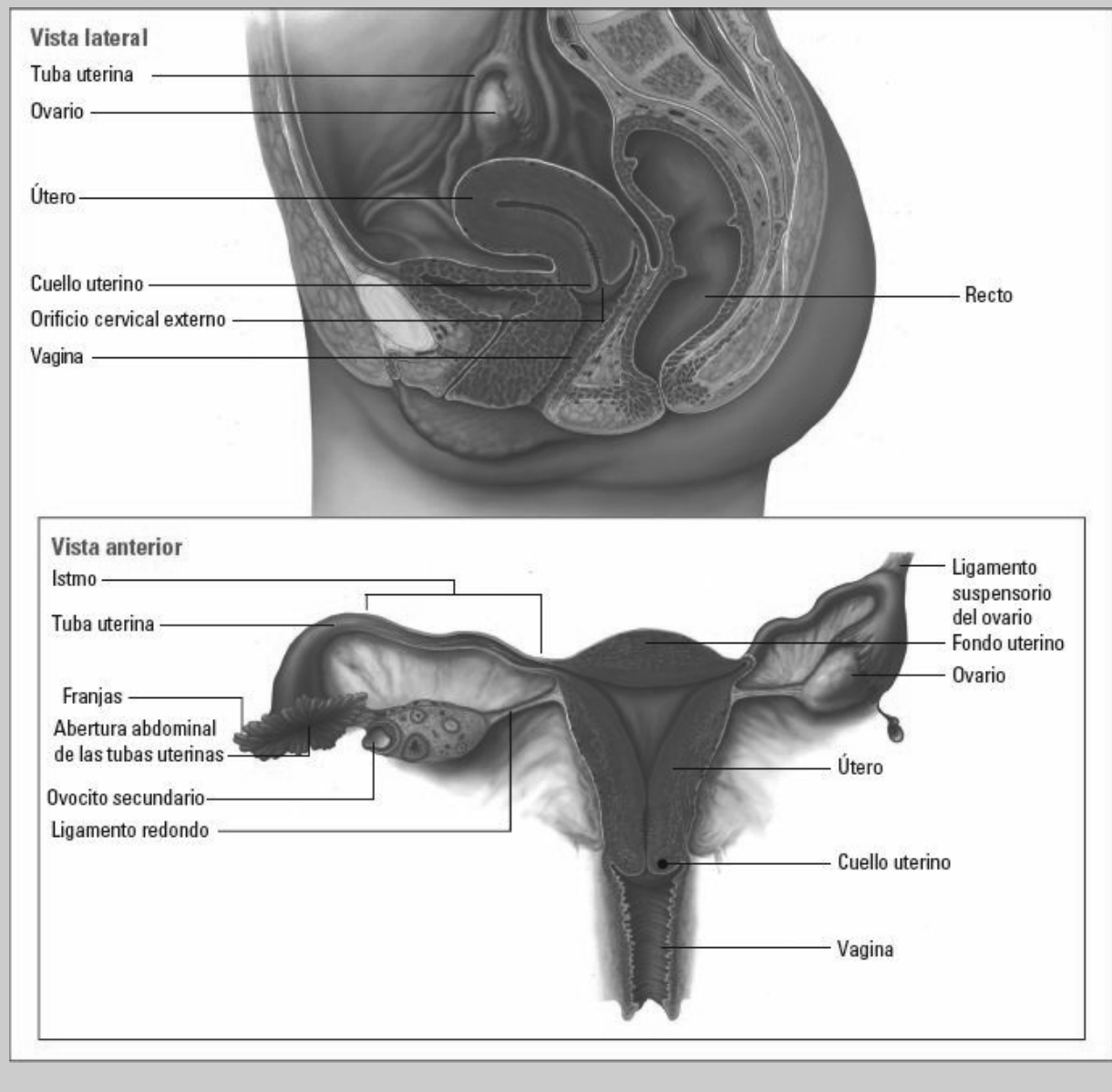
Los genitales internos son órganos especializados; su función es sexual y reproductiva (véase *Estructuras del aparato reproductor femenino*, p. 282).



**Zoom**

**Estructuras del aparato reproductor femenino**

Los órganos internos del aparato reproductor femenino son vagina, cuello uterino, útero, dos tubas uterinas y dos ovarios (Standring & Gray, 2008).



## Vagina

La *vagina* es un tubo fibromuscular elástico que mide casi 9 cm de longitud y se posiciona en un ángulo de 45° entre la uretra y el recto. La pared de la vagina tiene tres capas de tejido: mucosa (epitelio estratificado plano), muscular (dos capas de músculo liso) y adventicia (lámina fibroelástica externa). El borde externo se abre hacia el vestíbulo, mientras que el borde interno contiene el cuello uterino. El *cuello uterino* conecta el útero y la cavidad vaginal; está rodeado por cuatro fórnices, cúpulas de la pared vaginal.

## Tres funciones

La vagina tiene tres funciones principales:

1. Servir como órgano de la copulación

2. Eliminar sangre del útero durante la menstruación
3. Servir como canal de salida durante el parto

### Sangre y vasos linfáticos

La sangre llega a la vagina a través de la arteria vaginal y las arterias uterinas, todas ramas de la arteria ilíaca interna.

El retorno venoso de la región se hace a través del plexo venoso vaginal, mediante la vena uterina que drena en las venas ilíacas internas.

El drenaje linfático de la vagina se realiza a través de los nódulos ilíacos e inguinales superficiales (Marieb & Hoehn, 2014; Shier et al., 2015).

---

## Útero

El *útero* es un órgano muscular hueco y en forma de pera que mide cerca de 7 cm de longitud, 5 cm de ancho y 2.5 cm de diámetro. Este órgano se encuentra posterosuperior a la vejiga y anterior al recto. El útero normal se posiciona en un ángulo cercano a los 90° en relación con la vagina; tiene tres capas: una membrana mucosa de epitelio cilíndrico denominada *endometrio*, una capa media de músculo liso llamada *miometrio* y una capa externa serosa que se conoce como *perimetrio*. Las dos porciones superiores del cuerpo del útero se denominan *fondo uterino*; la porción inferior es el *cuello uterino*. El útero está sostenido en la parte posterior por el ligamento ancho del útero y por los ligamentos redondos a ambos lados.

### Órgano versátil

El endometrio y miometrio del útero reaccionan a las hormonas sexuales femeninas que se producen durante el ciclo menstrual. Estas estructuras cambian de manera importante durante cada una de las partes del ciclo para tener la capacidad de recibir un posible embarazo. En caso de que no ocurra un embarazo, las concentraciones de hormonas disminuyen, y el revestimiento con nutrientes que fue creado se desprende. Como consecuencia, inicia la menstruación. Si el óvulo es fertilizado y se implanta un embrión en el endometrio, se secretan más hormonas con el objeto de conservar los elementos necesarios para mantener el embarazo. Además, durante el embarazo, las propiedades elásticas del útero permiten que éste se expanda para albergar al feto, que se encuentra en constante crecimiento.

---

## Cuello uterino

El *cuello uterino* es la porción inferior del útero que se proyecta a la porción proximal de la vagina. Se accede al útero a través del canal endocervical, un conducto revestido de mucosa que tiene un orificio cervical externo y uno interno. El cuello uterino y la vagina tienen un soporte estructural gracias a los ligamentos uterosacro y cardinal (Marieb & Hoehn, 2014; Netter, Hansen & Lambert, 2005; Shier et al., 2015; Waugh & Grant, 2014).

## Cambios permanentes

El parto altera de manera permanente al cuello uterino. En una mujer nulípara, el orificio cervical externo mide cerca de 3 mm de diámetro. Después del primer parto, el orificio toma una apariencia estrellada o su abertura se hace transversal con bordes irregulares. Además, antes de la menopausia, el cuerpo del útero es más grande que el cuello uterino; después de la menopausia, se invierte la diferencia de tamaño.

Unas proyecciones en forma de dedos, las franjas, se mueven como si fueran olas para barrer el óvulo desde el ovario hasta la tuba uterina.



---

## Tubas uterinas

Las dos *tubas uterinas* (de 10-13 cm de longitud y 0.7 cm de diámetro) se unen al útero en sus caras laterales, en los ángulos superiores del fondo. Estos cilindros angostos de tejido muscular y fibroso están revestidos de epitelio cilíndrico y funcionan como sitio para la fertilización.

### Lleno de curvas

La porción curva de la tuba uterina, la *ampolla*, finaliza en una estructura con forma



de embudo, el *infundíbulo*. Unas proyecciones en forma de dedos, las *reanjas*, se mueven como si fueran olas para barrer el óvulo desde el ovario hasta la tuba uterina. El movimiento peristáltico y ciliar permite el transporte del óvulo a través de la tuba.

---

## Ovarios

Las gónadas de la mujer son los *ovarios*, dos órganos que se localizan uno a cada lado del útero dentro de la cavidad pélvica. Los ovarios son pálidos, sólidos, ovalados y miden cerca de 3.5 cm de largo, 2 cm de ancho y 1 cm de grosor durante la edad reproductiva. Una vez que se llega a la menopausia, los ovarios se atrofian.

### Vidas limitadas

Las funciones principales de los ovarios son la producción de hormonas (estrógenos, progesterona y testosterona) y la formación y liberación de óvulos. Al momento del nacimiento, cada ovario cuenta con cerca de 1-2 millones de *folículos* (bolsas llenas de líquido que contienen óvulos en desarrollo llamados *ovocitos*). Mediante un proceso denominado *atresia*, muchos folículos se degeneran. Al momento de la pubertad, sólo quedan de 300 000 a 500 000 folículos. Durante la edad reproductiva, el cuerpo emplea varios folículos cada mes, pero sólo un ovocito dominante puede alcanzar la madurez y ser expulsado del ovario. Este proceso es la *ovulación*.

## Hormonas, menstruación y ovogénesis

Al igual que el cuerpo del hombre, el de la mujer también pasa por varios cambios con la edad en respuesta a los estímulos hormonales. Cuando una mujer llega a la edad de la menstruación, el hipotálamo, los ovarios y la hipófisis (el eje hipotálamo-hipofisario-gonadal) liberan hormonas: estrógenos, progesterona, FSH y LH. En conjunto, estas hormonas inician la pubertad y regulan el ciclo reproductivo, así como la respuesta sexual (véase *Acontecimientos del ciclo menstrual*, p. 288-290).

A diferencia de la espermatogénesis, un evento breve, el proceso de meiosis para crear las células sexuales femeninas toma años (ovogénesis). Las mujeres nacen con su suministro completo de gametos (óvulos) en los ovarios. El oogonio (célula que resulta de la multiplicación mitótica de células madres diploides) y la transformación en ovocitos primarios y folículos primordiales suceden en el período fetal. No obstante, los ovocitos primarios no progresan más allá de la profase I en la primera división meiótica. La funcionalidad del ovario está limitada hasta que recibe el estímulo hormonal que acompaña la pubertad. Por lo tanto, todos los folículos que se han reclutado antes de la pubertad han pasado por *atresia* (muerte celular). Una vez que ha iniciado la pubertad, por lo general entre los 11 y 14 años de edad, la secreción de FSH y LH permite que algunos de estos folículos maduren y completen la meiosis I. La meiosis II sólo puede completarse si el espermatozoide penetra el ovocito (Marieb & Hoehn, 2014; Shier et al., 2015; Waugh & Grant, 2014).

# Glándulas mamarias

Las *glándulas mamarias* se localizan en el tejido subcutáneo del tórax. Son órganos accesorios especializados del aparato reproductor femenino diseñados para secretar leche después del embarazo. A pesar de que están presentes en ambos sexos, por lo general sólo tienen función en la mujer.



## Lóbulos, conductos y drenaje

Cada glándula mamaria tiene entre 15 y 25 lóbulos separados por tejido conectivo fibroso y grasa. Entre los lóbulos hay lobulillos y acinos, conductos pequeños con forma de saco que secretan leche durante la lactancia. Las glándulas alveolares vacían su contenido en los conductos alveolares que se unen para formar los *conductos y senos galactóforos*, que almacenan la leche durante la lactancia. Estos conductos drenan en la superficie del pezón a través de 15-20 aberturas (véase *La mama femenina*) (Marieb & Hoehn, 2014; Netter et al., 2005; Shier et al., 2015).



**Zoom**

**La mama femenina**

Lic. Gavino  
402

- COMPARTIR NO TIENE LÍMITES -

Las mamas son tejido elevado en la fascia superficial que se ubica a cada lado de la pared anterior del tórax sobre los músculos pectorales mayores y los serratos anteriores; se extienden desde el esternón hasta la axila, y desde la segunda hasta la sexta costilla. Al centro de cada mama está la areola, un área circular pigmentada que rodea al pezón. El músculo liso en el pezón responde a las temperaturas frías, la fricción y la estimulación sexual.

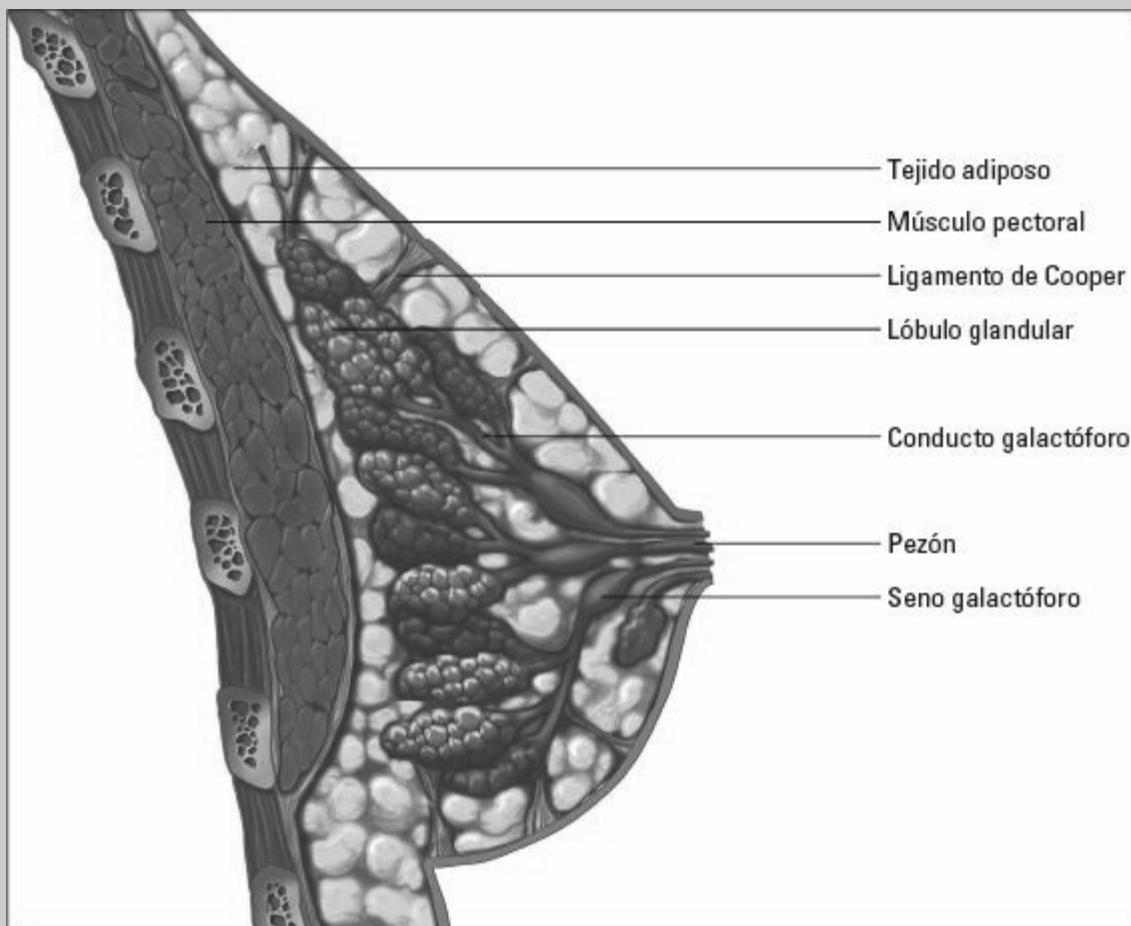
### Soporte y separación

Cada mama tiene tejido glandular, fibroso y adiposo. Cada una de las mamas contiene entre 15 y 25 lóbulos compuestos de lobulillos que cuentan con glándulas alveolares que secretan leche. Los lóbulos se separan mediante tejido conectivo denso y tejido adiposo. Los ligamentos suspensorios (*ligamentos de Cooper*) brindan soporte estructural a la mama al unir la dermis con los músculos pectorales.

### Producir y drenar

Las células acinares en los lóbulos de la glándula mamaria extraen los ingredientes necesarios para producir leche desde la sangre que pasa en los capilares alrededor de ellas. La leche es secretada en el sistema de conductos de la mama, y hasta el pezón, como resultado de la contracción de las células mioepiteliales circundantes. Las células mioepiteliales son estimuladas por la oxitocina para contraerse.

Los *tubérculos de Montgomery* (glándulas sebáceas en la superficie areolar) producen *sebo* para lubricar la areola y los pezones durante la lactancia (Marieb & Hoehn, 2014; Netter et al., 2005; Shier et al., 2015).



¡Eureka!

Acontecimientos del ciclo menstrual

El ciclo menstrual implica una serie compleja de cambios recurrentes y simultáneos en la producción y secreción de hormonas que estimulan las respuestas en los ovarios y el revestimiento endometrial del útero. El ciclo menstrual ocurre de manera normal en un período de 26 a 30 días. El primer día del sangrado menstrual se considera el primer día del ciclo. El ciclo se define de manera general en tres fases: menstrual, folicular (proliferativa) y lútea (secretora).

### **Cambios ováricos**

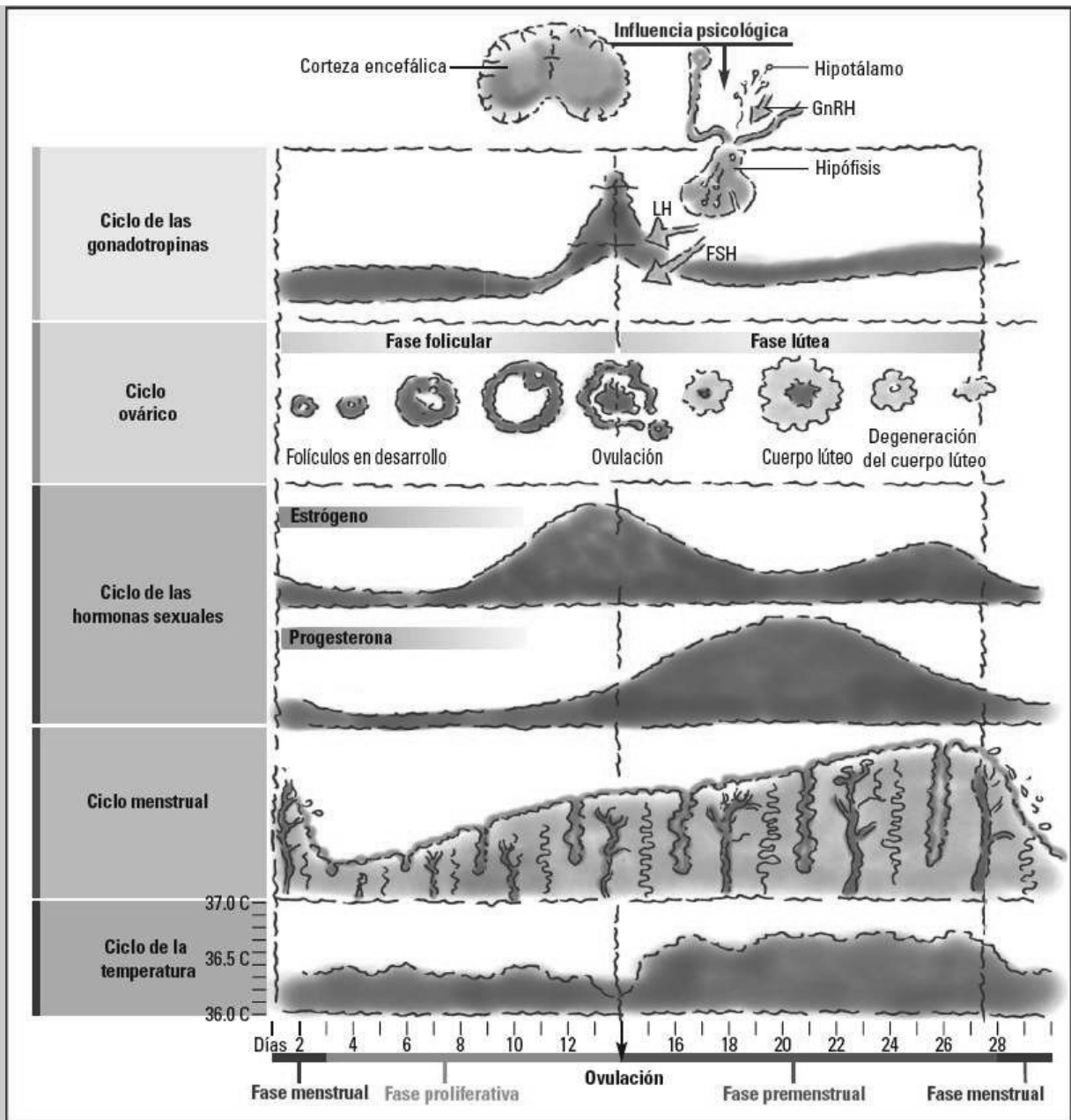
- Los cambios ováricos en el ciclo menstrual inician en el primer día.
- Conforme inicia el ciclo, las concentraciones bajas de estrógenos y progesterona en sangre estimulan el hipotálamo para que secreta hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH). Como respuesta, la GnRH estimula la adenohipófisis para que secreta hormona foliculoestimulante (FSH) y hormona luteinizante (LH).
- El desarrollo del folículo (fase folicular) en el ovario es desencadenado por las concentraciones en aumento de FSH, y en menor medida por el aumento de la LH.
- Cuando el folículo madura, produce un “pico” en la concentración de estrógenos, el cual estimula un “pico” en la cantidad de LH. El resultado es la rotura del folículo para liberar el óvulo. Así inicia la ovulación.
- Después de la ovulación, comienza la fase lútea. El folículo colapsado forma el cuerpo lúteo, el cual degenera si no ocurre la fertilización.

### **Cambios hormonales**

- El hipotálamo secreta GnRH para desencadenar la liberación de FSH y LH en la adenohipófisis. La FSH estimula el crecimiento del folículo. Como consecuencia, aumenta la secreción de estrógenos.
- La secreción de estrógenos aumenta justo antes de la ovulación. Este aumento súbito inicia el aumento de las concentraciones de LH, que desencadena la ovulación y estimula el desarrollo del cuerpo lúteo y la secreción de progesterona.
- El cuerpo lúteo se forma después de la ovulación e inicia la liberación de progesterona, estrógenos e inhibina. La combinación de estrógenos y progesterona inhibe el hipotálamo y la hipófisis para detener la secreción de FSH y prevenir la maduración de más folículos en el mismo ciclo.
- Cuando no hay embarazo, tanto los estrógenos como la progesterona disminuyen a medida que el cuerpo lúteo degenera. Lo anterior conduce a concentraciones bajas en sangre de ambas hormonas. Así, el hipotálamo y la hipófisis comienzan de nuevo su actividad, y el ciclo inicia de nuevo.
- Si la fertilización sí ocurre, el cuerpo lúteo es mantenido por la gonadotropina coriónica humana secretada por el embrión.

### **Cambios endometriales**

- El endometrio puede recibir la implantación de un embrión sólo por un lapso breve durante el ciclo menstrual. Por lo tanto, no se trata de un accidente que el endometrio sea más receptivo durante los 7 días posteriores al inicio de la ovulación, justo a tiempo para recibir el óvulo fertilizado.



- En los primeros 5 días del ciclo menstrual, el endometrio elimina su capa funcional para dejar la capa basal (la más profunda) intacta. El flujo menstrual está conformado por esta capa que se ha desprendido junto con sangre y capilares en degeneración.
- Durante la fase proliferativa, el endometrio es estimulado por las concentraciones en aumento de los estrógenos provenientes del folículo en maduración, y comienza a regenerar la capa vascular funcional que contiene abundantes glándulas secretoras de moco.
- Después de la ovulación, las concentraciones altas de progesterona estimulan la conversión de la capa funcional en mucosa edematosa capaz de secretar moco, la cual ayuda a la motilidad del espermatozoide para poder atravesar el cuello uterino y el útero. Además, la mucosa es más receptiva para la implantación del óvulo fertilizado.
- En caso de que la implantación no suceda, las concentraciones de LH disminuyen, el cuerpo lúteo degenera, la cantidad de inhibina, estrógenos y progesterona disminuye y el endometrio degenera. En conjunto, estos procesos desencadenan la menstruación y el inicio de un nuevo ciclo (Marieb & Hoehn, 2014; Netter et al., 2005; Shier et al., 2015; Waugh & Grant, 2014).



## La tercera edad

### Cambios en el aparato reproductor femenino relacionados con la edad

Las mujeres alcanzan el máximo punto de su capacidad reproductiva al final de la década de los 20 años. Para cuando una mujer alcanza el final de la década de los 30 años, la función del ovario y la fertilidad han disminuido. A los 50 años, ya hay muy pocos folículos en los ovarios. La concentración menor de estrógenos y progesterona provoca muchos cambios físicos en las mujeres. Durante la transición entre la edad reproductiva y la infertilidad también hay cambios emocionales importantes. Debido a que las mamas y los genitales internos y externos dependen de la acción de los estrógenos, el envejecimiento tiene repercusiones más notorias en la mujer que en el hombre.

#### **Ovarios**

Uno a dos años antes de la menopausia, la ovulación se vuelve errática debido a la disminución de las concentraciones hormonales. Conforme los ovarios llegan al final de su ciclo reproductivo, dejan de responder a la estimulación que realizan las gonadotropinas. Por lo tanto, algunos ciclos pueden ser anovulatorios, mientras que otros resultan en la ovulación de dos o más ovocitos. Una vez que se ha alcanzado la menopausia, los ovarios pierden su función como glándulas endocrinas y se atrofian.

#### **Vulva**

El tejido glucogenado de la vulva y vagina las hace sumamente sensibles a la pérdida de estrógenos. La pérdida de los estrógenos conduce al adelgazamiento y deshidratación de la mucosa y a la pérdida de tejido adiposo en los labios mayores y menores. Otros cambios incluyen disminución de la humedad en el vestíbulo, lo que aumenta la sensibilidad, causa prurito y produce irritación. Los tejidos pierden su elasticidad y la epidermis se adelgaza, mientras que disminuye la cantidad de vello púbico.

#### **Vagina**

Los cambios relacionados con la atrofia de la mucosa vaginal secundarios a la disminución de hormonas incluyen adelgazamiento, deshidratación, pérdida de elasticidad, acortamiento y palidez. En este punto, la mucosa vaginal es muy susceptible a la abrasión y fisuras. Además, el pH de las secreciones vaginales aumenta, por lo que el ambiente en la vagina se hace alcalino y se altera el equilibrio de la flora normal. Así, aumenta el riesgo de infecciones vaginales.

#### **Útero**

Después de la menopausia, el útero se encoje de manera acelerada hasta la mitad de su peso antes de la menstruación. Continúa encogiéndose hasta que el órgano alcanza un cuarto de su tamaño antes de la menopausia. El cuello uterino se atrofia y no puede producir más moco para la lubricación. El endometrio y miometrio se adelgazan como consecuencia de las concentraciones bajas de estrógenos; la menstruación se detiene.

#### **Estructuras pélvicas de soporte**

Las estructuras de soporte en la pelvis de la mujer pierden fuerza después de la menopausia. El debilitamiento inicial puede ser resultado del embarazo y el parto, pero los aspectos clínicos pasan inadvertidos hasta que el proceso se acelera con la escasez de estrógenos y la pérdida de la elasticidad del tejido conectivo y el tono muscular en la menopausia. Los signos y síntomas pueden incluir sensación de presión y estiramiento en el área arriba de los ligamentos inguinales, dolor de espalda, sensación de pesadez pélvica y dificultad para levantarse desde la posición de sentado. La incontinencia urinaria de esfuerzo puede ser un problema cuando se debilitan los ligamentos uretrovesicales.

#### **Mamas**

Los tejidos glandular, de soporte y adiposo de la mama sufren atrofia. Conforme los ligamentos de Cooper pierden su elasticidad, la mama se vuelve oscilante. Los pezones disminuyen su tamaño y se aplanan. Los pliegues inframamarios se hacen mucho más pronunciados.

## Muchos más cambios

Durante la adolescencia, la liberación de hormonas causa crecimiento rápido y acelera el desarrollo de los caracteres sexuales secundarios. Estos cambios en el desarrollo inician de manera habitual entre los 11 y 14 años de edad.

- Crecimiento mamario y cambios progresivos que continúan hasta la madurez
- Crecimiento de vello púbico y axilar
- Cambios en el peso y conformación corporal
- Aumento en la producción de sebo y sudor
- Menarquia (inicio de la menstruación)

La escala de Tanner es un método que puede emplearse para cuantificar el grado de madurez sexual que ha alcanzado una adolescente.



## No más

El cese de la menstruación ocurre entre los 40 y 55 años de edad. Cuando los ovocitos se agotan antes de los 40 años de edad, se denomina *fallo ovárico prematuro*. A pesar de que la hipófisis aún secreta FSH y LH en las mujeres durante la menopausia, el cuerpo ha agotado sus reservas de folículos que responden a estas hormonas; por lo tanto, la secreción de estrógenos y progesterona se detiene, el endometrio no es estimulado y la menstruación se detiene.

## Menopausia

Se considera que una mujer ha llegado a la menopausia cuando no ha menstruado en 1 año. Antes de la menopausia, una mujer puede pasar por varios años de transición denominados *perimenopausia*. Durante este tiempo suceden muchos cambios fisiológicos (véase *Cambios en el aparato reproductor femenino relacionados con la edad*). Los principales síntomas asociados con la menopausia se presentan como consecuencia de la falta de estrógenos, pero la ausencia de progesterona y testosterona también afecta a las mujeres. Las secuelas más frecuentes incluyen deshidratación de la mucosa vaginal, síntomas vasomotores (bochornos/sofocos y sudoración nocturna), interrupción del sueño, disminución de la libido, adelgazamiento de la piel, inestabilidad emocional y pérdida de densidad ósea (Marieb & Hoehn, 2014; Shier et al., 2015).



## Preguntas de autoevaluación

1. La espermatogénesis es:

- A. El crecimiento y desarrollo de espermatozoides en espermatoцитos primarios
- B. División de espermatoцитos en espermatoцитos secundarios
- C. El paso de los espermatozoides hacia el epidídimo
- D. Todo el proceso de la producción de espermatozoides

**Respuesta:** D. La espermatogénesis es todo el proceso de la producción de espermatozoides, desde el desarrollo de espermatoцитos primarios hasta la producción de espermatozoides funcionales.

2. La función principal del escroto es:

- A. Proveer un espacio para el almacenamiento de los espermatozoides
- B. Mantener la temperatura adecuada de los testículos
- C. Depositar espermatozoides en el aparato reproductor femenino
- D. Secretar líquido prostático

**Respuesta:** B. El escroto mantiene la temperatura adecuada para los testículos. Este proceso es necesario para la producción de espermatozoides.

3. La función principal de los ovarios es:

- A. Regular el crecimiento y desecho del endometrio durante el ciclo menstrual
- B. Alojar un feto en crecimiento durante el embarazo
- C. Producir óvulos, estrógenos y progesterona
- D. Servir como sitio para la fertilización

**Respuesta:** C. La función principal de los ovarios es producir óvulos, estrógenos y progesterona.

4. El cuerpo lúteo se produce y degenera en esta fase del ciclo menstrual:

- A. Lútea
- B. Folicular
- C. Proliferativa
- D. Secretora

**Respuesta:** A. El cuerpo lúteo se produce y degenera en la fase lútea del ciclo menstrual.

5. Son cuatro las hormonas implicadas en el ciclo menstrual:

- A. LH, progesterona, estrógenos y testosterona
- B. Estrógenos, FSH, LH y andrógenos
- C. Estrógenos, progesterona, LH y FSH
- D. GnRH, estrógenos, progesterona y testosterona

**Respuesta:** C. Las cuatro hormonas implicadas en el ciclo menstrual son estrógenos, progesterona, LH y FSH.



---

## Puntuación

- ☆☆☆ Si contestaste cinco preguntas de manera correcta, ¡felicidades! Ya tienes un folículo lleno de conocimiento.
- ☆☆ Si respondiste cuatro preguntas de forma acertada, ¡muy bien! Has comprendido este sistema tan complejo.
- ☆ Si contestaste menos de cuatro preguntas de manera correcta, sigue intentándolo. Al igual que el aparato reproductor, tu conocimiento requiere de tiempo para desarrollarse.

---

## Referencias

- Considine, R. V. (2009). Chapter 38: Fertilization, pregnancy and fetal differentiation. In R. A. Rhoades & D. R. Bell (Eds.), *Medical physiology: Principles for clinical medicine* (3rd ed.). Baltimore, MD: Lippincott Williams & Wilkins.
- Cooper, T. G.; World Health Organization (WHO). (2010). WHO reference values for human semen characteristics. *Human Reproduction Update*, 16(5), 559.
- Faiz, O., Blackburn, S., & Moffat, D. (2011). *Anatomy at a glance* (3rd ed.). Oxford, UK: Wiley-Blackwell.
- Hutson, J. M., & Thorup, J. (2015). Evaluation and management of the infant with cryptorchidism. *Current Opinion in Pediatrics*, 27(4), 520–524. doi:10.1097/MOP.0000000000000237.
- Malik, R. D., Lapin, B., Wang, C. E., Lakeman, J. C., & Helfand, B. T. (2015). Are we testing appropriately for low testosterone? Characterization of tested men and compliance with current guidelines. *Journal of Sexual Medicine*, 12(1), 66–75. doi:10.1111/jsm.12730.
- Marieb, E. N., & Hoehn, K. N. (2014). *Human anatomy and physiology: Pearson new international edition* (9th ed.). Essex, UK: Pearson Education Limited.
- Netter, F. H., Hansen, J. T., & Lambert, D. R. (2005). *Netter's clinical anatomy*. Carlstadt, NJ: Icon Learning Systems.
- Peate, I., & Nair, M. (2015). *Anatomy and physiology for nurses at a glance*. Oxford, UK: Wiley-Blackwell.
- Porter, R. S., Kaplan, J. L., & Merck & Co. (2011). *The Merck manual of diagnosis and therapy*. Whitehouse Station, NJ: Merck Sharp & Dohme Corp.
- Shier, D., Butler, J., & Lewis, R. (2015). *Hole's essentials of human anatomy & physiology* (12th ed.). New York, NY: McGraw-Hill Education.
- Smith, L. B., & Walker, W. H. (2014). The regulation of spermatogenesis by androgens. *Seminars in Cell and Developmental Biology*, 30C, 2–13. doi:10.1016/j.semdb.2014.02.012.
- Standing, S., & Gray, H. (2008). *Gray's anatomy: The anatomical basis of clinical practice*. Edinburgh, UK: Churchill Livingstone/Elsevier.
- Waugh, A., & Grant, A. (2014). *Ross and Wilson: Anatomy and physiology in health and illness* (12th ed.). Edinburgh, UK: Churchill Livingstone/Elsevier.
- Wilkins, R., Cross, S., Megson, I., Meredith, D. (Eds.). (2011). *Oxford handbook of medical sciences*. Oxford, UK: Oxford Medical Publications, Oxford University Press.

# Capítulo 17

## Reproducción y lactancia

### Objetivos



En este capítulo aprenderás:

- ◆ El proceso de la fertilización
- ◆ El desarrollo del feto y el embrión
- ◆ Las etapas del parto
- ◆ La función de las hormonas en la lactancia

### Fertilización

La creación de un nuevo ser humano comienza con la *fertilización*, la unión de un espermatozoide con un óvulo para formar una célula única. Después de que ocurre la fertilización, tiene lugar cambios drásticos en el cuerpo de la mujer y en el óvulo. Las células del óvulo fertilizado comienzan a dividirse a medida que el óvulo viaja por la *cavidad uterina*, en donde se implanta en la pared del útero (véase *¿Cómo ocurre la fertilización?*, p. 296).



## Uno en un millón

Para que se lleve a cabo la fertilización, primero un espermatozoide debe alcanzar el óvulo. Aunque una sola eyaculación tiene la capacidad de depositar millones de espermatozoides, muchos de éstos son destruidos por las secreciones vaginales ácidas. Los únicos espermatozoides que logran sobrevivir son aquellos que entran en el *canal cervical*, donde son protegidos por el *moco cervical*.

## El tiempo lo es todo

La capacidad de los espermatozoides para penetrar el moco cervical depende de la fase del ciclo menstrual durante el momento en que transitan la zona.

En la fase temprana del ciclo, los estrógenos y la progesterona hacen que el moco sea más espeso, lo que dificulta el paso de los espermatozoides a través del cuello uterino. En la mitad del ciclo, cuando el moco es más líquido, los espermatozoides pueden pasar más fácilmente a través del cuello uterino. Más tarde en el ciclo, el moco cervical vuelve a espesarse y dificulta el paso de los espermatozoides.

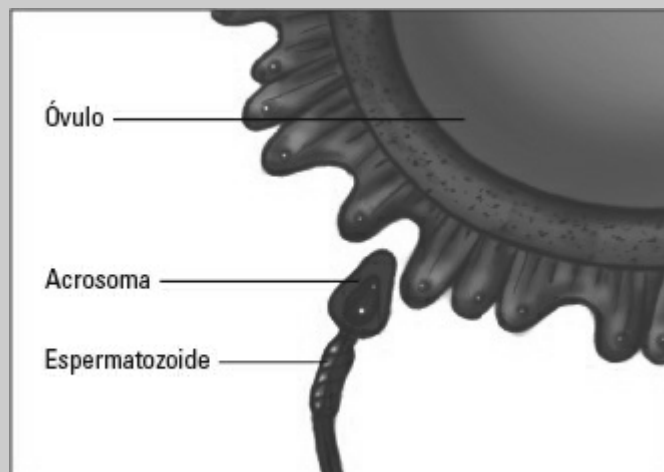


**¡Eureka!**

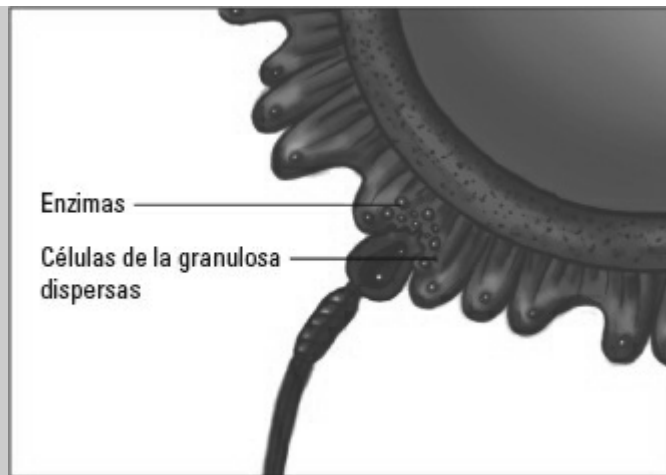
### ¿Cómo ocurre la fertilización?

La fertilización inicia cuando un espermatozoide se activa al entrar en contacto con el óvulo. Esto es lo que sucede.

1. El espermatozoide, que tiene una cubierta denominada *acrosoma*, se acerca al óvulo.



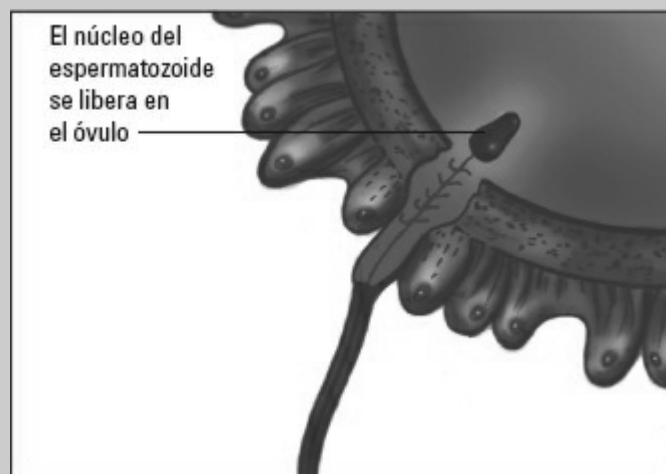
2. El acrosoma desarrolla perforaciones a través de las cuales libera enzimas necesarias para que el espermatozoide penetre las capas protectoras del óvulo.



3. El espermatozoide penetra la zona pelúcida (la membrana interna del óvulo). Como consecuencia, inicia la segunda división meiótica del óvulo, lo que provoca que la zona pelúcida sea impenetrable por otro espermatozoide.



4. Después de que el espermatozoide ha penetrado el óvulo, su núcleo se libera en éste, su cola degenera y su cabeza aumenta de tamaño para fusionarse con el núcleo del óvulo. La fusión de ambas células produce un óvulo fertilizado, o *cigoto*, con 46 cromosomas.



Ayuda en el camino

Los espermatozoides viajan a través del aparato genital femenino a una velocidad de

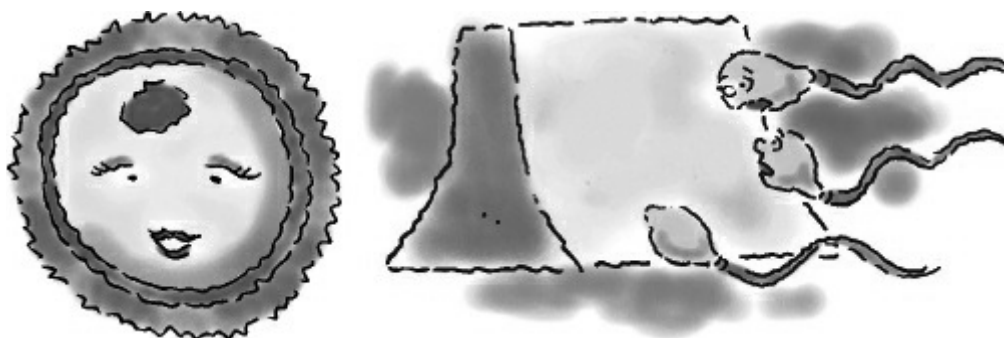
varios milímetros por hora mediante movimientos ondulantes de su flagelo (*movimientos flagelares*).

Después de que los espermatozoides pasan a través del moco cervical, el aparato genital femenino los “ayuda” en su camino mediante contracciones rítmicas que facilitan que entren a las tubas uterinas (trompas uterinas o de Falopio). En general, los espermatozoides son viables (capaces de fertilizar el ovario) durante 2 días después de la eyaculación. Sin embargo, pueden sobrevivir en el aparato genital femenino hasta por 4 días.

### “Nace” un cigoto

Antes de que el espermatozoide pueda penetrar el óvulo, debe dispersar las células de la *granulosa* (células externas protectoras) y penetrar la *zona pelúcida*, la capa gruesa y transparente que rodea al óvulo en desarrollo. Las enzimas del *acrosoma* (cubierta de la cabeza) del espermatozoide permiten la penetración. Después de la penetración, el óvulo completa su segunda división meiótica. La zona pelúcida evita la penetración de otro espermatozoide.

La cabeza del espermatozoide se fusiona con el núcleo del óvulo, y se crea una célula con 46 cromosomas en su núcleo. El óvulo fertilizado se llama *cigoto*.



## Embarazo

El embarazo comienza con la fertilización y termina con el nacimiento; en promedio, su duración es de 38-40 semanas. Durante este período, denominado *gestación*, el cigoto se divide a medida que pasa por las tubas uterinas y se une al recubrimiento del útero mediante la implantación. A través de la secuencia compleja de desarrollo preembrionario, embrionario y fetal, el cigoto se transforma en un feto.

### Ver el futuro

Debido a que el útero crece durante todo el embarazo, su tamaño es útil para estimar el tiempo de gestación. Casi nunca se conoce la fecha de fertilización, así que la fecha probable de parto debe calcularse en la mayoría de los casos a partir del inicio de su último ciclo menstrual. La herramienta que se emplea para calcular la fecha probable de parto es la *regla de Nägele*.

Así es como funciona: si conoces la fecha del primer día de la última menstruación, cuenta tres meses atrás y agrega siete días. Por ejemplo, supongamos

que el primer día de la última menstruación fue el 29 de abril. Cuenta tres meses atrás, lo que nos lleva al 29 de enero. Ahora, agrega siete días para obtener la fecha probable de parto: 5 de febrero.



---

## Etapas del desarrollo fetal

Durante el embarazo, el feto pasa por tres etapas mayores de desarrollo:

1. Período preembrionario
2. Período embrionario
3. Período fetal

Un camino largo

El período preembrionario inicia cuando ocurre la fertilización del óvulo; dura cerca de 2 semanas. A medida que el cigoto pasa por las tubas uterinas, se divide por *mitosis* en un proceso denominado *segmentación* (véase *Desarrollo preembrionario*).



### Para recordar

Para recordar las tres capas germinales, recuerda que ecto- significa afuera, meso- significa en el medio y endo- significa adentro.

Las capas que definen todo

Durante el período embrionario (semanas 3 a 8 de la gestación), la estructura que se ha implantado en el útero comienza a tomar forma humana y recibe el nombre de *embrión*. Cada capa germinal, *ectodermo*, *mesodermo* y *endodermo*, formará los tejidos específicos en el embrión (véase *Desarrollo embrionario*, p. 300).

Un estado muy vulnerable

Los sistemas de órganos se crean durante el período embrionario. En esta etapa, el embrión es muy vulnerable al daño por el uso materno de fármacos, infecciones en la madre y otros factores.



¡Eureka!

## Desarrollo preembrionario

El período preembrionario dura desde la fertilización hasta la segunda semana del desarrollo.

### Formación del cigoto

Conforme el óvulo fertilizado avanza por las tubas uterinas, pasa por varias divisiones mitóticas que producen células hijas, los *blastómeros*. Cada una de estas células contiene el mismo número de cromosomas que la célula madre. La primera división celular finaliza cerca de 30 h después de la fertilización, mientras que las divisiones consecuentes ocurren mucho más rápido.

El *cigoto*, como se llama en este punto, se convierte en un pequeño conjunto de células denominado *mórula*, el cual llega al útero 3 días después de la fertilización. La *mórula* obtiene una cavidad central gracias al líquido que se acumula en el centro.

### Formación del blastocisto

La estructura ahora se llama *blastocisto*, que consiste en una capa delgada de trofoblasto, que incluye la cavidad del blastocisto y el cúmulo interno de células. El trofoblasto se desarrolla en membranas fetales y la placenta. El conglomerado interno de células formará al embrión (*blastocisto tardío*).

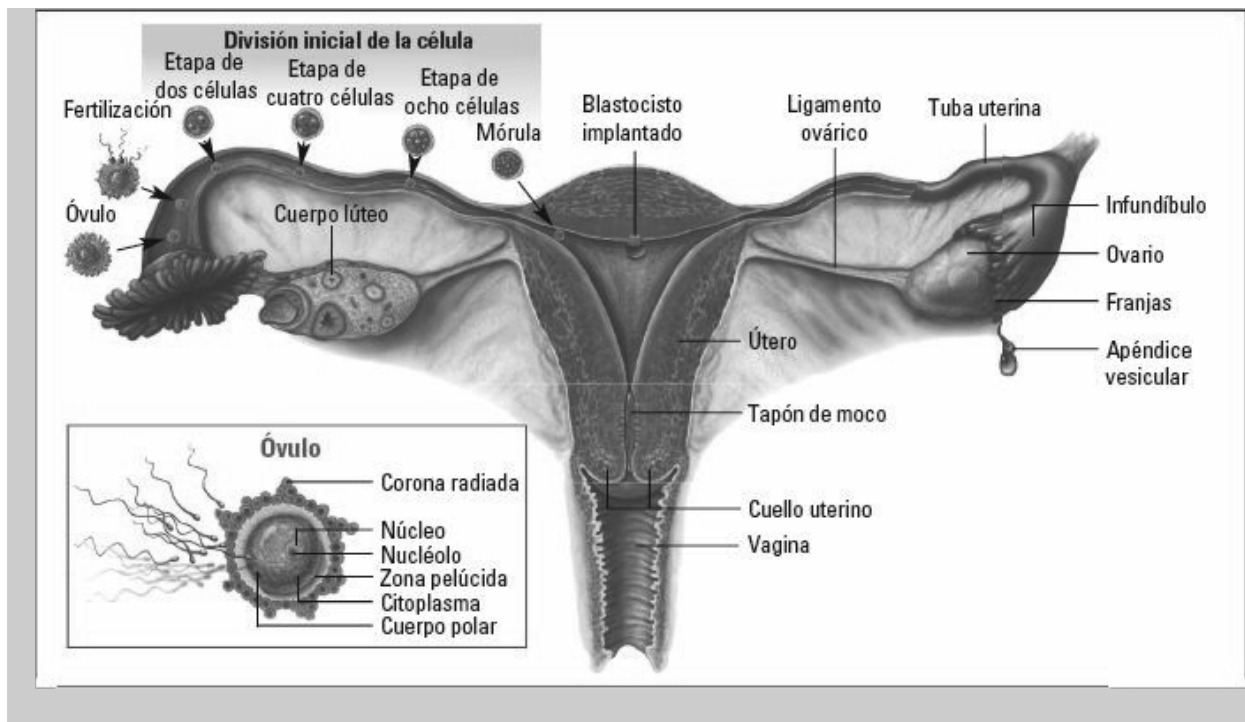
### Blastocisto y endometrio

Durante la siguiente fase, el blastocisto permanece dentro de la zona pelúcida, sin unirse al útero. Para el final de la primera semana después de la fertilización, la zona pelúcida degenera y el blastocisto se une al endometrio. La primera parte que se une es la parte del blastocisto, que se encuentra adyacente al conjunto de células internas.

El trofoblasto, en contacto con el recubrimiento del endometrio, prolifera e invade el endometrio que está debajo mediante disolución y separación de las células endometriales.

### Todo se estabiliza

Durante la siguiente semana, el blastocisto se “hunde” por debajo de la superficie del endometrio. El sitio de penetración es sellado para reconstruir la continuidad de la superficie del endometrio.



**¡Eureka!**

## Desarrollo embrionario

Cada capa germinal (ectodermo, mesodermo y endodermo) formará tejidos y órganos específicos en el embrión.

### Ectodermo

El ectodermo, la capa más externa, se transforma en:

- Epidermis
- Sistema nervioso central
- Hipófisis
- Esmalte dental
- Glándulas salivales
- Cristalinos
- Revestimiento de la porción inferior del conducto anal
- Cabello

### Mesodermo

El mesodermo, la capa del medio, se desarrolla en:

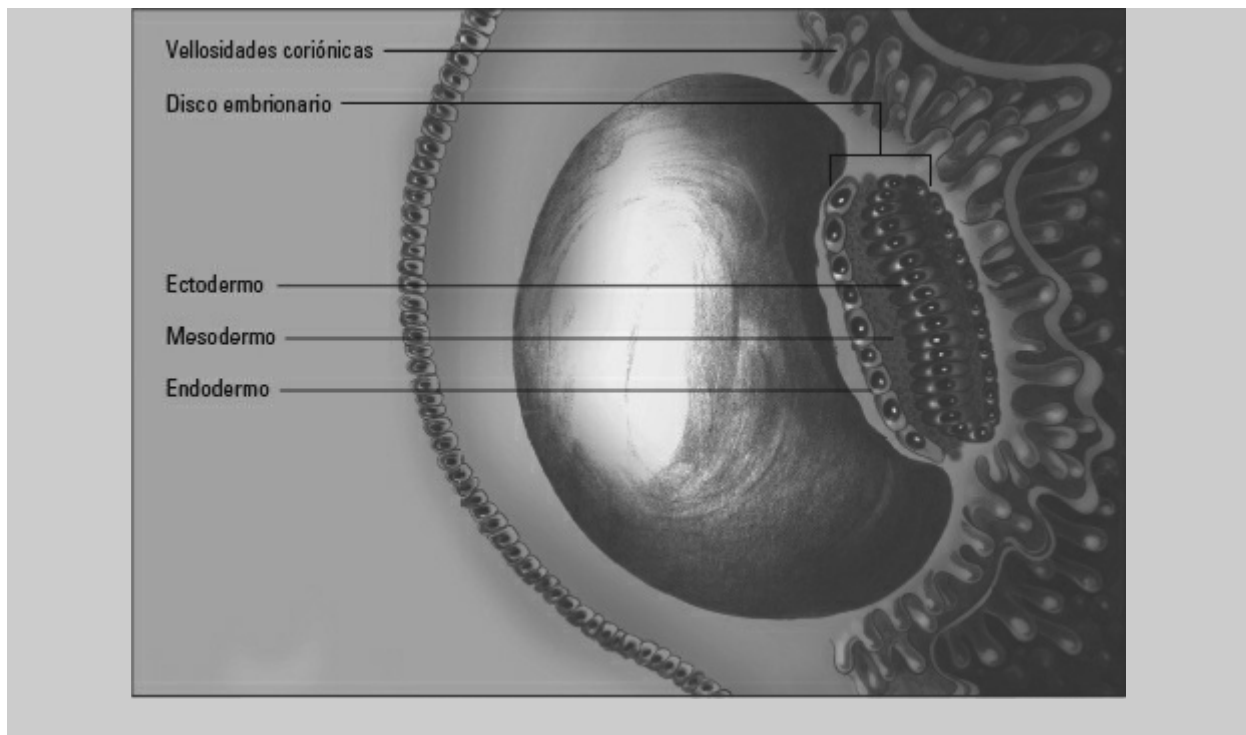
- Tejido conectivo y de soporte
- Sistema vascular sanguíneo
- Musculatura
- Dientes, excepto el del esmalte
- Mesotelio de pericardio, pleura y peritoneo
- Riñones y uréteres

### Endodermo

El endodermo, la capa más interna, se convierte en la cubierta epitelial de:

- Faringe y tráquea
- Conducto auditivo
- Tubo digestivo
- Hígado
- Páncreas
- Vejiga y uretra
- Próstata





### Una cabeza muy grande

Durante el período fetal del desarrollo, que abarca desde la novena semana de gestación hasta el nacimiento, el feto madura, crece y aumenta de peso (véase *De embrión a feto*).



**¡Eureka!**

### De embrión a feto

El crecimiento y desarrollo significativos ocurren en los primeros 3 meses después de la fertilización, y el embrión se desarrolla en un feto que se asemeja a la forma de un recién nacido.

### Primer mes

Al final del primer mes, el embrión tiene una figura definida. Pueden distinguirse la cabeza, el tronco y pequeños bulbos que se convertirán en brazos y piernas. El sistema cardiovascular ha comenzado a funcionar, y el cordón umbilical es visible en su forma más primitiva. También se han comenzado a formar el saco amniótico y la placenta. Tiene cerca de 6 mm de longitud.

### Segundo mes

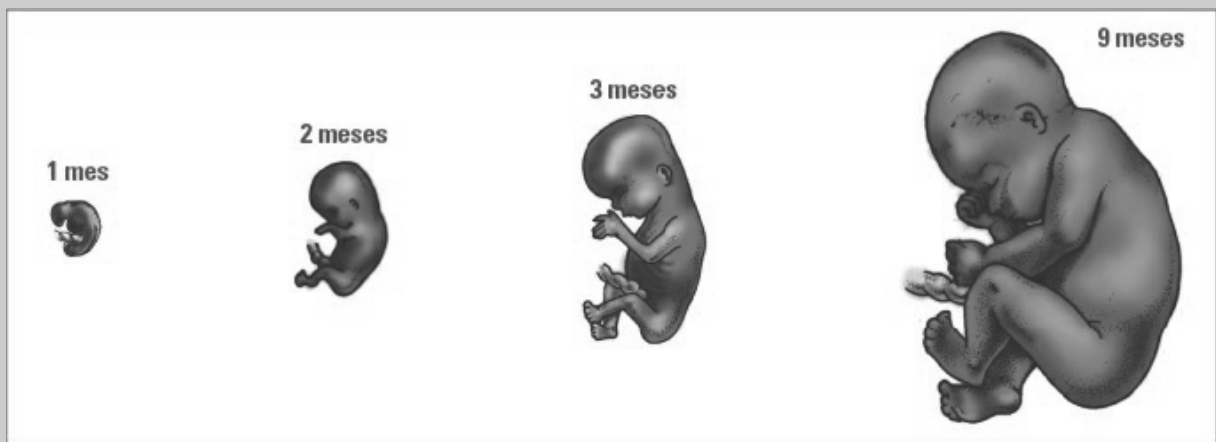
Durante el segundo mes, el embrión (feto a partir de la novena semana) crece hasta medir 2.5 cm de longitud y pesa 1 g. La cara y los rasgos faciales se desarrollan al mismo tiempo que lo hacen los ojos, oídos, nariz, labios, lengua y dientes. También toman forma los brazos y piernas. A pesar de que no puede identificarse aún el sexo del feto, ya están presentes todos los genitales externos. La función cardiovascular está desarrollada por completo, el cordón umbilical tiene forma bien definida y ya se ha formado el tubo neural. Alrededor de la sexta semana, ya puede identificarse el latido cardíaco. Al final del segundo mes, el feto se asemeja a un recién nacido, excepto por su tamaño.

### Tercer mes

Durante el tercer mes, el feto crece hasta medir 7.5 cm de longitud y pesa 28 g. Los huesos y dientes comienzan a aparecer, mientras que los riñones también empiezan a funcionar. El feto abre su boca y deglute, muestra capacidad de prensión con sus manos (ya desarrolladas por completo) y se prepara para la respiración al inhalar y exhalar líquido amniótico. Los pulmones aún no son funcionales. Al final del primer *trimestre* (los períodos de 3 meses en los que se divide el embarazo), el sexo del feto puede distinguirse. El riesgo de aborto espontáneo disminuye mucho, pues ha concluido la mayor parte del desarrollo esencial.

### Cuarto a noveno mes

A lo largo de los 6 meses que restan, el feto continúa el desarrollo rápido de sus estructuras internas y externas. Al final del tercer trimestre, el feto almacena los lípidos y minerales que necesitará para sobrevivir fuera del útero. Al momento del nacimiento, el feto de término mide en promedio 51 cm y pesa 3-3.5 kg.



Hay dos características que sobresalen durante esta etapa:

1. La cabeza del feto es muy grande y desproporcionada si se compara con el cuerpo (esta característica cambia conforme crece el lactante).
2. El feto no tiene tejido adiposo subcutáneo (grasa blanca), que comienza a acumularse paulatimamente después del nacimiento.



---

## Cambios estructurales en los ovarios y el útero

El embarazo cambia el desarrollo del *cuerpo lúteo* (el óvulo que después de la ovulación secreta progesterona y pequeñas cantidades de estrógenos), lo que conduce al desarrollo de decidua, saco amniótico, líquido amniótico, saco vitelino y placenta.

### Cuerpo lúteo

El funcionamiento normal del cuerpo lúteo necesita estimulación constante por la *hormona luteinizante* o lutropina (LH, de *luteinizing hormone*). La progesterona producida por el cuerpo lúteo inhibe la liberación de LH por la hipófisis. Cuando ocurre el embarazo, el cuerpo lúteo continúa la producción de progesterona hasta que la placenta toma esta función. Cuando no ocurre el embarazo, el cuerpo lúteo se atrofia 3 días antes de que inicie el flujo menstrual.

La hCG puede detectarse tan pronto como 9 días después de la fertilización, y puede confirmar un embarazo antes de que se “pierda” el primer ciclo menstrual.



### Toda una mezcla de hormonas

El cuerpo lúteo se hace menos sensible a la LH a medida que envejece. Es por esta razón que el cuerpo lúteo maduro degenera a menos que sea estimulado de manera progresiva con mayor cantidad de LH.

El embarazo estimula que el tejido de la placenta secrete gran cantidad de gonadotropina coriónica humana (hCG, de *human chorionic gonadotropin*), la cual se asemeja a la LH y la hormona foliculoestimulante o folitropina (FSH, de *follicle-stimulating hormone*), que también se produce en la hipófisis. La hCG evita la degeneración del cuerpo lúteo al estimularlo para producir gran cantidad de estrógenos y progesterona, necesarios para mantener el embarazo durante los primeros 3 meses.

### La hCG lo dice todo

La hCG puede detectarse tan pronto como 9 días después de la fertilización, y puede confirmar un embarazo antes de que se “pierda” el primer ciclo menstrual.

La concentración de hCG aumenta de manera gradual. Alcanza su nivel máximo después de las 10 semanas de gestación, y desciende de manera gradual.

## Decidua

La *decidua* es el revestimiento uterino que presenta cambios inducidos por hormonas durante el embarazo. Las células de la decidua secretan las siguientes sustancias:

- *Prolactina*: hormona que promueve la lactancia.
- *Relaxina*: hormona peptídica que induce la relajación del tejido conectivo de la sínfisis del pubis y los ligamentos pélvicos, además de facilitar la dilatación del cuello uterino.
- *Prostaglandinas*: ácido graso con potente actividad hormosimil que regula varias funciones fisiológicas (véase *Desarrollo de la decidua y las membranas fetales*, p. 304).

## Saco amniótico y líquido amniótico

El *saco amniótico*, dentro del corion, aumenta de tamaño poco a poco y rodea al embrión. A medida que crece, el saco amniótico se expande al interior de la cavidad coriónica hasta llenar la cavidad y fusionarse con el corion a las 8 semanas de gestación.



### Un mar de protección

El saco y líquido amniótico son de utilidad para el feto de dos maneras: una durante el embarazo y otra durante el parto. Durante la gestación, el líquido amniótico provee al feto de un ambiente de sostén con temperatura controlada y que brinda nutrición. También es la primera línea de defensa frente a los patógenos. Más tarde, le servirá como una cuña líquida que abrirá el cuello uterino durante el parto.

¡Gracias, mamá! Me encargaré a partir de ahora

Lic. Gavino

421

Al inicio del embarazo, el líquido amniótico proviene de tres fuentes principales:

1. Filtración de líquido hacia el saco amniótico desde la sangre materna que pasa por el útero.
2. Filtración de líquido hacia el saco amniótico desde la sangre fetal que pasa por la placenta.
3. Difusión de líquido hacia el saco amniótico desde la piel del feto y de las vías respiratorias fetales.

En las etapas posteriores del embarazo, cuando los riñones del feto comienzan a funcionar, el feto orina hacia el líquido amniótico. La orina fetal se vuelve el componente principal del líquido amniótico.

Es cosa de todos los días

La producción de líquido amniótico, tanto por la madre como por el feto, compensa el líquido que se pierde a través del tubo digestivo fetal. En condiciones normales, el feto traga varios cientos de mililitros de líquido amniótico todos los días. El líquido se absorbe hacia la circulación fetal desde el tubo digestivo fetal, y una porción es transferida a la circulación materna de la circulación fetal para excretarse en la orina de la madre.

## Desarrollo de la decidua y las membranas fetales

Durante su desarrollo, el embrión y el feto están sostenidos, protegidos y reciben nutrición mediante la labor de tejidos especializados. Entre estos tejidos, la decidua y las membranas fetales son las que se desarrollan poco después de la fertilización.

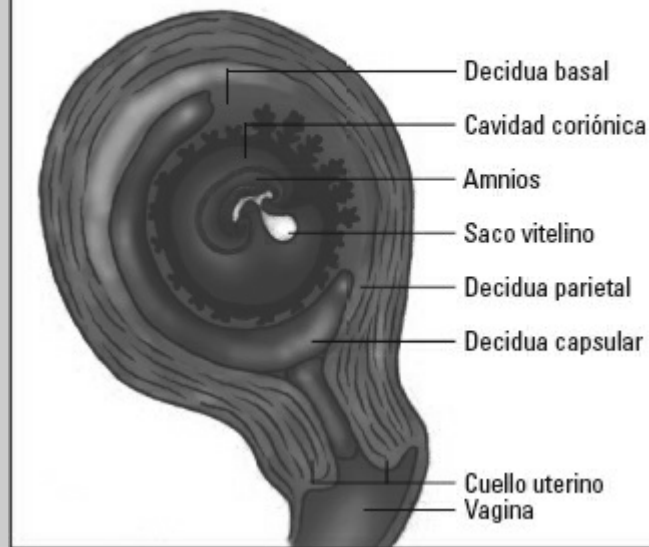
### Un lugar para descansar

Durante el embarazo, el revestimiento del endometrio se llama *decidua*, la cual provee el lugar en donde se alojará el cigoto. Además, tiene función endocrina.

### Red de vasos sanguíneos

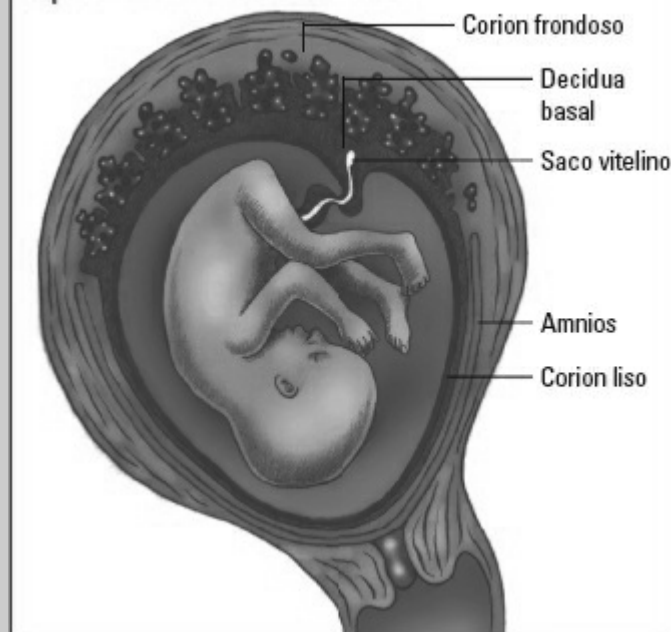
El *corion* es la membrana que forma la pared interior del blastocisto. Las *vellosidades coriónicas* son proyecciones vasculares que se extienden de la periferia del corion. A medida que crece la cavidad coriónica, las vellosidades de la parte superficial del corion, el *corion liso*, se atrofian y dejan una superficie lisa. Las vellosidades que se extienden desde la parte más profunda del corion, el *corion frondoso*, proliferan y se proyectan hacia los vasos mayores dentro de la decidua basal. A través de estos vasos es por donde circula la sangre materna. La parte más profunda del corion se convertirá en la *placa coriónica* de la placenta.

Aproximadamente 4 semanas



Conforme crecen, se forman vasos sanguíneos dentro de las vellosidades coriónicas. Estos vasos se conectan con los vasos dentro del corion, el cuerpo de la madre y el cuerpo del embrión. La sangre comienza a fluir a través de esta red de vasos en desarrollo tan pronto como el corazón del embrión empieza a latir.

Aproximadamente 16 semanas



## Saco vitelino

Las células del blastocisto se separan y forman el saco vitelino. El *saco vitelino* se forma junto al endodermo, y una porción de éste se incorpora al embrión en desarrollo para formar el tubo digestivo. Otra porción del saco evoluciona a células primitivas que viajan hacia las gónadas, donde se convertirán en *ovocitos*

(precursores de óvulos) o *espermatocitos* (precursores de espermatozoides) después de la diferenciación sexual.

Es temporal

Durante el desarrollo embrionario inicial, el saco vitelino también produce células sanguíneas. Más tarde, se atrofia y degenera.

## Placenta

La *placenta*, con forma aplanada similar a un disco, provee nutrientes y elimina desechos del feto a través del cordón umbilical desde el tercer mes del embarazo hasta el nacimiento. La placenta se forma a partir del corion, las vellosidades coriónicas y la decidua basal adyacente.

La unión más fuerte

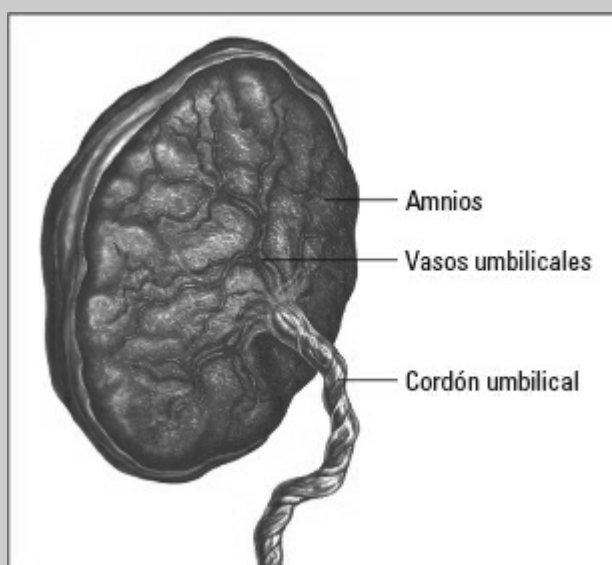
El cordón umbilical contiene dos arterias y una vena para unir el feto y la placenta. Las arterias umbilicales, que transportan sangre del feto a la placenta, viajan en forma de espiral dentro del cordón umbilical, se dividen en la superficie de la placenta y vuelven a hacerlo para entrar a las vellosidades coriónicas (véase *Así es la placenta*).



### Zoom

#### Así es la placenta

Al término del embarazo, la *placenta*, la estructura esponjosa dentro del útero que provee nutrientes al feto, es plana, similar a un pastel, redonda y ovalada. Mide cerca de 22 cm de diámetro y pesa unos 500 g. La cara materna de la placenta es marrón oscuro y está dividida en lóbulos. La cara fetal es gris brillante. Después del nacimiento, la placenta se separa de la pared del útero y es expulsada.





## Una vena para todos

La placenta es un órgano muy vascularizado. Tiene venas de gran tamaño en su superficie que recogen sangre que regresa desde las vellosidades coriónicas y se unen para formar la vena umbilical. La vena umbilical entra al cordón para regresar la sangre al feto.

## Especialistas

La placenta tiene dos sistemas circulatorios especializados:

- La *circulación placentaria* lleva sangre oxigenada desde las arterias de la madre hasta los *espacios intervillosos*, espacios grandes que separan las vellosidades coriónicas en la placenta. La sangre entra en los espacios intervillosos desde las arterias uterinas que penetran la parte basal de la placenta. Después, la sangre sale de los espacios intervillosos y regresa a la circulación de la madre mediante venas en la parte basal de la placenta, cercanas a las arterias.
- La *circulación fetoplacentaria* transporta sangre sin oxígeno del feto a las vellosidades coriónicas a través de las arterias umbilicales y regresa sangre oxigenada al feto por la vena umbilical.

## La placenta tiene el control

Durante los primeros 3 meses del embarazo, el cuerpo lúteo es la principal fuente de estrógenos y progesterona, hormonas esteroideas necesarias durante el embarazo. Al final del tercer mes, la placenta produce la mayor parte de las hormonas. El cuerpo lúteo persiste, pero no es necesario para mantener el embarazo.

## Hormonas en ascenso

Las concentraciones de estrógenos y progesterona aumentan de manera progresiva a lo largo del embarazo. Los estrógenos estimulan el desarrollo del útero para que pueda proporcionar un ambiente adecuado para el embarazo. La progesterona, sintetizada en la placenta a partir del colesterol materno, reduce la irritabilidad del músculo uterino para prevenir el aborto espontáneo del feto.

## Más aminoácidos, por favor

La placenta también produce lactógeno placentario humano (HPL, de *human placental lactogen*), el cual se asemeja a la hormona del crecimiento. El HPL estimula el metabolismo de proteínas y lípidos en la madre para garantizar un aporte suficiente de aminoácidos y ácidos grasos al feto. El HPL también estimula el crecimiento de las mamas en preparación para la lactancia. La cantidad de HPL aumenta de manera progresiva durante todo el embarazo.

# Parto y período posparto

El nacimiento se logra a través del parto, el proceso por el cual las contracciones

uterinas expulsan al feto del útero. Cuando inicia el parto, estas contracciones se hacen más intensas y regulares. En determinado punto, los esfuerzos voluntarios de la madre para expulsar al feto y las contracciones conducen al nacimiento. Cuando sucede lo anterior, el feto puede presentarse en una de varias formas (véase *Tipos de presentación fetal*, p. 308).



---

## Inicio del parto

El inicio del parto se debe a varios factores:

- La cantidad de receptores de oxitocina (hormona hipofisaria que estimula las contracciones uterinas) en las fibras musculares del útero aumenta de manera progresiva conforme avanza el embarazo; alcanza su máximo justo antes del inicio del parto. En consecuencia, el útero es más sensible a los efectos de la oxitocina.
- El estiramiento de las paredes del útero durante el embarazo produce impulsos nerviosos que estimulan la secreción de oxitocina.

Inicia la secuencia de despegue

Cerca del término del embarazo, la hipófisis del feto produce más *hormona adrenocorticotrópica*, la cual causa que las glándulas suprarrenales del feto secreten *cortisol*. El cortisol pasa a la circulación materna a través de la placenta, aumenta la

secreción de oxitocina y estrógenos, y disminuye la secreción de progesterona. Los cambios anteriores intensifican la irritabilidad del músculo uterino y hacen que el útero sea más sensible a la estimulación por oxitocina.

### Disminuir, difundir y contraer

Las concentraciones de progesterona en disminución convierten el *ácido araquidónico* esterificado en su forma no esterificada. El ácido araquidónico no esterificado es conducido por biosíntesis para crear prostaglandinas, las cuales se difunden hacia el *miometrio uterino* para producir contracciones.

### Todo listo

Conforme se dilata el cuello uterino, los impulsos nerviosos viajan al sistema nervioso central para aumentar la secreción de oxitocina desde la hipófisis. Mediante un mecanismo de retroalimentación positiva, la secreción aumentada de oxitocina estimula más contracciones uterinas. A su vez, las contracciones dilatan más el cuello uterino y provocan la liberación de oxitocina en la hipófisis. La oxitocina tiene la capacidad de estimular la producción de *prostaglandinas* en la decidua.

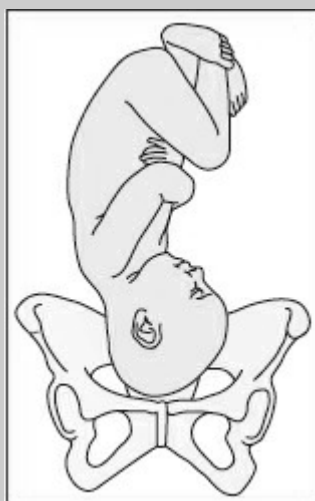


¡Eureka!

### Tipos de presentación fetal

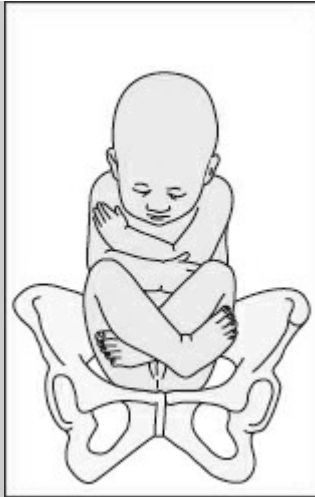
La presentación fetal puede catalogarse de manera general como cefálica, podálica, acromioliáca y compuesta.

#### Cefálica



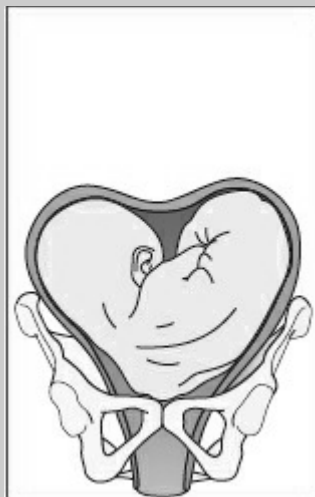
En la presentación *cefálica*, la posición del feto puede clasificarse de acuerdo con la parte del cráneo que se presenta, ya sea el vértice (la parte más alta de la cabeza), la glabella, el sincipucio (parte superior y anterior del cráneo) o la cara.

#### Podálica



En la presentación *podálica* (o de nalgas), la posición del feto puede clasificarse como *pura* (caderas flexionadas y rodillas extendidas), *completa* (rodillas y caderas flexionadas), *de pies* (rodillas y caderas de una o ambas piernas extendidas), *de rodillas* (rodillas flexionadas y caderas extendidas) o *incompleta* (una o dos caderas extendidas y uno o dos pies, o rodillas, debajo de las nalgas). La presentación podálica aumenta el riesgo de que un asa de cordón umbilical cause daño al momento del parto vaginal.

#### **Acromioilíaca**



A pesar de que un feto puede tomar muchas formas de presentación *acromioilíaca*, la exploración no será útil para determinar el tipo. Por lo tanto, todas las presentaciones transversales se denominan *acromioilíacas*. Estos casos requieren de cesárea.

#### **Compuesta**

En las presentaciones *compuestas*, una extremidad se presenta junto con una parte principal, por lo que dos regiones ingresan a la pelvis al mismo tiempo.

---

## **Etapas del parto**

El parto puede dividirse en tres partes. La duración de cada etapa varía de acuerdo con el tamaño del útero, la edad de la mujer y el número de embarazos anteriores.



### Etapa 1: borramiento y dilatación

La primera etapa del parto, en la que el feto comienza su descenso, se caracteriza por el *borramiento y dilatación* del cuello uterino. El cuello uterino no está dilatado antes de que inicie el parto. Al final de la primera etapa, se ha dilatado por completo. La primera etapa del parto puede durar algunas horas o días, en especial en mujeres primíparas, pero es mucho más corta en mujeres multíparas (véase *Borramiento y dilatación del cuello uterino*, p. 310).

### Etapa 2: no hay vuelta atrás

La segunda etapa del parto inicia una vez que se ha dilatado por completo el cuello uterino y termina con el nacimiento del feto. Durante esta etapa, el saco amniótico se rompe. Al mismo tiempo, aumenta la frecuencia e intensidad de las contracciones. El saco amniótico también puede romperse antes del inicio del parto, durante la primera etapa o, aunque infrecuente, después de la expulsión del feto. Conforme la cabeza flexionada del feto entra en la pelvis, los músculos pélvicos fuerzan la cabeza para que gire de forma anterior, lo que sitúa la parte posterior de la cabeza debajo de la sínfisis del pubis.

### Levanten el telón

La cabeza del feto flexionada es forzada aún más adentro de la pelvis mediante la contracción del útero. La resistencia del piso pélvico provoca que la cabeza se extienda. A medida que la cabeza presiona el piso pélvico, los tejidos de la vulva se estiran y el ano se dilata.



Esta es la estrella que esperábamos

La cabeza del feto rota a la posición que tenía antes de atravesar el orificio vulvovaginal. De manera habitual, la rotación es lateral (externa) y el hombro anterior gira hacia el frente para atravesar el arco púbico. A continuación, se expulsan los hombros y el resto del feto. La segunda etapa del parto puede durar minutos u horas. De manera general, es más prolongada en mujeres primíparas y mujeres que eligieron anestesia epidural; puede ser mucho más corta en mujeres multíparas.

El acto final

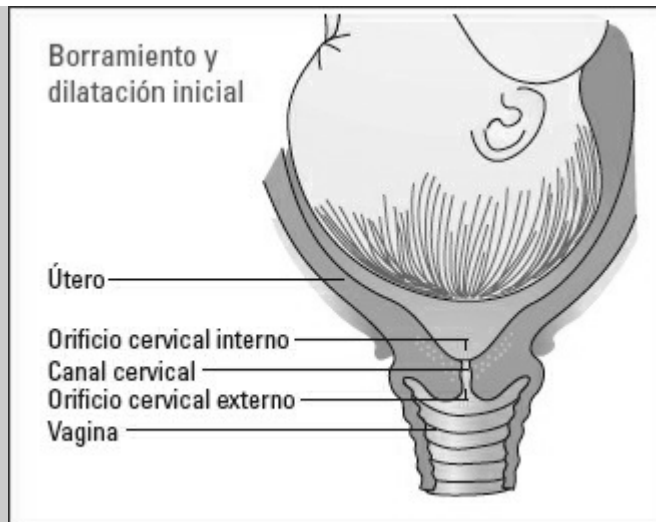
La tercera etapa del parto inicia justo después del nacimiento y termina con la expulsión de la placenta. Después del nacimiento del neonato, el útero continúa sus contracciones de forma intermitente y reduce su tamaño. El área de la unión placentaria también disminuye. La placenta, que no puede reducir su tamaño, se separa del útero, y la sangre llena el área en donde se separaron ambas estructuras. La tercera etapa del parto dura en promedio 10 min en mujeres tanto primíparas como multíparas.

## **Borramiento y dilatación del cuello uterino**

El borramiento y la dilatación del cuello uterino son procesos importantes en la primera etapa del parto.

### **Adelgazamiento de las paredes**

El *borramiento* del cuello uterino es el acortamiento progresivo de la porción vaginal del cuello uterino, así como el adelgazamiento de sus paredes a medida que es estirado por el feto. El borramiento se expresa como un porcentaje que va desde 0% (sin acortamiento y grueso) hasta 100% (acortado y delgado como papel).



### Una salida grande

La *dilatación* es la abertura del orificio cervical externo para permitir que el feto pase desde el útero hasta la vagina. La dilatación varía desde menos de 1 cm hasta cerca de 10 cm (dilatación completa).



## Período posparto

Después del nacimiento, el aparato reproductor necesita unas 8 semanas para sanar y volver a su estado anterior mediante un proceso denominado *involución*. El útero se encoje rápidamente. La mayor parte de su involución ocurre durante las 2 semanas posteriores al parto.

Todo está en el color

Los desechos vaginales puerperales (loquios) persisten durante varias semanas después del parto.

- *Loquios rojos*: desechos rojos que aparecen después del parto y persisten de 1 a 4 días en el puerperio.
- *Loquios serosos*: desechos marrones y serosos que se presentan desde el quinto hasta el séptimo día del posparto.

- *Loquios blancos*: desechos grisáceos o incoloros que se observan en la primera semana del posparto y hasta la tercera.

## Lactancia

La *lactancia* (síntesis de leche y su secreción por las mamas) está regulada por las interacciones de cuatro hormonas:

- Estrógenos y progesterona: producidas por ovarios y placenta.
- Prolactina y oxitocina: formadas por la hipófisis bajo el control del hipotálamo.

---

### Inicio hormonal de la lactancia

Conforme avanza la gestación, la producción de progesterona y estrógenos aumenta en la placenta. Como consecuencia, prolifera el tejido glandular y de conductos de la glándula mamaria. Después de que las mamas han sido estimuladas por los estrógenos y la progesterona, la prolactina provoca la secreción de leche.

#### A preparar todo

La oxitocina, producida en la neurohipófisis, causa la contracción de células especializadas en la mama. Este efecto de presión fuerza a la leche a salir por los conductos. Amamantar estimula la secreción de prolactina, y las concentraciones altas de ésta causan cambios en el ciclo menstrual.

#### Se abren las tuberías

Las concentraciones de progesterona y estrógenos disminuyen después del parto. Una vez que la progesterona y los estrógenos dejan de inhibir los efectos de la prolactina en la producción de leche, la glándula mamaria comienza a secretar el alimento.

#### Más leche, por favor

La estimulación del pezón al amamantar provoca la transmisión de impulsos sensitivos desde el pezón hasta el hipotálamo. Si los pezones no se estimulan durante la lactancia, la secreción de prolactina disminuye después del parto. La secreción de leche continúa siempre que los pezones sean estimulados al amamantar. Si la mujer no amamanta más, se elimina el estímulo para la liberación de prolactina y la producción de leche se detiene.



Amamantar de forma regular provee el estímulo necesario para la producción continua de leche.



---

## Lactancia y ciclo menstrual

Durante el período posparto, las concentraciones altas de prolactina en la mujer inhiben la liberación de FSH y LH. Si la mujer no amamanta, su producción de prolactina decaerá de manera rápida, por lo que la LH y FSH se volverán a producir en la hipófisis. Como consecuencia, se liberan de nuevo ambas hormonas (véase *Composición de la leche materna*).

La ovulación se toma un descanso

En la mayoría de las mujeres, el ciclo menstrual no inicia de nuevo durante la lactancia, pues la prolactina inhibe la liberación cíclica de la FSH y LH necesarias para la ovulación. Lo anterior explica por qué una mujer en lactancia no se embaraza.

El ciclo se completa

La liberación de prolactina como respuesta a la lactancia disminuye poco a poco, así como los efectos inhibitorios de la prolactina en la liberación de FSH y LH. Como consecuencia, la ovulación y el ciclo menstrual pueden reiniciarse. El embarazo puede ocurrir después de este proceso, incluso si la mujer sigue amamantando.

### Composición de la leche materna

La composición de la leche materna va cambiando a lo largo del período de lactancia.

#### El primer sabor

La primera producción de leche provee un líquido fluido y seroso denominado *calostro*. A diferencia de

la leche madura, que tiene un tinte azulado, el calostro es amarillo. El calostro contiene concentraciones altas de proteínas, vitaminas liposolubles, minerales e inmunoglobulinas que funcionan como anticuerpos. Su efecto laxante facilita la expulsión de meconio, el material negro y verdoso que se acumula en los intestinos fetales y constituye la primera evacuación del neonato. Las mamas pueden contener calostro por hasta 96 h tras el parto.

### Leche temprana y tardía

La composición de la leche materna cambia en el curso de una “comida”. La leche temprana es leche fluida y acuosa que se secreta al inicio de una toma. Es baja en calorías, pero abundante en vitaminas hidrosolubles. Proporciona el 60% del volumen de una toma. Después se secreta la leche tardía. Esta leche, disponible varios minutos después del inicio de una sesión de alimentación, tiene la mayor concentración de calorías, lo que ayuda a satisfacer el hambre del lactante entre comidas.



## Preguntas de autoevaluación

1. Cada capa germinal (ectodermo, mesodermo y endodermo) formará tejidos y órganos específicos en el:
- A. Cigoto
  - B. Óvulo
  - C. Embrión
  - D. Feto

**Respuesta:** C. Cada capa germinal (ectodermo, mesodermo y endodermo) formará tejidos y órganos específicos en el embrión.

2. ¿Cuál de las siguientes estructuras es responsable de proteger al feto?
- A. Decidua
  - B. Líquido amniótico
  - C. Cuerpo lúteo
  - D. Saco vitelino

**Respuesta:** B. El líquido amniótico proporciona un medio con temperatura controlada donde el feto flota y es protegido.

3. La apertura progresiva de los orificios cervicales durante el parto se denomina:
- A. Dilatación
  - B. Borramiento
  - C. Lactancia
  - D. Diferenciación

**Respuesta:** A. La apertura progresiva de los orificios cervicales durante el parto se denomina *dilatación*.

4. La leche materna que se secreta de forma inicial y tiene color amarillo se conoce como:
- A. Leche temprana
  - B. Leche tardía
  - C. Calostro
  - D. Prolactina

**Respuesta:** C. La leche materna que se secreta de forma inicial y tiene color amarillo se conoce como *calostro*.

---

## Puntuación

☆☆☆ Si contestaste cuatro preguntas de manera correcta, ¡fabuloso! La fertilización te ha dejado una huella.



Si respondiste tres preguntas de forma acertada, ¡excelente! Vas muy bien en las áreas de parto y lactancia.

- ☆ Si contestaste menos de tres preguntas de manera correcta, no te preocupes. Vuelve a leer este capítulo y completa un ciclo exitoso.



## ¡Diviértete!

Ordena las siguientes palabras para descubrir los nombres de las tres etapas principales del desarrollo durante el embarazo. Después, dibuja líneas para unir cada etapa con sus características.

REPORIBMONREIA

-----

ARIBREIOMON

-----

ALEFT

-----

- A. Fase que inicia en la 9.<sup>a</sup> semana de gestación y termina con el parto.  
B. Fase en la que el cigoto se desarrolla en un pequeño cúmulo de células llamado *mórula*.  
C. Fase en la que el cigoto comienza a tomar forma humana.  
D. Fase que inicia con la fertilización del óvulo; dura cerca de 2 semanas.  
E. Fase en la que el feto no tiene tejido adiposo subcutáneo.  
F. Fase en la que el blastocisto se une al endometrio.  
G. Fase que va de la 3.<sup>a</sup> hasta la 8.<sup>a</sup> semana de gestación.  
H. Fase en la que el cigoto se denomina *embrión*.  
I. Fase en la que la cabeza del feto es muy grande y desproporcionada comparada con el cuerpo.  
J. Fase en la que se desarrollan los sistemas orgánicos.  
K. Fase en la que el cigoto es llevado por una serie de divisiones mitóticas.
- Respuesta: PREEMBRIÓNARIO : B, D, F, K; EMBRIÓNARIO: C, G, H, J; FETAL: A, E, ,I

## Bibliografía

- Alberts, B., Johnson, A., & Lewis J. (2002). Fertilization. *Molecular biology of the cell*. Tomado de: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK26843/>
- Arey, L. (2016). Prenatal development. *Encyclopedia britannica*. Tomado de: <https://www.britannica.com/science/prenatal-development>
- Fetal Positions for Birth. (2014). *Cleveland clinic*. Tomado de: [http://my.clevelandclinic.org/health/diseases\\_conditions/hic\\_Am\\_I\\_Pregnant/hic\\_Labor\\_and\\_Delivery/hic](http://my.clevelandclinic.org/health/diseases_conditions/hic_Am_I_Pregnant/hic_Labor_and_Delivery/hic)

Lic. Gavino

435

- COMPARTIR NO TIENE LÍMITES -

- Handwerger, S., & Freemark, M. (2000). The roles of placental growth hormone and placental lactogen in the regulation of human fetal growth and development. *Journal of Pediatric Endocrinology Metabolism*, 13(4). Tomado de: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10776988>
- Kumar, P., & Magon, N. (2012). Hormones in pregnancy. *Nigerian Medical Journal: Journal of the Nigeria Medical Association*, 53(4), 179–183. <http://doi.org/10.4103/0300-1652.107549>
- Labor, Delivery, and Postpartum Care. (2016). *Mayo clinic*. Tomado de: <http://www.mayoclinic.org/healthy-lifestyle/labor-and-delivery/in-depth/stages-of-labor/art-20046545?pg=2>
- Stages Of Pregnancy & Fetal Development. (2016). *Cleveland clinic*. Tomado de: [http://my.clevelandclinic.org/health/diseases\\_conditions/hic\\_Am\\_I\\_Pregnant/hic-fetal-development-stages-of-growth](http://my.clevelandclinic.org/health/diseases_conditions/hic_Am_I_Pregnant/hic-fetal-development-stages-of-growth)
- Underwood, M., Gilbert, W., & Sherman, M. (2005). Amniotic fluid not just urine anymore. *Journal of Perinatology*, 25, 341–348. doi: 10.1038/sj.jp.7211290.
- Wagner, C. Human milk and lactation. *Medscape*. Tomado de: <http://emedicine.medscape.com/article/1835675-overview#a6>
- Yetter, J. (1998). Examination of the placenta. *American Family Physician*, 57(5). Tomado de: <http://www.aafp.org/afp/1998/0301/p1045.html>

# Apéndices e índice

---

■ **La práctica hace al maestro**

---

■ **Glosario**

---

■ **Diagramas para estudio**

---

■ **Índice alfabético de materias**



## La práctica hace al maestro

1. Una enfermera prepara a un paciente para una valoración cardíaca. ¿Cuál es la respuesta que informa de la mejor manera al paciente sobre la arteria que brinda la mayor parte del aporte sanguíneo al atrio izquierdo?
  - A. Arteria subclavia izquierda
  - B. Arteria carótida interna
  - C. Arteria coronaria izquierda
  - D. Arteria coronaria derecha
2. ¿Cuál de los siguientes acontecimientos indica que los ventrículos reciben sangre?
  - A. Inspiración en el ciclo respiratorio
  - B. Diástole del ciclo cardíaco

- C. Espiración en el ciclo respiratorio
  - D. Sístole del ciclo cardíaco
3. Una enfermera informa a un paciente sobre el área del corazón que está en mayor riesgo de sufrir un infarto después de la oclusión prolongada de la arteria coronaria derecha. Esta área es:
- A. Área anterior del corazón
  - B. Área apical del corazón
  - C. Área inferior del corazón
  - D. Área lateral del corazón
4. ¿Cuál de las válvulas cardíacas previene el flujo retrógrado de sangre desde el ventrículo izquierdo hasta el atrio izquierdo?
- A. Válvula aórtica
  - B. Válvula mitral
  - C. Válvula pulmonar
  - D. Válvula tricúspide
5. Un enfermero informa al paciente sobre los efectos del ejercicio aeróbico durante una clase de promoción de la salud. ¿En cuál de los siguientes síntomas que puede ocurrir durante el ejercicio debe hacer énfasis el personal de enfermería ?
- A. Frecuencia cardíaca menor a la de referencia en el paciente
  - B. Frecuencia cardíaca mayor a la de referencia en el paciente
  - C. Frecuencia cardíaca disminuida
  - D. Esfuerzo respiratorio disminuido
6. Una enfermera proporciona información sobre los medicamentos necesarios al momento de que recibe el alta el paciente. Cuando existen signos y síntomas de presión sanguínea alta, se debe estudiar la siguiente hormona:
- A. Angiotensina I
  - B. Angiotensina II
  - C. Renina
  - D. Hormona paratiroidea
7. Se observa el descenso de la presión sanguínea en un paciente. El personal de enfermería entiende que este acontecimiento puede deberse a que el hipotálamo secreta la siguiente hormona:
- A. Renina
  - B. Angiotensina
  - C. Adrenalina
  - D. Hormona antidiurética (ADH)
8. Una enfermera analiza la biometría hemática de un paciente. ¿Cuál de las siguientes células del informe indica la presencia de eritrocitos inmaduros?

- A. Linfocitos B
  - B. Linfocitos T
  - C. Reticulocitos
  - D. Macrófagos
9. Una enfermera sabe que los siguientes órganos están implicados en el sistema inmunitario del cuerpo humano:
- A. Páncreas e hígado
  - B. Glándulas suprarrenales y riñones
  - C. Nódulos linfáticos y timo
  - D. Glándulas parótidas y alvéolos
10. El timo brinda al cuerpo humano la siguiente función:
- A. Sirve como reservorio de sangre
  - B. Almacena células sanguíneas hasta que maduran
  - C. Protege al cuerpo de los patógenos ingeridos
  - D. Elimina bacterias y toxinas del sistema circulatorio
11. El personal de enfermería que trabaja en la unidad de cuidados intensivos sabe que revertir el colapso de los alvéolos mediante ventilación mejora la oxigenación debido a que:
- A. Los alvéolos necesitan oxígeno para permanecer viables
  - B. Los alvéolos reinflados disminuyen la demanda de oxígeno
  - C. Los alvéolos colapsados aumentan la demanda de oxígeno
  - D. El intercambio gaseoso ocurre en la membrana alveolar
12. Es más probable que una enfermera a cargo de un paciente con una lesión en el hipotálamo note los siguientes síntomas:
- A. Convulsiones incontrolables
  - B. Infección
  - C. Fatiga
  - D. Dificultad para tener un patrón de sueño normal
13. Un enfermero realiza la exploración de un paciente que sufrió una lesión contusa en la cabeza, y nota que tiene pérdida de la memoria y disminución de la audición. ¿Qué lóbulo encefálico cabe esperar que presenta el mayor daño?
- A. Lóbulo frontal
  - B. Lóbulo occipital
  - C. Lóbulo frontal
  - D. Lóbulo temporal
14. El personal de enfermería espera que el tejido conectivo que permite mover los huesos cuando se contrae el músculo es:
- A. Tendones



- B. Ligamentos
  - C. Tejido adiposo
  - D. Tejido nervioso
15. El personal de enfermería comprende que la actividad de los osteoblastos es necesaria para este proceso del cuerpo humano:
- A. Formación de hueso
  - B. Producción de estrógenos
  - C. Inicio de hematopoyesis
  - D. Desarrollo de músculo
16. ¿Cuál de las siguientes partículas con carga positiva se encuentra empaquetada de manera compacta en el núcleo del átomo?
- A. Electrones
  - B. Neutrones
  - C. Protones
  - D. Partículas subatómicas
17. El personal de enfermería estudia la triyodotironina ( $T_3$ ) y tiroxina ( $T_4$ ) y sabe que estas hormonas afectan el siguiente proceso corporal:
- A. Metabolismo
  - B. Glucogénesis y glucemia
  - C. Crecimiento de huesos, músculos y otros órganos
  - D. Resorción de hueso, absorción de calcio y concentraciones séricas de calcio
18. La médula de la glándula suprarrenal libera estas hormonas:
- A. Adrenalina y noradrenalina
  - B. Insulina, glucagón y somatostatina
  - C. Tiroxina ( $T_4$ ), triyodotironina ( $T_3$ ) y calcitonina
  - D. Glucocorticoides, mineralocorticoides y andrógenos
19. El personal de enfermería sabe que la hipófisis anterior secreta (elige todas las opciones correctas):
- A. Prolactina
  - B. Corticotropina
  - C. Hormona antidiurética (ADH)
  - D. Hormona foliculoestimulante (FSH)
  - E. Hormona estimulante de la glándula tiroides (TSH/tirotropina)
20. ¿Dónde se ubica la glándula tiroides?
- A. Abdomen
  - B. Parte inferior del encéfalo
  - C. Parte superior del riñón

- D. Parte inferior de cuello, anterior a la tráquea
21. En el humano, la glándula tiroides produce las siguientes hormonas (elige todas las opciones correctas):
- A. Amilasa
  - B. Lipasa
  - C. Calcitonina
  - D. Tiroxina ( $T_4$ )
  - E. Triyodotironina ( $T_3$ )
  - F. Hormona estimulante de la glándula tiroides (TSH/tirotropina)
22. La piel actúa como un protector de las estructuras internas del cuerpo. Lo anterior se logra mediante el siguiente proceso:
- A. Reparación de heridas superficiales
  - B. Inhibición de la respuesta inmunitaria
  - C. Prevención de la secreción de sebo
  - D. Detención de la migración celular
23. Un paciente menciona que se quema con frecuencia al cocinar debido a que no puede percibir las temperaturas calientes. ¿Cuál es el lóbulo del encéfalo que probablemente funciona de manera incorrecta?
- A. Lóbulo frontal
  - B. Lóbulo occipital
  - C. Lóbulo frontal
  - D. Lóbulo temporal
24. El estrés emocional puede causar sudoración en las palmas. ¿Cuáles son las glándulas responsables de este acontecimiento?
- A. Glándulas suprarrenales
  - B. Glándulas ecrinas
  - C. Glándulas sebáceas
  - D. Glándula tiroides
25. Durante el embarazo, el desarrollo fetal tiene varias etapas. Organiza las etapas del desarrollo fetal de acuerdo con el orden en el que ocurren. Emplea todas las opciones.

A. Período fetal

B. Período preembrionario

C. Período embrionario

26. La vesícula biliar tiene las siguientes funciones:

- A. Reciclar sales biliares
- B. Almacenar y concentrar la bilis
- C. Eliminar bacterias de la sangre
- D. Producir enzimas que ayudan en la digestión

27. El corazón bombea sangre por todo el cuerpo. ¿Cuál es el porcentaje de la sangre bombeada que reciben los riñones cada minuto?

- A. 10%
- B. 20%
- C. 50%
- D. 70%

28. Conforme la sangre circula por el cuerpo, sigue un camino para oxigenarse y ser llevada a todo el organismo. A continuación, ordena los pasos que sigue la sangre en el cuerpo. Emplea todas las opciones.

- A. Ventrículo derecho
  - B. Ventrículo izquierdo
  - C. Arteria pulmonar
  - D. Vena pulmonar
  - E. Atrio izquierdo
  - F. Aorta
- 
- 
- 
- 
- 
- 
- 
- 
- 
- 
- 
- 

29. Una enfermera enseña a una paciente embarazada cómo calcular su fecha probable de parto. Según la regla de Nägele, ¿cuál es el día de octubre en el que se espera el parto si la paciente asegura que el primer día de su último ciclo menstrual fue el 1 de enero?

- A. 5 de octubre
- B. 8 de octubre
- C. 10 de octubre
- D. 15 de octubre

30. Una vez que comprende el funcionamiento del aparato respiratorio, el personal de enfermería sabe que la retención excesiva de bicarbonato puede conducir a un estado de:

- A. Acidosis metabólica
- B. Acidosis respiratoria
- C. Alcalosis metabólica
- D. Alcalosis respiratoria

31. Al estudiar la nutrición en el cuerpo humano, queda claro que las vitaminas

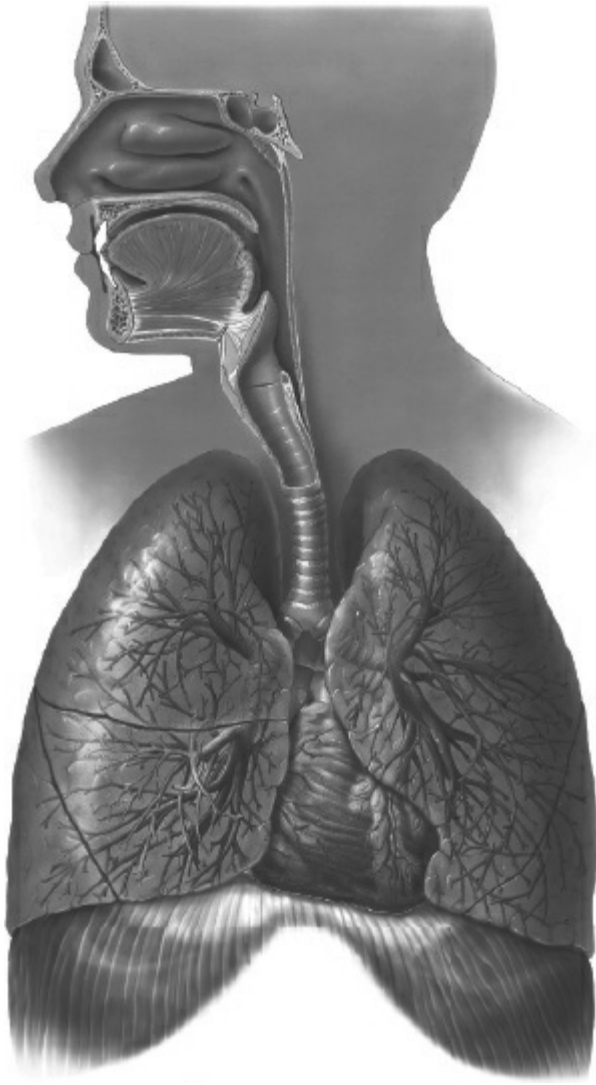
hidrosolubles son vitales. ¿Cuál de las siguientes vitaminas son hidrosolubles?

- A. Vitamina A
  - B. Vitamina C
  - C. Vitamina E
  - D. Vitamina K
32. En el cuerpo humano, la próstata es una glándula del tamaño de una nuez. Esta glándula se ubica en la siguiente parte del cuerpo:
- A. El área detrás de la vejiga
  - B. El área dentro del escroto
  - C. El área del borde posterior de los testículos
  - D. El área debajo de la vejiga y alrededor de la uretra
33. El saco amniótico llena la cavidad coriónica a las:
- A. 4 semanas de gestación
  - B. 6 semanas de gestación
  - C. 8 semanas de gestación
  - D. 10 semanas de gestación
34. Una vez que ha entendido el concepto de líquidos y electrolitos, el personal de enfermería sabe que durante la ósmosis el líquido se mueve hacia la siguiente área:
- A. El líquido se moverá desde el área con más líquido hasta el área con menos líquido
  - B. El líquido se moverá desde el área con menos líquido hasta el área con más líquido
  - C. El líquido se moverá desde el área con menos líquido hasta el área con la misma cantidad de líquido
  - D. El líquido se moverá desde el área con más líquido hasta el área con la misma cantidad de líquido
35. Al vigilar el ingreso y egreso de líquidos en un paciente, el personal de enfermería sabe que el volumen promedio de orina que se produce a diario debe ser de:
- A. 200-700 mL
  - B. 720-2 400 mL
  - C. 2 500-4 500 mL
  - D. 4 700-7 000 mL
36. Un paciente es recibido en el servicio de urgencias debido a una posible dificultad respiratoria. Con base en los hallazgos registrados, el personal de enfermería debería sospechar que el paciente tiene la siguiente alteración:

**Nota de evolución**

|           |  |
|-----------|--|
| 07/1/16   | Paciente con sibilancias FR 44, TA 140/90, FC 104                                    |
| 6:30 p.m. | T 36.8°C Gasometría muestra pH de 7.52   |
|           | Paco <sub>2</sub> 30 mm Hg, HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 26 mEq/L y PO <sub>2</sub> |
|           | 77 mm Hg   |
|           | — C. Miramontes, PEC   |

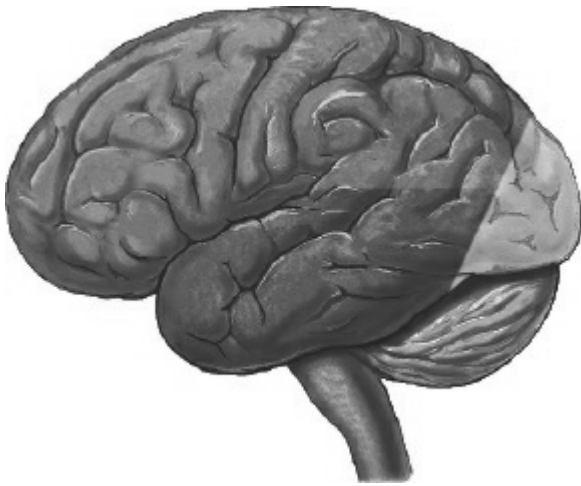
- A. Acidosis metabólica
  - B. Alcalosis metabólica
  - C. Acidosis respiratoria
  - D. Alcalosis respiratoria
37. El hueso es producido y destruido en el cuerpo humano. El siguiente proceso continuo es el responsable de este mecanismo:
- A. Osificación
  - B. Formación
  - C. Remodelación
  - D. Clasificación
38. Identifica la carina en la siguiente ilustración y márcala con una X.



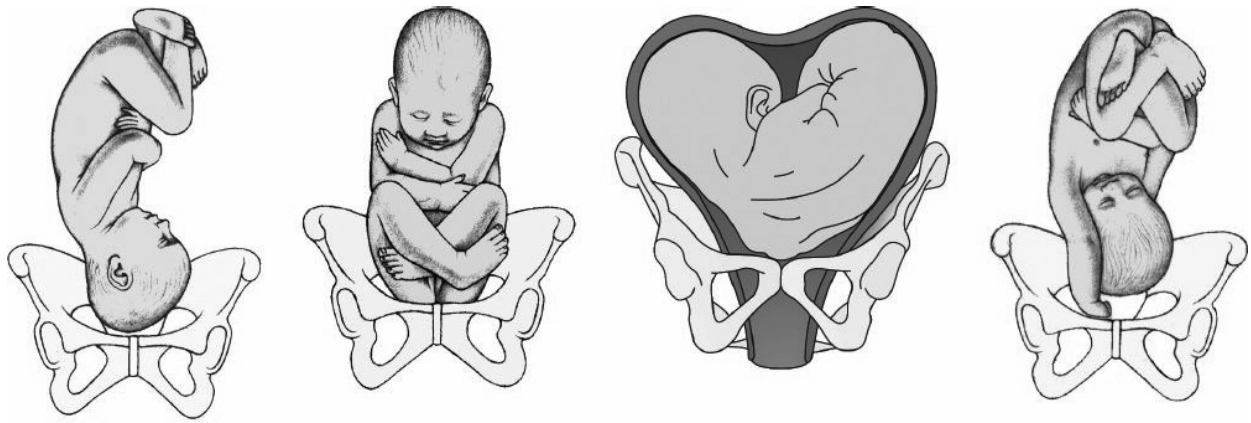
39. El tejido conectivo que cubre y rodea el tejido medular y del encéfalo se denomina:
- A. Piamadre
  - B. Duramadre
  - C. Duramadre endóstica
  - D. Duramadre meníngea
40. El personal de enfermería realiza una exploración neurológica en un paciente, y sabe que el nervio craneal responsable de la sensación del gusto es el:
- A. Nervio facial
  - B. Nervio troclear
  - C. Nervio olfatorio
  - D. Nervio hipogloso
41. Los pacientes de edad avanzada tienen cambios en su nutrición debido a cambios fisiológicos. ¿Cuál de los siguientes cambios puede afectar su nutrición (elige todas las opciones correctas)?
- A. Menor actividad del reflejo nauseoso

- B. Menor fuerza en la mordida
  - C. Menor flujo de saliva
  - D. Menor función renal
  - E. Menor actividad enzimática y de las secreciones gástricas
42. La transmisión de las ondas sonoras se realiza en el oído interno. ¿Cuál de las siguientes estructuras es responsable de esta transmisión?
- A. Pabellón auricular
  - B. Vestíbulo
  - C. Trompas auditivas
  - D. Membrana timpánica
43. ¿Cuál de las siguientes estructuras del ojo recibe estímulos y después los envía al cerebro?
- A. Cristalino
  - B. Iris
  - C. Esclerótica
  - D. Retina
44. El personal de enfermería analiza la biometría hemática de un paciente. Sabe que el siguiente tipo celular indica una posible infección:
- A. Plaquetas
  - B. Trombocitos
  - C. Eritrocitos
  - D. Leucocitos
45. La acción de mover una parte del cuerpo hacia atrás y después hacia adelante se considera:
- A. Eversión e inversión
  - B. Flexión y extensión
  - C. Pronación y supinación
  - D. Retracción y protracción
46. Un paciente tiene problemas de equilibrio y de la función motora tanto fina como gruesa. Identifica con una X el área del encéfalo del paciente que no funciona de manera correcta.





47. La acidez de la sangre está determinada por el pH. ¿Cuál de los siguientes valores de pH indica acidez?
- A. 7.24
  - B. 7.35
  - C. 7.44
  - D. 7.54
48. Al dar información en una clase sobre lactancia, el personal de enfermería explica que dos hormonas regulan el proceso de lactancia. ¿Cuáles son estas dos hormonas?
- A. Estrógenos y progesterona
  - B. Estrógenos y corticotropina
  - C. Hormona del crecimiento y progesterona
  - D. Hormona foliculoestimulante (FSH) y estrógenos
49. La herencia autosómica recesiva puede describirse como:
- A. La transmisión de un gen dominante normal
  - B. La transmisión de un gen recesivo anómalo
  - C. La transmisión de un gen dominante anómalo
  - D. La transmisión de un gen recesivo normal
50. Cuando los solutos pasan de un área de mayor concentración a una de menor concentración es un ejemplo de:
- A. Ósmosis
  - B. Difusión
  - C. Endocitosis
  - D. Transporte activo
51. El personal de enfermería asiste en el parto de un feto en presentación podálica. ¿Cuál de las siguientes imágenes ilustra esta posición?



## Respuestas

1. C. La arteria coronaria izquierda se divide en ascendente anterior y circunfleja; es la fuente principal de sangre para el atrio izquierdo. La arteria subclavia izquierda aporta sangre a los brazos, la carótida interna lleva sangre a la cabeza y la arteria coronaria derecha provee sangre a la pared inferior del corazón.
2. B. Al inicio de la diástole, se cierran las válvulas semilunares para prevenir el flujo retrógrado de sangre hacia los ventrículos. Las válvulas mitral y tricúspide se abren para permitir el flujo de sangre desde los atrios. Los patrones de la respiración (inspiración y espiración) no están relacionados con el flujo sanguíneo.
3. C. La arteria coronaria derecha lleva sangre al atrio derecho, porciones del atrio izquierdo, la mayor parte del ventrículo derecho y la parte inferior del ventrículo izquierdo. Por lo tanto, la oclusión prolongada de esta arteria produce infarto en el área inferior. La arteria coronaria derecha no lleva sangre a las porciones anterior, lateral ni apical del corazón.
4. B. La válvula mitral previene el flujo retrógrado de sangre del ventrículo izquierdo al atrio izquierdo. La válvula aórtica impide el flujo retrógrado de la aorta al ventrículo izquierdo. La válvula pulmonar evita el flujo retrógrado de la arteria pulmonar al ventrículo derecho. La válvula tricúspide previene el flujo retrógrado del ventrículo derecho al atrio derecho.
5. B. La estimulación de los nervios del sistema nervioso simpático produce taquicardia y aumenta la contractilidad del miocardio. Los otros síntomas mencionados son consecuencia de la activación del sistema nervioso parasimpático.
6. B. La angiotensina II tiene una capacidad notable para constreñir arteriolas, lo que aumenta la presión sanguínea. La angiotensina I es convertida en angiotensina II por la enzima convertidora de angiotensina. La renina es una enzima que conduce a la producción de angiotensina I. La principal función de la hormona paratiroidea es regular las concentraciones de calcio en suero.

7. D. La hormona antidiurética actúa en los túbulos renales para promover la retención de agua, lo que aumenta la presión sanguínea. A pesar de que la angiotensina, adrenalina y renina también ayudan a aumentar la presión sanguínea, no se almacenan en el hipotálamo.
8. C. Un eritrocito inmaduro se denomina *reticulocito*. Los linfocitos B, macrófagos y linfocitos T son linfocitos.
9. C. El sistema inmunitario se compone de nódulos linfáticos, timo, bazo y amígdalas. Los alvéolos son parte del aparato respiratorio. Las glándulas suprarrenales son órganos endocrinos. Los riñones son parte del aparato urinario. Las glándulas parótidas, el páncreas y el hígado son parte del aparato digestivo.
10. B. La médula ósea produce células inmaduras (células madre). Aquellas que se convierten en linfocitos migran al timo para su maduración (linfocitos T). Los linfocitos son responsables de la inmunidad celular. El bazo actúa como un reservorio de células de la sangre. Las amígdalas protegen de patógenos ingeridos o inhalados. Los nódulos linfáticos eliminan bacterias y toxinas en el torrente sanguíneo.
11. D. El intercambio gaseoso ocurre en la membrana alveolar. Por lo tanto, los alvéolos colapsados disminuyen la superficie disponible para el intercambio gaseoso, lo que reduce la oxigenación de la sangre. Todos los alvéolos, colapsados o no, reciben oxígeno y otros nutrientes en la sangre. Los alvéolos colapsados no aumentan la demanda de oxígeno.
12. D. El hipotálamo ayuda a regular la temperatura corporal, el apetito, el equilibrio hídrico, las secreciones de la hipófisis, las emociones y las funciones autonómicas, como el ciclo de sueño y vigilia. Entonces, en caso de lesión en el hipotálamo, es muy probable que cause dificultad para dormir. Es más probable que el mal funcionamiento de los neurotransmisores cause convulsiones. Un sistema inmunitario deficiente haría que el paciente se sienta cansado y lo pondría en riesgo de infecciones.
13. D. El lóbulo temporal controla la memoria, la audición y la comprensión del lenguaje. El lóbulo frontal influye en el pensamiento, planificación y juicio. El lóbulo occipital regula la visión. El lóbulo parietal interpreta las sensaciones.
14. A. Los tendones son bandas de tejido conectivo fibroso que unen los músculos al hueso; permiten que los huesos se muevan cuando el músculo se contrae. Los ligamentos son bandas de tejido conectivo que unen los huesos a otros huesos. El tejido adiposo es tejido conectivo laxo que aísla el cuerpo. El tejido nervioso no es tejido conectivo.
15. A. Los osteoblastos son las células que producen hueso. El estrógeno contribuye al desarrollo del tejido óseo mediante la recaptura de calcio. La hematopoyesis (producción de eritrocitos) sucede en la médula ósea. Los osteoblastos no tienen función durante el desarrollo de los músculos.

16. C. Los protones son partículas empaquetadas de forma compacta y con carga positiva dentro del núcleo del átomo. Cada elemento tiene un número específico de protones. Los electrones son partículas con carga negativa que orbitan el núcleo en capas de electrones. Los neutrones son partículas en el núcleo del átomo sin carga o neutras. Los protones, neutrones y electrones son partículas subatómicas, pero cada una tiene carga diferente.
17. A.  $T_3$  y  $T_4$  son hormonas tiroideas que afectan el metabolismo. Los mayores efectos de la hormona paratiroidea son la resorción de hueso y absorción de calcio. El glucagón aumenta la glucemia y estimula la glucogénesis. La hormona del crecimiento, o somatotropina, participa en el crecimiento de huesos, músculos y otros órganos.
18. A. La médula de la glándula suprarrenal libera adrenalina y nora-drenalina. La corteza suprarrenal secreta glucocorticoides, mineralocorticoides y andrógenos. La glándula tiroides secreta  $T_4$ ,  $T_3$  y calcitonina. Las células de los islotes pancreáticos secretan insulina, glucagón y somatostatina.
19. A, B, D, E. La adenohipófisis secreta corticotropina, FSH, LH, TSH, hormona del crecimiento y prolactina. Cuando se secreta corticotropina de forma inadecuada en la hipófisis, resulta en insuficiencia suprarrenal. La hormona antidiurética se secreta en la neurohipófisis.
20. D. La glándula tiroides se ubica en la parte inferior del cuello, anterior a la tráquea. El páncreas se encuentra en la parte superior del abdomen. La hipófisis se localiza en la parte inferior del encéfalo. Las glándulas suprarrenales se encuentran unidas a la parte superior de los riñones.
21. C, D, E.  $T_3$ ,  $T_4$  y calcitonina. Todas se secretan en la glándula tiroides. La amilasa y lipasa se secretan en el páncreas. La hormona estimulante de la glándula tiroides se secreta en la hipófisis.
22. A. La piel protege el cuerpo mediante el aumento del recambio celular para reparar heridas superficiales. La epidermis contiene células de Langerhans, que mejoran la respuesta inmunitaria al ayudar a los linfocitos a que procesen los antígenos que entran en la piel. El sebo es secretado por las glándulas sebáceas; la piel no previene su secreción. La migración y descamación de células ayudan a proteger la piel.
23. C. El lóbulo parietal regula la función sensitiva, incluyendo la capacidad para percibir objetos calientes y fríos. El lóbulo frontal influye en el pensamiento, la planeación y el juicio. El lóbulo occipital interpreta los estímulos visuales. El lóbulo temporal regula la memoria.
24. B. Las glándulas ecrinas, conocidas como *glándulas sudoríparas*, secretan líquido hacia palmas y plantas en respuesta al estrés emocional. Las glándulas suprarrenales y tiroides producen hormonas que controlan y afectan el funcionamiento del cuerpo. Las glándulas sebáceas forman el sebo, el cual ayuda

a proteger la superficie de la piel. Estas glándulas se localizan en todo el cuerpo, excepto en palmas y plantas.

25.

B. Período preembrionario

C. Período embrionario

A. Período fetal

El período preembrionario inicia cuando ocurre la fertilización del óvulo; dura cerca de 2 semanas. Durante el período embrionario (semanas 3 a 8 de la gestación), la estructura que se ha implantado en el útero, el cigoto, comienza a tomar forma humana y recibe el nombre de *embrión*. El período fetal del desarrollo dura desde la novena semana hasta el nacimiento. Durante este período, el feto en maduración aumenta de tamaño y peso.

26. B. La vesícula biliar almacena y concentra la bilis producida por el hígado. El páncreas produce enzimas que ayudan en la digestión. La vesícula biliar no es responsable de eliminar bacterias de la sangre. Las sales biliares se reciclan en el hígado.

27. B. Los riñones están muy vascularizados y reciben cerca del 20% de la sangre bombeada por el corazón cada minuto.

28.

A. Ventrículo derecho

C. Arteria pulmonar

D. Vena pulmonar

E. Atrio izquierdo

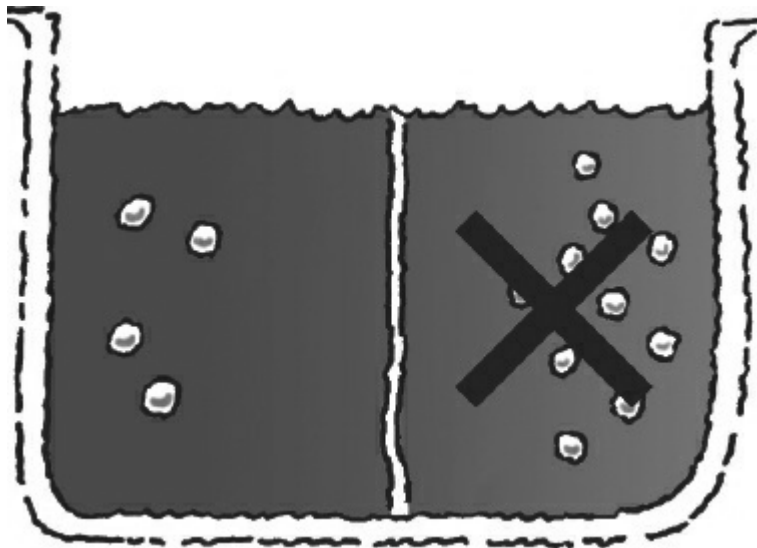
B. Ventrículo izquierdo

F. Aorta

La sangre con poco oxígeno pasa del ventrículo derecho, a través de la válvula pulmonar, a las arterias pulmonares. Después de haber pasado a los pulmones, viaja a los alvéolos. Ahí, intercambia dióxido de carbono por oxígeno y la sangre oxigenada regresa a través de las venas pulmonares al atrio izquierdo. Después, la sangre pasa por la válvula mitral hacia el ventrículo izquierdo, donde es bombeada al cuerpo por

la aorta.

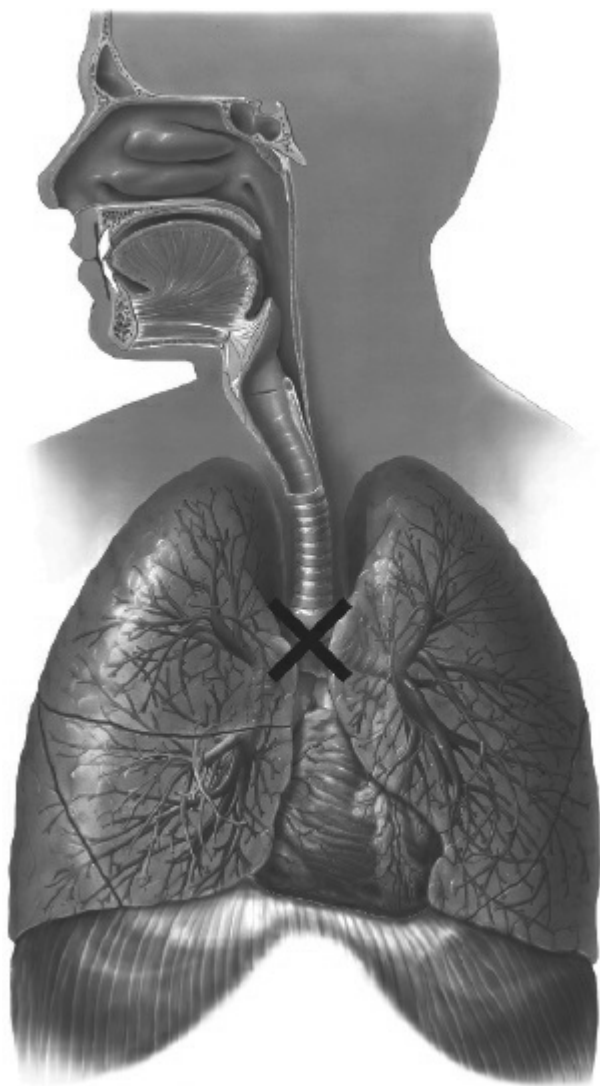
29. B. La regla de Nägele calcula la fecha probable de parto. A partir del primer día del último ciclo menstrual, resta 3 meses y suma 7 días. Si el primer día del último ciclo menstrual de la paciente fue el 1 de enero, la fecha estimada de parto es el 8 de octubre.
30. C. La retención excesiva de bicarbonato puede causar alcalosis metabólica. La pérdida excesiva de bicarbonato puede producir acidosis metabólica. La retención excesiva de dióxido de carbono puede resultar en acidosis respiratoria. La pérdida excesiva de dióxido de carbono puede provocar alcalosis respiratoria.
31. B. El complejo vitamínico B y la vitamina C son ejemplos de vitaminas hidrosolubles. Las vitaminas A, E, K y D son vitaminas liposolubles.
32. D. La próstata se encuentra debajo de la vejiga, alrededor de la uretra proximal. Los conductos deferentes descienden por detrás de la vejiga. El epidídimo se localiza arriba y sobre el borde posterior de los testículos. Los sacos dentro del escroto contienen los testículos, el epidídimo y el cordón espermático.
33. C. El saco amniótico se expande de manera gradual dentro de la cavidad coriónica. En cierto punto de la octava semana de gestación, llena la cavidad y se fusiona con el corion.
34. A. En la ósmosis, el líquido se mueve de manera pasiva desde un área con mayor líquido, y pocos solutos, a un área con menos líquido, y más solutos.



35. B. La diuresis diaria es, en promedio, de 720-2 400 mL. Esta cantidad puede variar de acuerdo con la ingesta de líquidos y el clima.
36. D. La alcalosis respiratoria es consecuencia de la hiperventilación. Se caracteriza por un pH mayor de 7.45 y un descenso de la presión parcial de dióxido de carbono arterial ( $P_{aCO_2}$ ) por debajo de 35 mm Hg. La alcalosis metabólica muestra el mismo incremento en el pH, pero también aumenta la cantidad de

bicarbonato. Además, evidencia  $Paco_2$  normal. La acidosis, de cualquier tipo, se caracteriza por un nivel de pH inferior a 7.35.

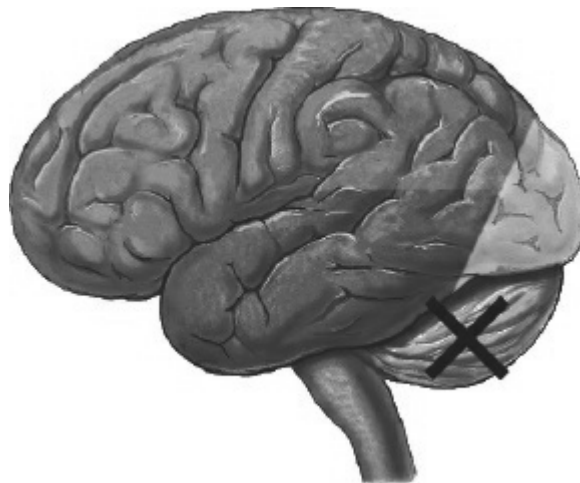
37. C. La *remodelación* es un proceso continuo en el que el hueso es creado y destruido. La *formación* es el desarrollo del hueso. La *osificación* es el endurecimiento del hueso. La *clasificación* es la identificación del hueso de acuerdo con su forma (hueso largo, hueso corto o plano).
38. La carina es una estructura con forma de arco que se localiza a nivel de T6 o T7.



39. A. La *piamadre* es una lámina continua y delicada de tejido conectivo que recubre y rodea el tejido medular y cerebral. La duramadre endóstica, el endostio, conforma el periostio del cráneo y continúa como revestimiento del conducto vertebral. La duramadre meníngea es una membrana gruesa que recubre el cerebro y se introduce entre el tejido cerebral. La duramadre es tejido duro, fibroso, similar a la piel, que se compone de dos capas: el endostio y la duramadre meníngea.
40. A. El nervio facial (VII) controla el sentido del gusto y los movimientos faciales. El nervio olfatorio (I) es responsable del sentido del olfato. El nervio troclear (VI)

controla el movimiento extraocular. El nervio hipogloso (XII) controla el movimiento de la lengua.

41. B, C, D, E. Los cambios fisiológicos que afectan la nutrición del paciente mayor son: menor función renal, menor fuerza en la mordida, menor actividad enzimática y de las secreciones gástricas, y menor flujo de saliva. Otros incluyen una menor actividad intestinal, el deterioro del sentido del gusto y disminución del reflejo nauseoso.
42. D. La membrana timpánica se compone de capas de piel, tejido fibroso y una membrana mucosa; transmite ondas sonoras al oído interno. Las trompas timpánicas permiten que las presiones sobre las superficies interior y exterior de la membrana timpánica se igualen, lo que previene su rotura. El pabellón auricular es parte del oído externo. El vestíbulo sirve como la entrada al oído interno.
43. D. La retina es la superficie más interna del globo ocular, que recibe estímulos visuales y los envía al encéfalo. El cristalino refleja y enfoca la luz sobre la retina. La esclerótica ayuda a mantener el tamaño y la forma del ojo. El iris contiene músculos y tiene una abertura en el centro para la pupila, que regula la entrada de luz.
44. D. Los leucocitos, clasificados como granulocitos y agranulocitos, participan en las defensas del cuerpo y el sistema inmunitario. Los eritrocitos transportan oxígeno y dióxido de carbono desde y hasta los tejidos del cuerpo. Las plaquetas, también llamadas *trombocitos*, participan en la coagulación sanguínea.
45. D. La retracción y protracción se refieren al movimiento hacia atrás y hacia adelante de una articulación. La eversión e inversión se refieren al movimiento de una articulación hacia afuera y hacia dentro. La flexión y extensión son el aumento y decremento del ángulo de una articulación. La pronación y supinación se refieren a girar una parte del cuerpo hacia abajo o arriba.
46. El cerebelo es la porción del encéfalo que controla el equilibrio y la función motora, tanto gruesa como fina.



47. A. El control del pH en el cuerpo es tan eficaz que se mantiene dentro de un rango



estrecho: 7.35 a 7.45. Los valores menores de 7.35 indican acidez; los valores mayores de 7.45 indican alcalinidad.

48. A. La interacción de estrógenos y progesterona con prolactina y oxitocina estimula la lactancia. La corticotropina provoca que el feto secrete cortisol. La FSH controla el desarrollo sexual. La hormona del crecimiento influye en el crecimiento y desarrollo.
49. B. La *herencia autosómica recesiva* se refiere a la transmisión de un gen recesivo anómalo. La *herencia autosómica dominante* se refiere a la transmisión de un gen dominante anómalo.
50. B. La *difusión* es el movimiento de solutos desde un área de mayor concentración hasta un área de menor concentración. La *ósmosis* es el movimiento de un líquido desde un área de menor concentración de solutos hasta un área de mayor concentración de solutos. El *transporte activo* implica el empleo de energía para mover una sustancia a través de la membrana celular. La *endocitosis* es un método de transporte activo en el que la célula envuelve una sustancia.
51. B. En la presentación podálica, la posición de la cabeza es hacia arriba. En ella, las nalgas son la parte que se presenta, mientras que las caderas y rodillas están flexionadas. En la presentación cefálica, la cabeza se dirige hacia abajo y entra a la pelvis en primer lugar. En la presentación acromioilíaca, el feto está transversal; el hombro es la parte que se presenta en la pelvis. En las presentaciones compuestas, una extremidad se presenta junto con una parte principal, por lo que dos regiones ingresan a la pelvis al mismo tiempo.

# Glosario

**Abdomen:** área del cuerpo entre el diafragma y la pelvis.

**Abducir:** alejar de la línea media del cuerpo; lo contrario a aducir.

**Acetábulo:** unión articular en la que encaja la cabeza del fémur.

**Acromion:** proyección ósea de la escápula.

**Adenoides:** estructuras linfoides en par que se localizan en la nasofaringe.

**Aducir:** acercar a la línea media del cuerpo; lo contrario a abducir.

**Alvéolo:** dilatación en forma de saco de los bronquiolos terminales en el pulmón.

**Ámpula:** dilatación en forma de saco de un tubo o conducto.

**Ano:** extremo distal, o salida, del recto.

**Anterior:** frontal o ventral; lo opuesto a posterior o dorsal.

**Anticuerpo:** inmunoglobulina producida en el cuerpo en respuesta a la exposición de una sustancia ajena al cuerpo (antígeno).

**Antígeno:** sustancia ajena al cuerpo que provoca la producción de anti-cuerpos.

**Aorta:** tronco principal de la circulación arterial sistémica que se origina en el ventrículo izquierdo, en cierto punto se divide en dos arterias ilíacas comunes.

**Aracnoides:** membrana media de las meninges.

**Areola:** anillo pigmentado alrededor del pezón.

**Arteria:** vasos que llevan sangre desde el corazón.

**Arteriola:** rama pequeña de una arteria.

**Articulación:** conexiones cartilaginosas, fibrosas o sinoviales entre hueso.

**Artrosis:** articulación.

**Astrágalo:** hueso del talón.

**Atrio:** cámara o cavidad.

**Axón:** extensión de una célula nerviosa que transmite impulsos hacia afuera de la célula.

**Bazo:** órgano muy vascularizado entre el estómago y el diafragma.

**Bronquio:** vía mayor del paso de aire a los pulmones.

**Bronquiolo:** rama pequeña del bronquio.

**Bucal:** que pertenece a la boca.

**Bursa:** saco lleno de líquido revestido con la membrana sinovial.

**Capilar:** vaso sanguíneo microscópico que une arteriolas y vénulas.

**Carpiano:** que pertenece a la muñeca.

**Cartilago:** tejido conectivo de soporte; está en las articulaciones, tórax, laringe, tráquea, nariz y oído.

**Celiaco:** que pertenece al abdomen.

**Cerebelo:** porción del encéfalo que se ubica en la fosa posterior, detrás del tronco del encéfalo; coordina la actividad muscular voluntaria.

**Cerebro:** porción superior y más grande del encéfalo; se divide en hemisferios.

**Ciego:** bolsa que está en el extremo proximal del intestino grueso.

**Cilios:** proyecciones pequeñas y similares a cabellos en la superficie externa de algunas células.

**Cóclea:** tubo en espiral que forma parte del oído interno.

**Colon:** parte del intestino grueso que va desde el ciego hasta el recto.

**Cóndilo:** proyección redondeada en el extremo de un hueso.

**Conducto:** canal o pasaje.

**Contralateral:** en el lado opuesto; lo contrario a ipsilateral u homolateral.

**Corazón:** órgano en forma de cono y muscular que bombea sangre por todo el cuerpo.

**Córnea:** porción anterior, transparente y convexa del ojo.

**Cornete nasal:** hueso con forma de cono o espiral localizado en la parte posterior de la nasofaringe.

**Coronario:** relativo al corazón o a sus arterias.

**Corteza:** parte exterior de un órgano interno; lo contrario a médula.

**Costal:** que se refiere a las costillas.

**Cricoides:** cartilago de la laringe con forma de anillo.

**Cutáneo:** referente a la piel.

**Deltoides:** en forma de triángulo, como el músculo deltoides.

**Dendrita:** extensión de la neurona que dirige impulsos hacia el cuerpo.

**Dermis:** capa de la piel debajo de la epidermis.

**Diáfisis:** cuerpo de un hueso largo.

**Diafragma:** membrana que separa una parte de otra; estructura muscular que separa el tórax del abdomen.

**Diartrosis:** articulación que tiene movimiento libre.

**Diencéfalo:** parte del encéfalo que se localiza entre los hemisferios del cerebro y el mesencéfalo.

**Distal:** que está lejos del punto de origen o inserción; contrario a proximal.

**Divertículo:** bolsa que se forma en la pared de un órgano tubular, como el intestino.

**Dorsal:** referente a la espalda, la parte trasera o posterior; lo opuesto a ventral o anterior.

**Duodeno:** porción más corta y ancha del intestino delgado; se extiende desde el píloro hasta el yeyuno.

**Duramadre:** capa más externa de las meninges.

**Endocardio:** revestimiento interior del corazón.

**Endocrino:** referente a la secreción de sustancias hacia la sangre o linfa, en lugar de un conducto; lo opuesto a exocrino.

**Epidermis:** capa externa de la piel; no tiene vasos.

**Epífisis:** extremo de un hueso largo.

**Epiglotis:** estructura de cartilago sobre la laringe que evita la entrada de comida al pulmón.

**Eritrocito:** célula sanguínea con hemoglobina.

**Escroto:** bolsa de piel que alberga los testículos y partes del cordón espermático.

**Esfenoides:** hueso en forma de cuña en la base del cráneo.

**Esófago:** conducto muscular que transporta nutrientes desde la faringe hasta el estómago.

**Esternón:** hueso largo y plano que compone la porción media del tórax.

**Estómago:** órgano mayor de la digestión, localizado en la porción superior derecha del abdomen.

**Estriado:** con líneas paralelas, como el músculo estriado (esquelético).

**Estribo:** uno de los tres huesos del oído medio.

**Exocrino:** referente a la secreción hacia un tubo; lo opuesto a endocrino.

**Falange:** hueso que se estrecha de forma gradual y que compone los dedos de manos y pies.

**Faringe:** vía tubular que se extiende desde la base del cráneo hasta el esófago.

**Fondo:** base de un órgano hueco; la parte más lejana de la vía de salida de un órgano.

**Fontanela:** área del cráneo del neonato que no se ha osificado por completo.

**Foramen:** abertura pequeña.

**Fosa:** cavidad o espacio libre.

**Frénico:** referente al diafragma.

**Ganglio:** cúmulo de células nerviosas fuera del sistema nervioso central.

**Genitales:** órganos sexuales; pueden ser internos o externos.

**Glándula:** órgano o estructura corporal que secreta o excreta sustancias.

**Glándula suprarrenal:** uno de dos órganos secretores que se localizan arriba de los riñones; se componen de médula y corteza.

**Glándula tiroides:** glándula secretora ubicada en el frente del cuello.

**Glomérulo:** cúmulo compacto; los capilares del riñón.

**Gónada:** glándula sexual en la que se producen las células de la reproducción.

**Hemoglobina:** proteína en los eritrocitos que contiene hierro y transporta oxígeno.

**Hígado:** glándula grande en la porción superior derecha del abdomen; dividida en cuatro lóbulos.

**Hioides:** hueso en forma de “U” en la base de la lengua.

**Hipófisis:** glándula unida al hipotálamo que almacena y secreta hormonas.

**Hipotálamo:** estructura del diencefalo que secreta hormona antidiurética y oxitocina.

**Hormona:** sustancia secretada por una glándula endocrina que activa o regula la actividad de un órgano o grupo de células.

**Huesecillo:** hueso pequeño, en especial del oído medio.

**Hueso:** tejido conectivo denso y duro que forma el esqueleto.

**Íleon:** parte distal del intestino delgado que se extiende desde el yeyuno hasta el ciego.

**Inferior:** abajo; lo opuesto a superior.

**Intestino:** parte del tubo digestivo que se extiende desde el estómago hasta el ano.

**Íntima:** estructura más interna.

**Ipsilateral:** en el mismo lado; lo opuesto a contralateral.

**Labios:** término que se emplea para describir los genitales externos de la mujer; parte de la vulva.

**Lagrimal:** referente a las lágrimas.

**Laringe:** órgano de la fonación; une la faringe y tráquea.

**Lateral:** en el lado; lo opuesto a medial.

**Lengua:** órgano principal del gusto, se encuentra en el piso de la boca.

**Leucocito:** célula sanguínea.

**Ligamento:** banda de tejido blanco y fibroso que conecta huesos.

**Linfa:** líquido acuoso en los vasos linfáticos.

**Linfocito:** leucocito; célula inmunitaria competente.

**Lobulillo:** lóbulo pequeño.

**Lóbulo:** porción definida de cualquier órgano, como el hígado o el encéfalo.

**Lumbar:** referente al área de la espalda entre el tórax y la pelvis.

**Maléolo:** proyección en el extremo distal de la tibia y el peroné.

**Mamario:** referente a la mama.

**Manubrio:** parte superior del esternón.

**Meato:** abertura o pasaje.

**Medial:** referente a la mitad; lo opuesto a lateral.

**Mediastino:** porción media del tórax entre los sacos pleurales que contienen los pulmones.

**Médula ósea:** tejido suave de las epífisis en el hueso esponjoso; esencial para la maduración y producción de las células sanguíneas.

**Médula:** porción interna de un órgano; lo opuesto a corteza.

**Membrana:** capa delgada o revestimiento de una estructura.

**Metacarpianos:** huesos de la mano ubicados entre la muñeca y los dedos.

**Metatarsianos:** huesos del pie ubicados entre el tarso y los dedos del pie.

**Miocardio:** capa gruesa y contráctil de células musculares que conforma la pared del corazón.

**Músculo:** estructura fibrosa cuya contracción inicia el movimiento.

**Narinas:** fosas nasales.

**Nefrona:** unidad estructural y funcional del riñón.

**Nervio:** estructura en forma de cordón que consta de fibras capaces de transmitir impulsos desde el sistema nervioso central hasta el cuerpo.

**Neurona:** célula nerviosa.

**Neurona aferente:** célula nerviosa que lleva impulsos desde la periferia hasta el sistema nervioso central; lo opuesto a neurona eferente.

**Neurona eferente:** célula nerviosa que lleva impulsos desde el sistema nervioso central hasta la periferia; lo opuesto a neurona aferente.

**Neutrófilo:** leucocito que elimina y destruye bacterias, desechos celulares y partículas sólidas.

**Nódulo linfático:** estructura pequeña y ovalada que filtra linfa, evita infecciones y ayuda a la hematopoyesis.

**Occipucio:** parte trasera de la cabeza.

**Oftálmico:** referente al ojo.

**Oído:** órgano de la audición.

**Ojo:** uno de dos órganos de la visión.

**Olfatorio:** referente al sentido del olfato.

**Ovario:** uno de dos órganos de la reproducción de la mujer que están a cada lado del abdomen, junto al útero.

**Pabellón auricular:** parte del oído que está unido a la cabeza.

**Paladar:** techo de la boca.

**Páncreas:** glándula secretora localizada en la región del epigastrio y el hipogastrio.

**Parótida:** cerca del oído, como la glándula parótida.

**Patela:** hueso flotante que forma la rodilla.

**Pectoral:** referente a la mama o al pecho.

**Pelvis:** estructura con forma de embudo; parte inferior del tronco.

**Pericardio:** saco fibroso y seroso que rodea el corazón y el origen de los grandes vasos.

**Piamadre:** cubierta más interna del encéfalo y médula espinal.

**Plantar:** referente a la planta del pie.

**Plaqueta:** célula sanguínea pequeña y con forma de disco necesaria para la coagulación.

**Plasma:** porción líquida e incolora de la linfa y sangre.

**Pleura:** membrana serosa delgada que rodea los pulmones.

**Plexo:** red de nervios, vasos linfáticos o venas.

**Poplíteo:** referente a la parte posterior de la rodilla.

**Posterior:** atrás o dorsal; lo opuesto a anterior o ventral.

**Pronar:** girar la palma hacia abajo; lo opuesto a supinar.

**Próstata:** glándula del hombre que rodea el cuello de la vejiga y la uretra.

**Proximal:** aquello que está cerca del centro del cuerpo; lo opuesto a distal.

**Puente:** porción del encéfalo que descansa entre la médula y el mesencéfalo.

**Pulmones:** órganos de la respiración localizados dentro de las cavidades laterales del tórax.

**Pupila:** abertura circular en el iris por la que pasa la luz.

**Reflejo:** acción involuntaria.

**Renal:** referente al riñón.

**Riñón:** uno de dos órganos urinarios en la parte dorsal del abdomen.

**Semen:** líquido de la reproducción en el hombre.

**Sinapsis:** punto de contacto entre neuronas adyacentes.

**Sínfisis:** crecimiento conjunto; un tipo de articulación cartilaginosa en la que el cartílago conecta superficies opuestas.

**Sistema nervioso central:** una de las dos divisiones principales del sistema nervioso; consiste en el encéfalo y la médula espinal.

**Sístole:** contracción del músculo cardíaco.

**Superior:** arriba; lo opuesto a inferior.

**Supinar:** girar la palma hacia arriba; lo opuesto a pronar.

**Tarso:** huesos en el empeine.

**Tendón:** banda de tejido conectivo fibroso que tira un músculo hacia un hueso.

**Testículo:** una de dos gónadas del hombre que producen semen.

**Tibia:** hueso de la espinilla.

**Tráquea:** tubo casi cilíndrico dentro del cuello que se extiende desde la laringe hasta los bronquios; sirve como paso de aire.

**Tubas uterinas:** uno de dos conductos que se extienden desde el útero hasta el ovario.

**Uréter:** uno de dos tubos de pared gruesa que transportan la orina a la vejiga.

**Uretra:** estructura tubular pequeña que drena orina desde la vejiga.

**Útero:** órgano hueco de la reproducción en la mujer, donde ocurre la implantación de un óvulo fertilizado y se desarrolla el feto.

**Úvula:** proyección de tejido que cuelga desde el paladar blando.

**Vagina:** cubierta; canal en la mujer que se extiende desde la vulva hasta el cuello uterino.

**Válvula:** estructura que permite el flujo de líquido en una sola dirección.

**Vejiga:** saco membranoso que contiene secreciones.

**Vena:** vaso que lleva sangre hacia el corazón.

**Vena cava:** una de dos venas grandes que regresa la sangre periférica al atrio derecho.

**Ventral:** referente al frente o anterior; lo opuesto a dorsal o posterior.

**Ventrículo:** cavidad pequeña, como en el encéfalo o una de las dos cavidades inferiores del corazón.

**Vénula:** vaso pequeño que conecta una vena con un plexo capilar.

**Vértebra:** cualquiera de los 33 huesos que componen la columna vertebral.

**Vesícula biliar:** saco excretor en la superficie visceral del lóbulo derecho del hígado.

**Viscera:** órganos internos.

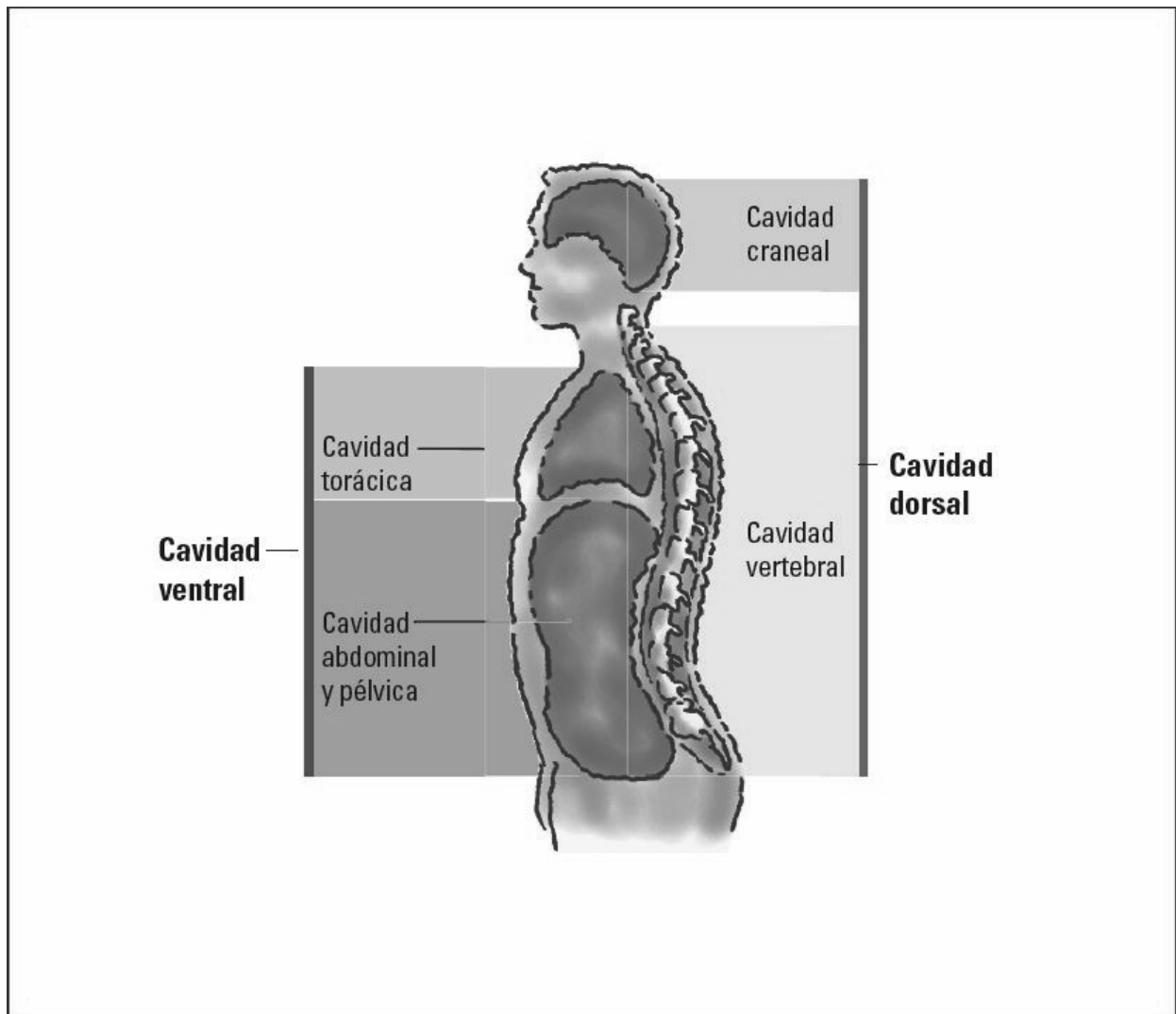
**Xifoideas:** en forma de espada; la porción inferior del esternón.

**Yeyuno:** una de las tres porciones del intestino delgado; se conecta en su borde proximal con el duodeno y en el extremo distal con el íleon.

**Yunque:** uno de los tres huesos del oído medio.

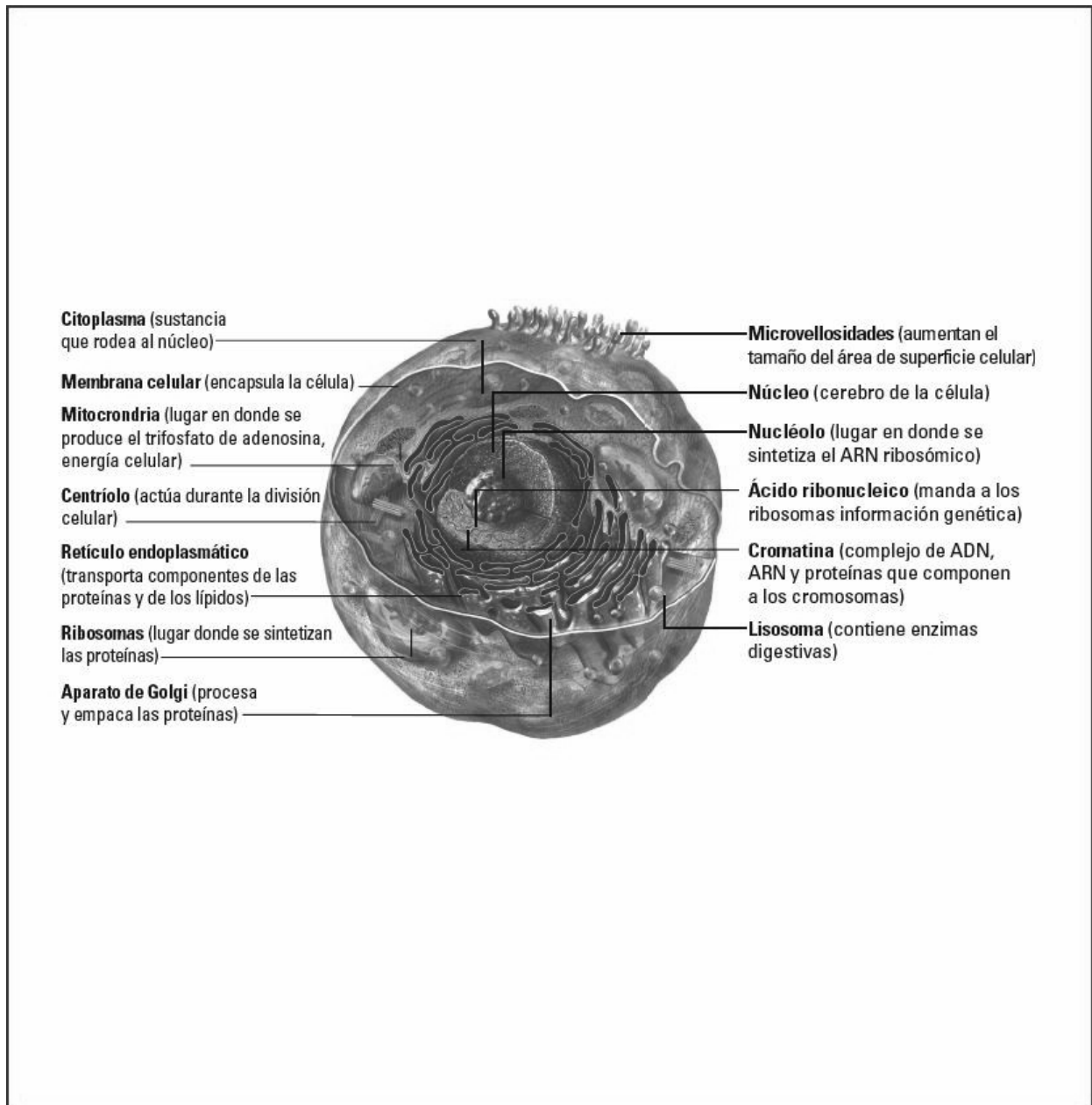
# Diagramas para estudio

## Ubicación de las cavidades corporales

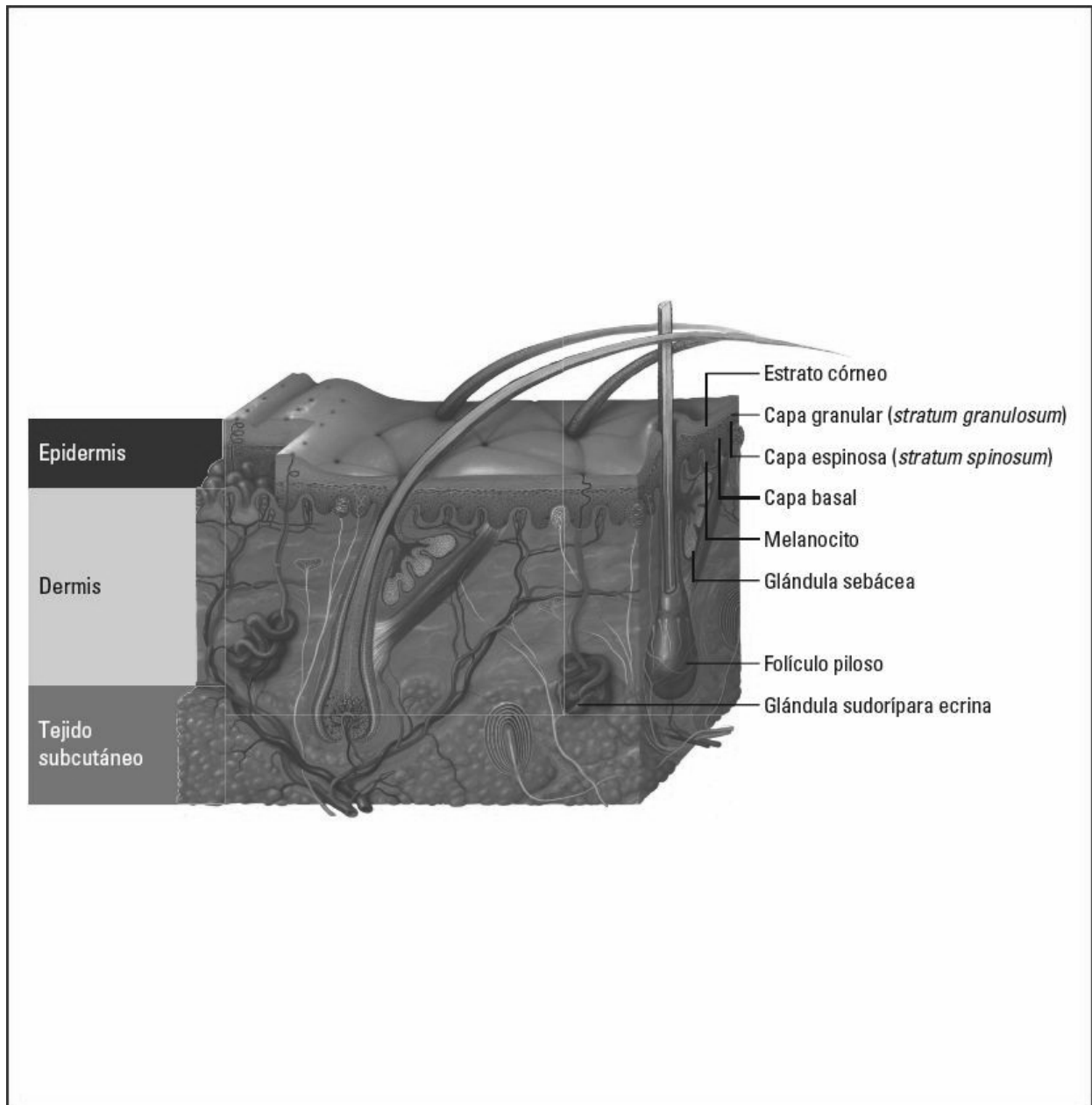


## Dentro de la célula

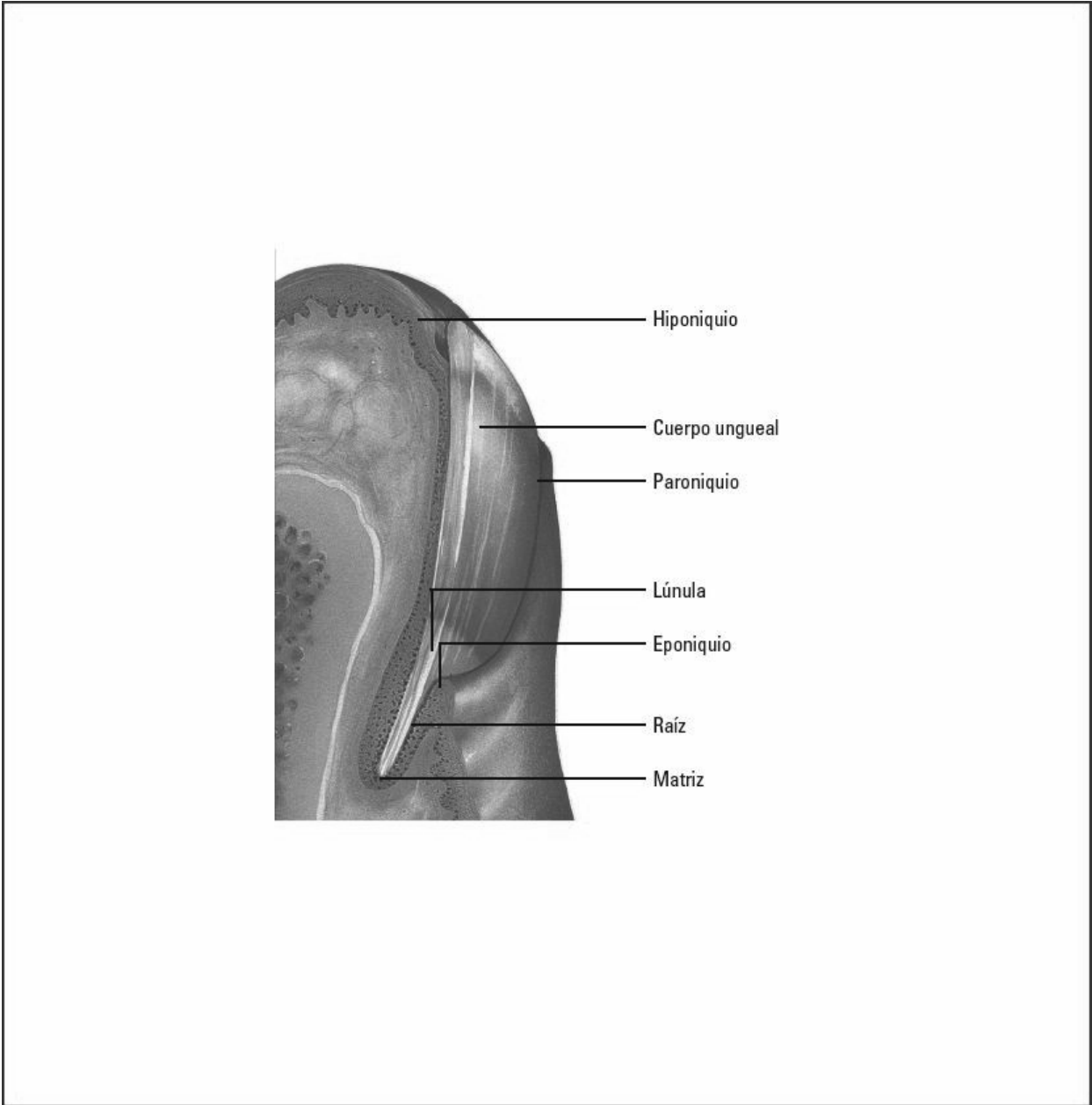




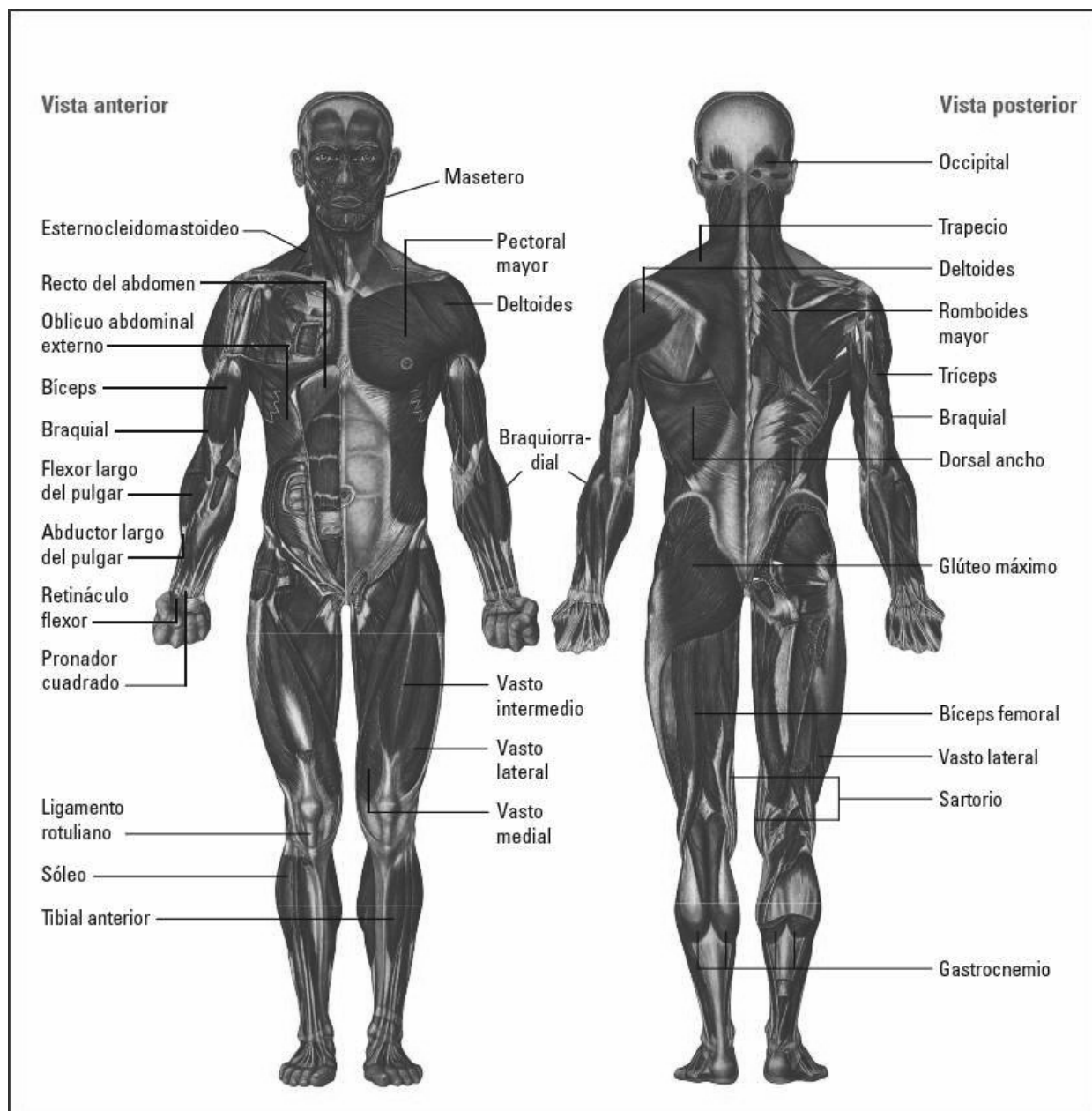
## Una mirada a la piel



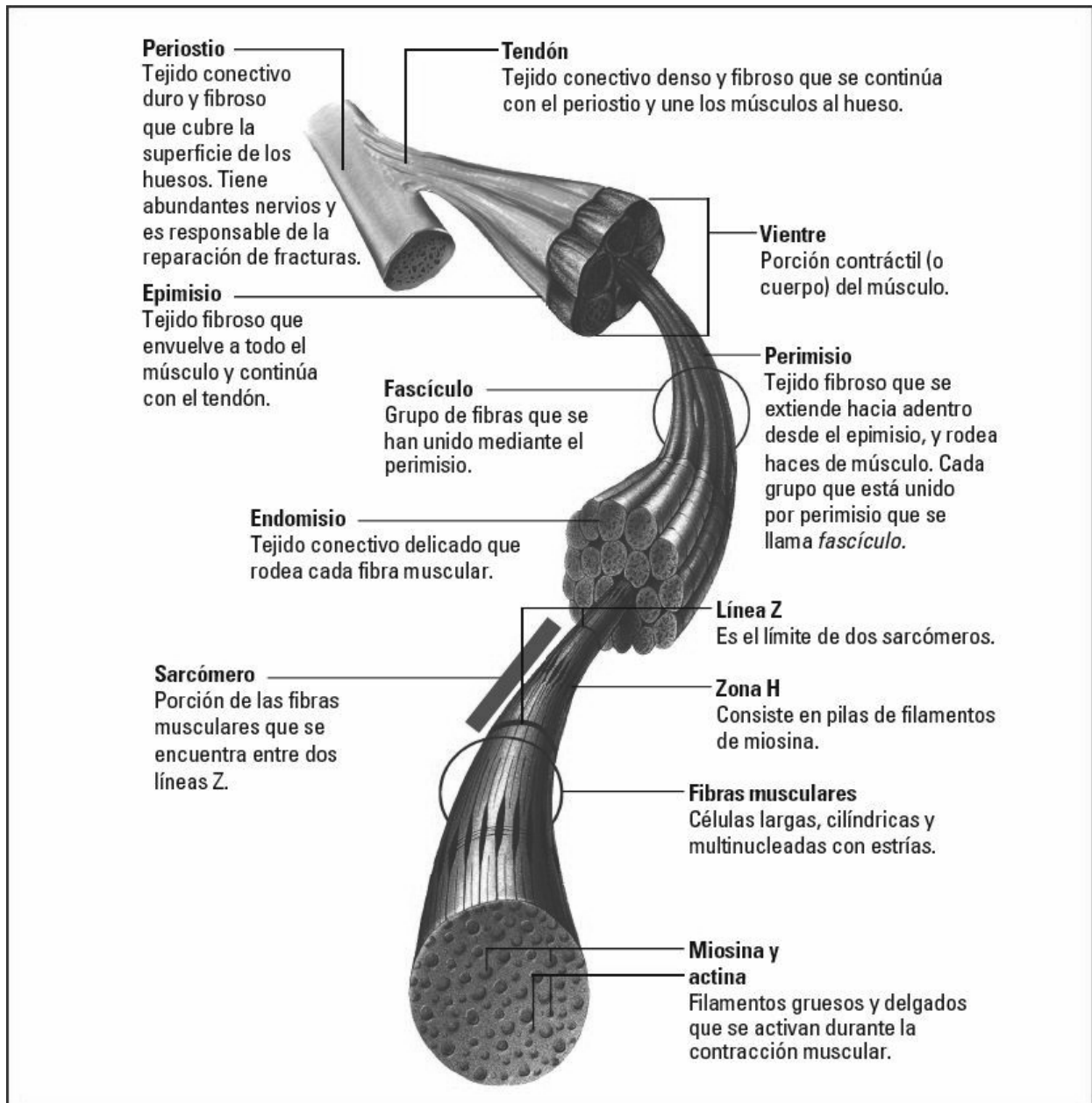
## Una mirada a la uña



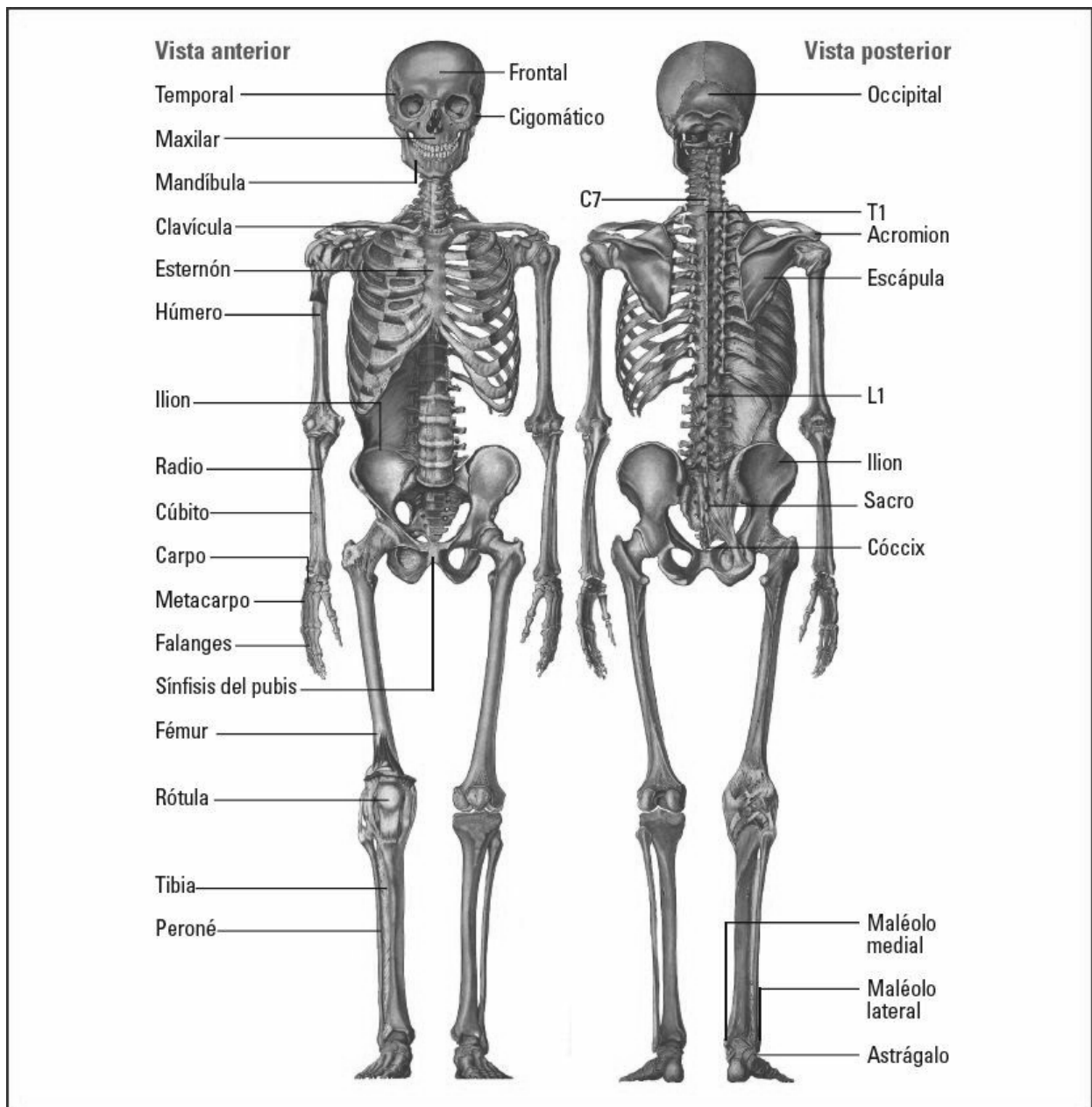
## Principales músculos esqueléticos



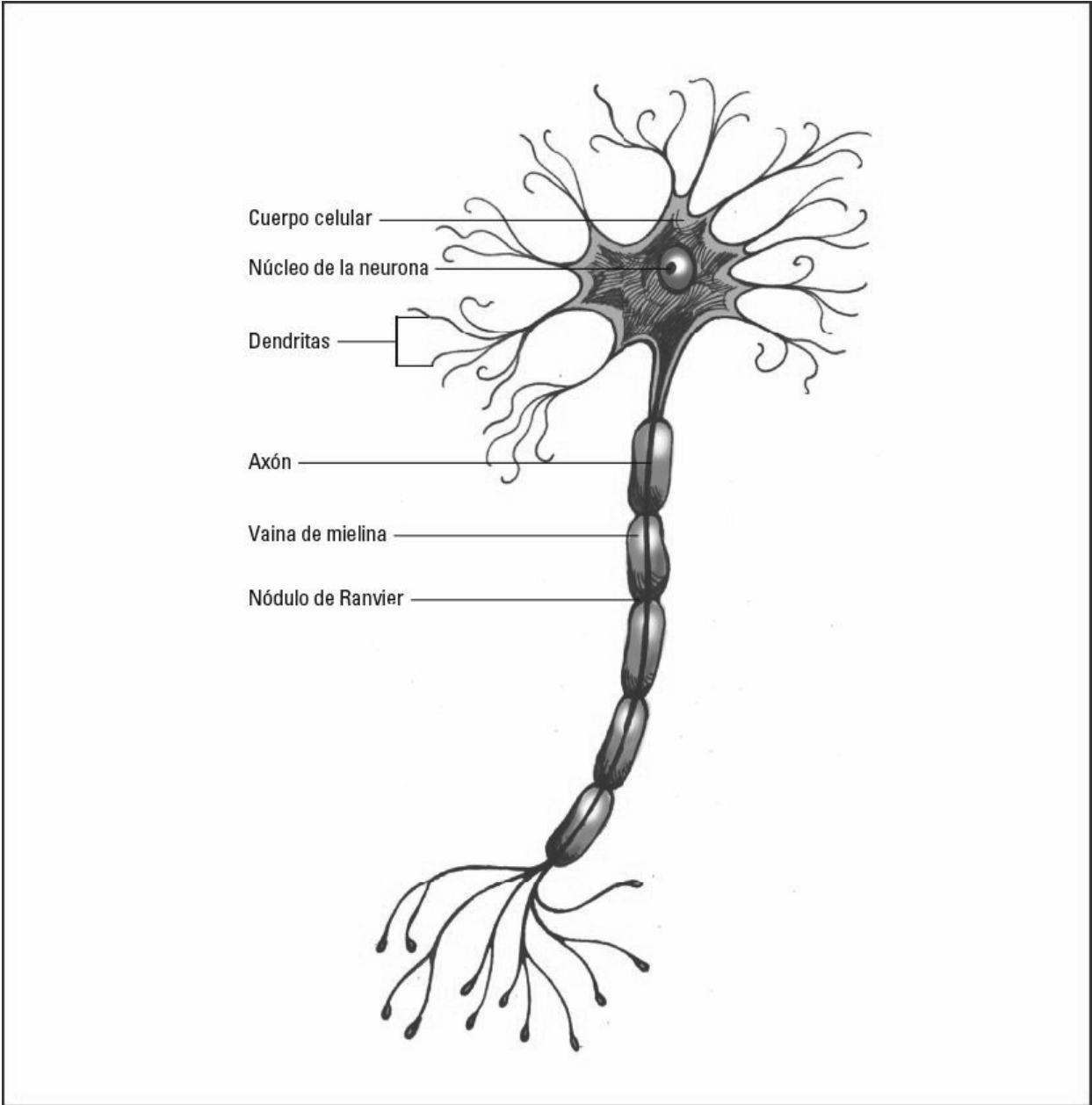
## La estructura muscular de cerca



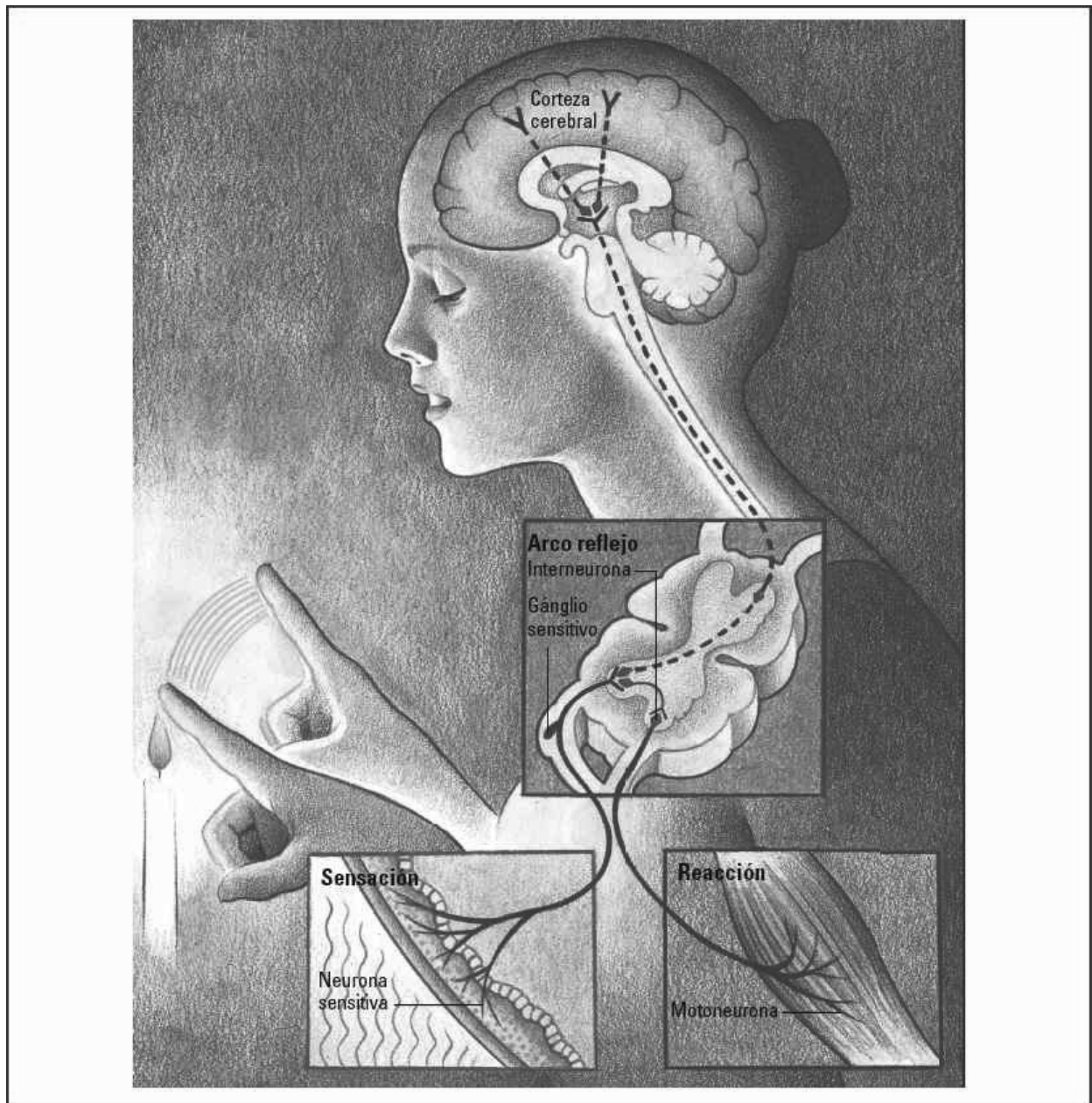
## Una mirada a los principales huesos



## Partes de una neurona

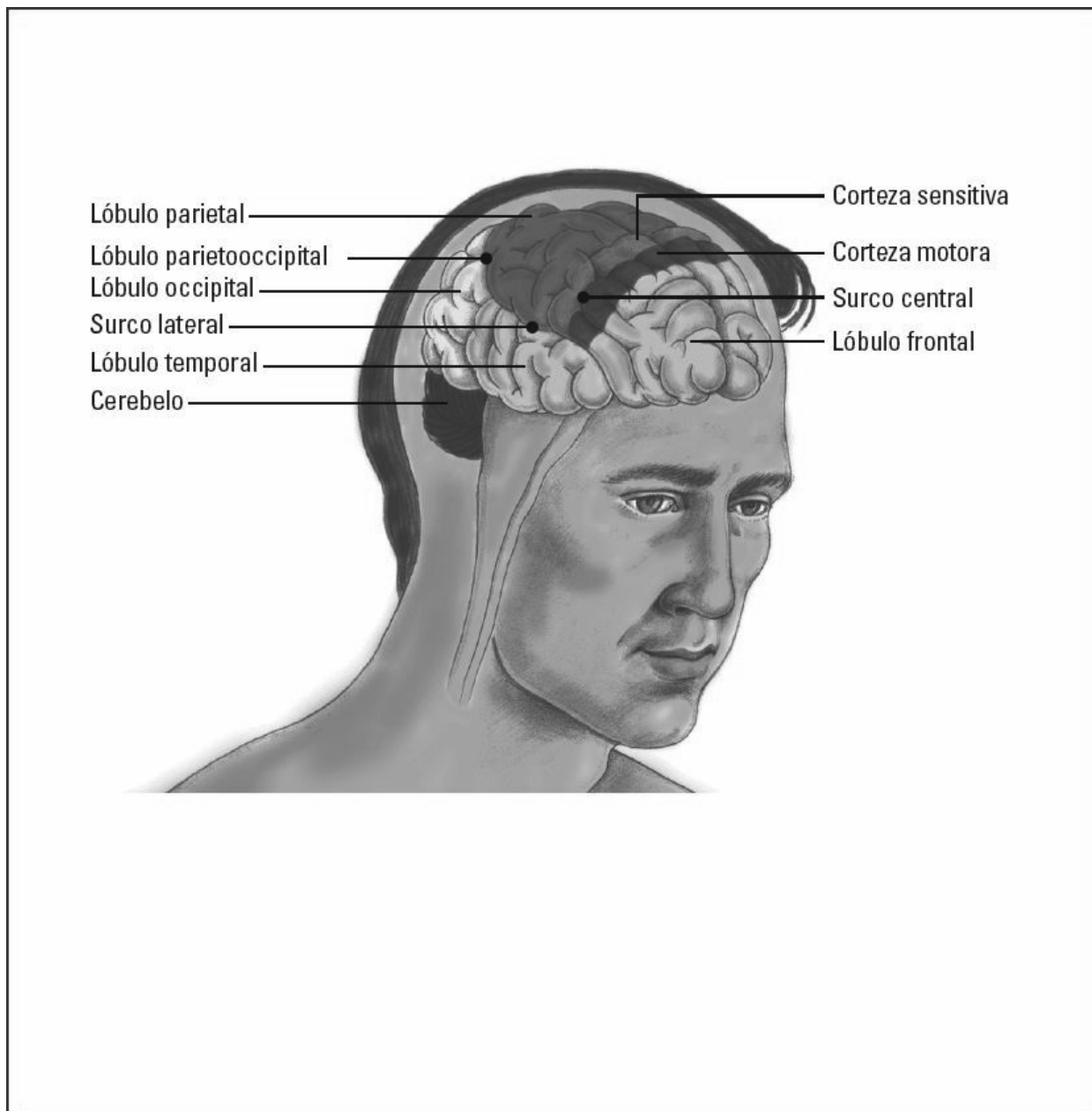


**Arco reflejo**

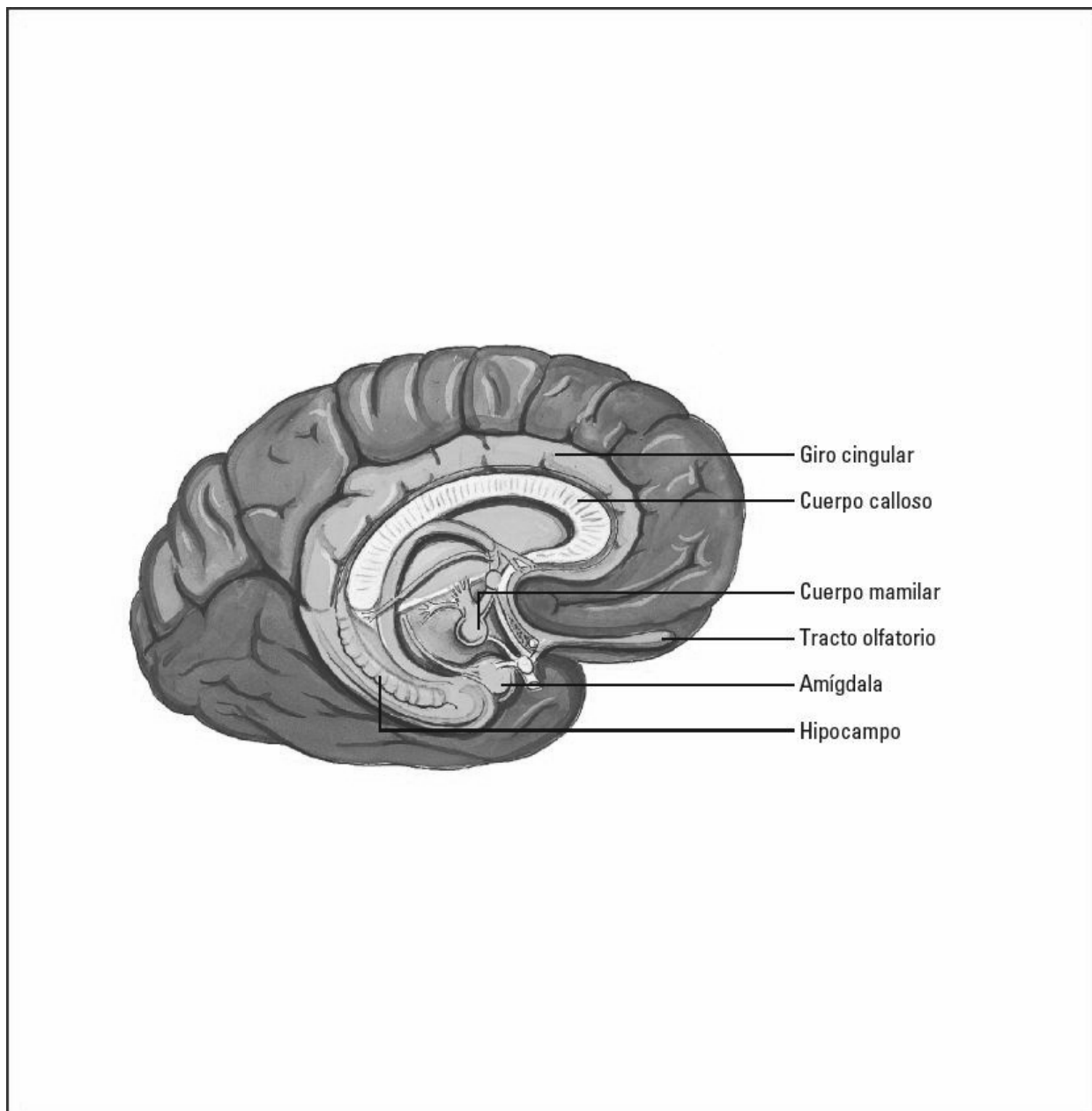


## Una mirada a las principales estructuras cerebrales





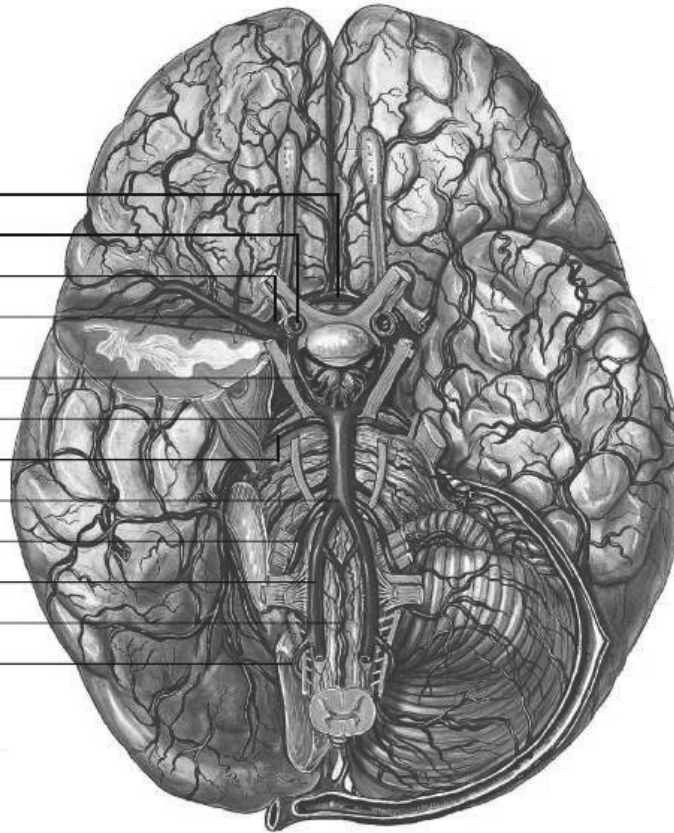
## Sistema límbico



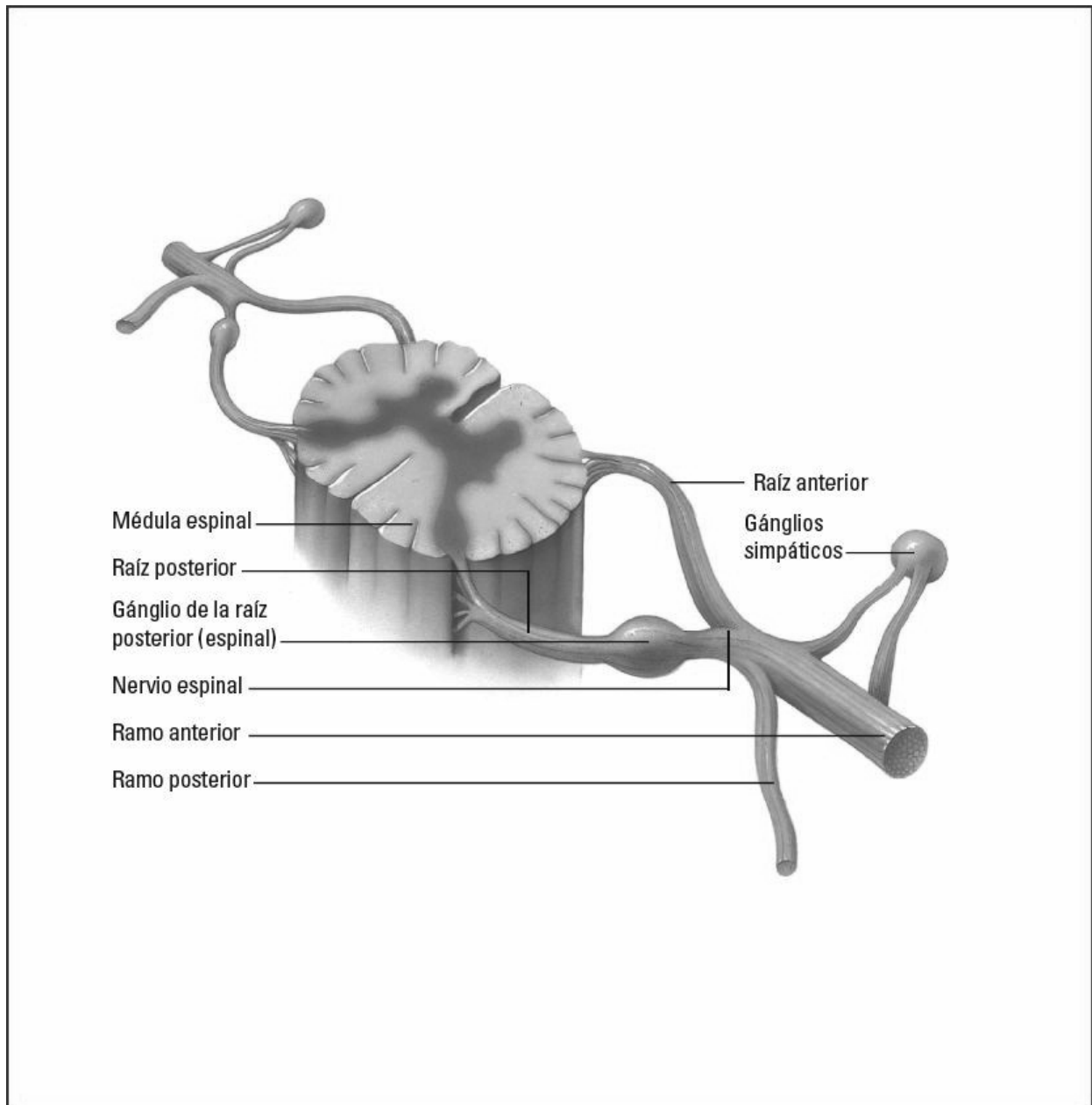
## Arterias cerebrales

Vista inferior

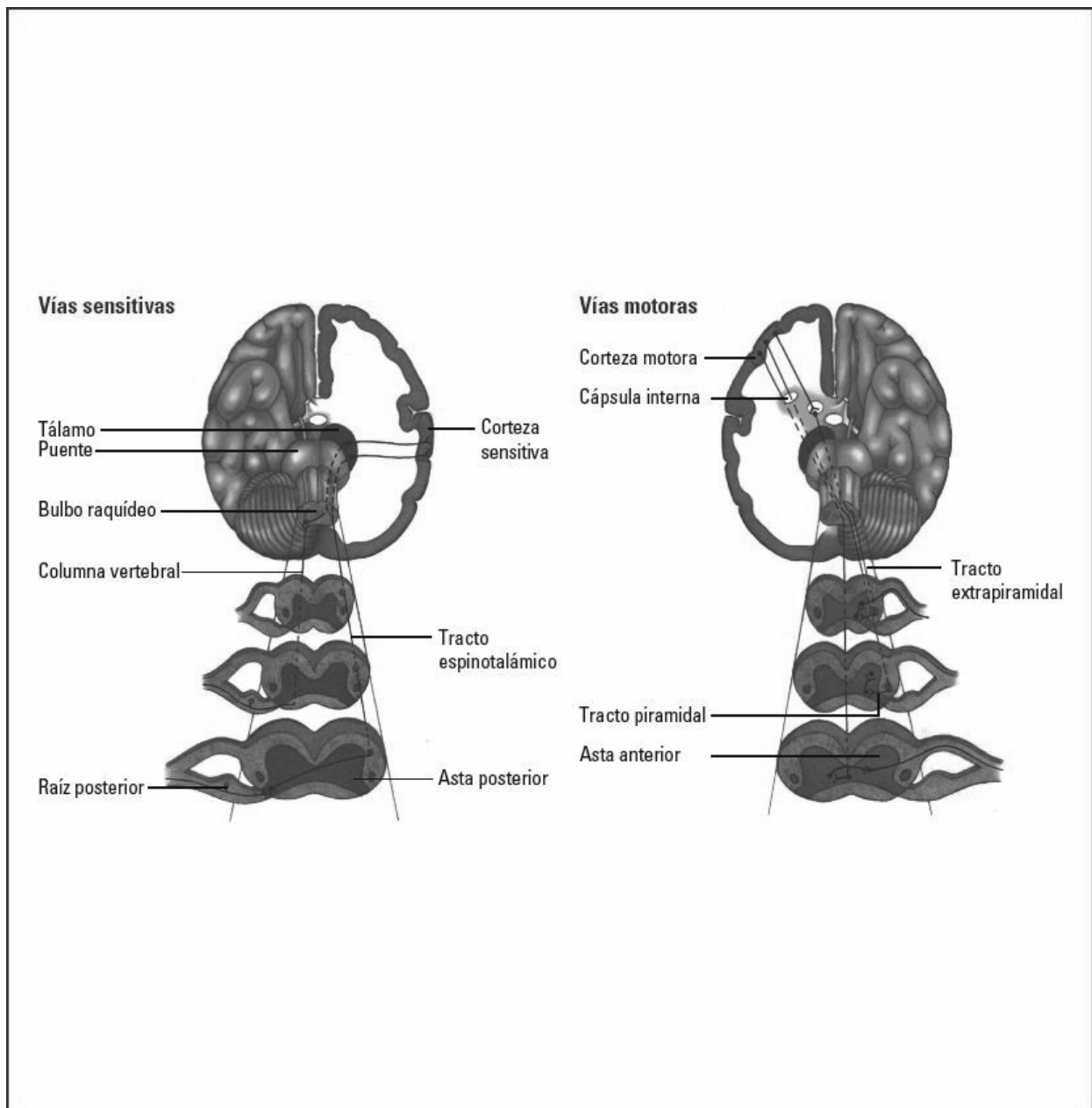
- Arteria comunicante anterior
- Arteria carótida interna izquierda
- Arteria cerebral anterior
- Arteria cerebral media
- Arteria comunicante posterior
- Arteria cerebral posterior
- Arteria cerebelosa superior
- Arteria basilar
- Arteria cerebelosa anteroinferior
- Arteria vertebral
- Arteria espinal anterior
- Arteria espinal posterior



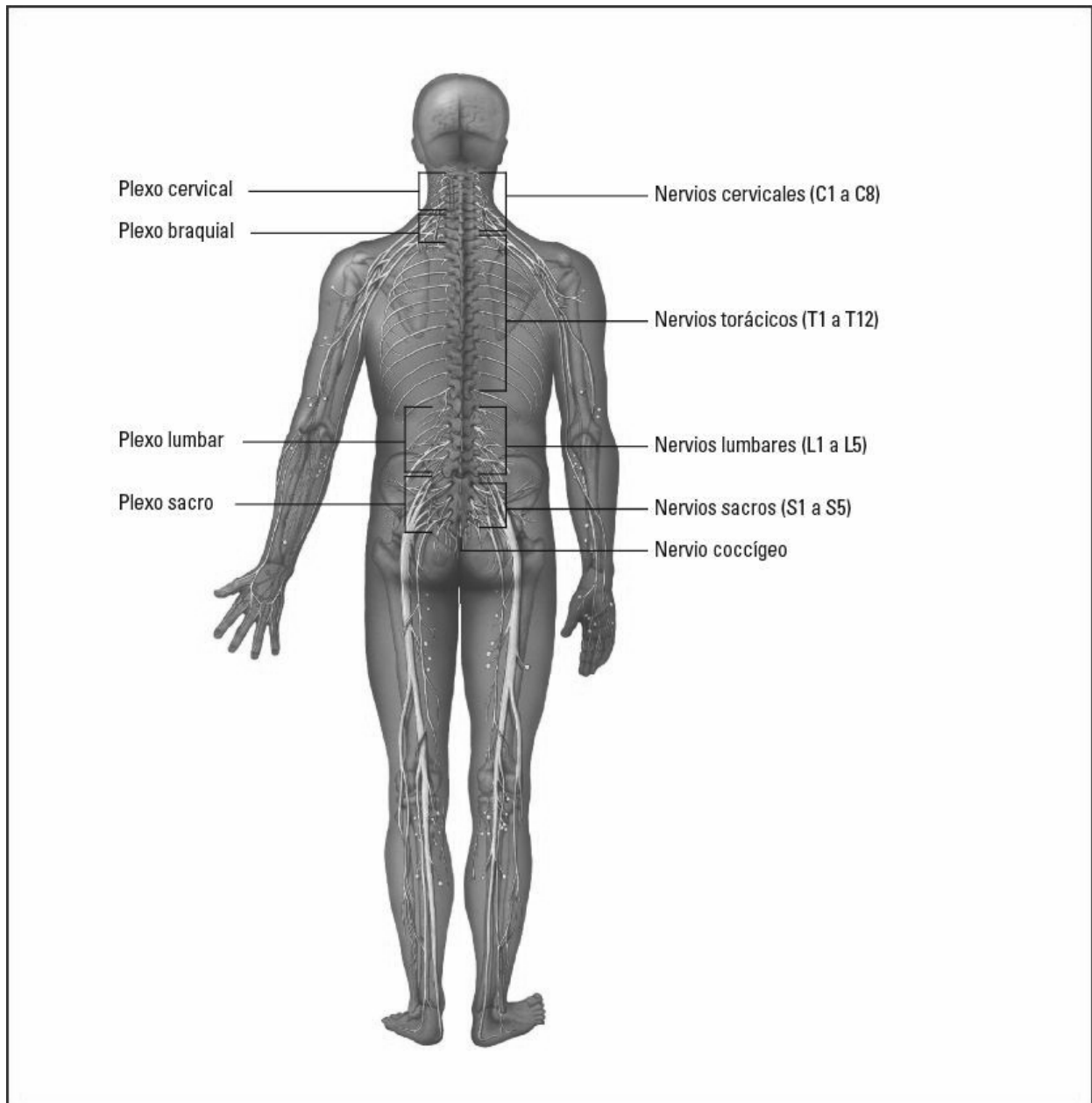
## Una mirada dentro de la médula espinal



## Principales vías neuronales



## Nervios espinales



## Puntos de salida para los nervios craneales

### Vista inferior

**Oculomotor (III).** *Motor:* movimiento extraocular del ojo (superior, medial, inferolateral), constricción pupilar, elevación del párpado superior.

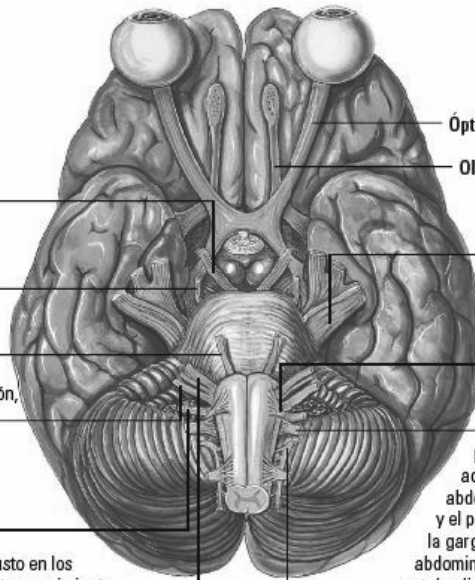
**Troclear (IV).** *Motor:* movimiento extraocular (músculos oblicuos superiores).

**Abducens (VI).** *Motor:* movimiento extraocular (lateral).

**Vestibulococlear (VIII).** *Sensitivo:* audición, sentido del equilibrio.

**Glosofaríngeo (IX).** *Motor:* deglución. *Sensitivo:* tacto dentro de la garganta, percepción de gusto en el tercio posterior de la lengua.

**Facial (VII).** *Sensitivo:* receptores del gusto en los dos tercios anteriores de la lengua. *Motor:* movimiento de músculos faciales, incluidos los músculos de la expresión (aquellos en la frente y alrededor de los ojos).



**Óptico (II).** *Sensitivo:* visión.

**Olfatorio (I).** *Sensitivo:* olor.

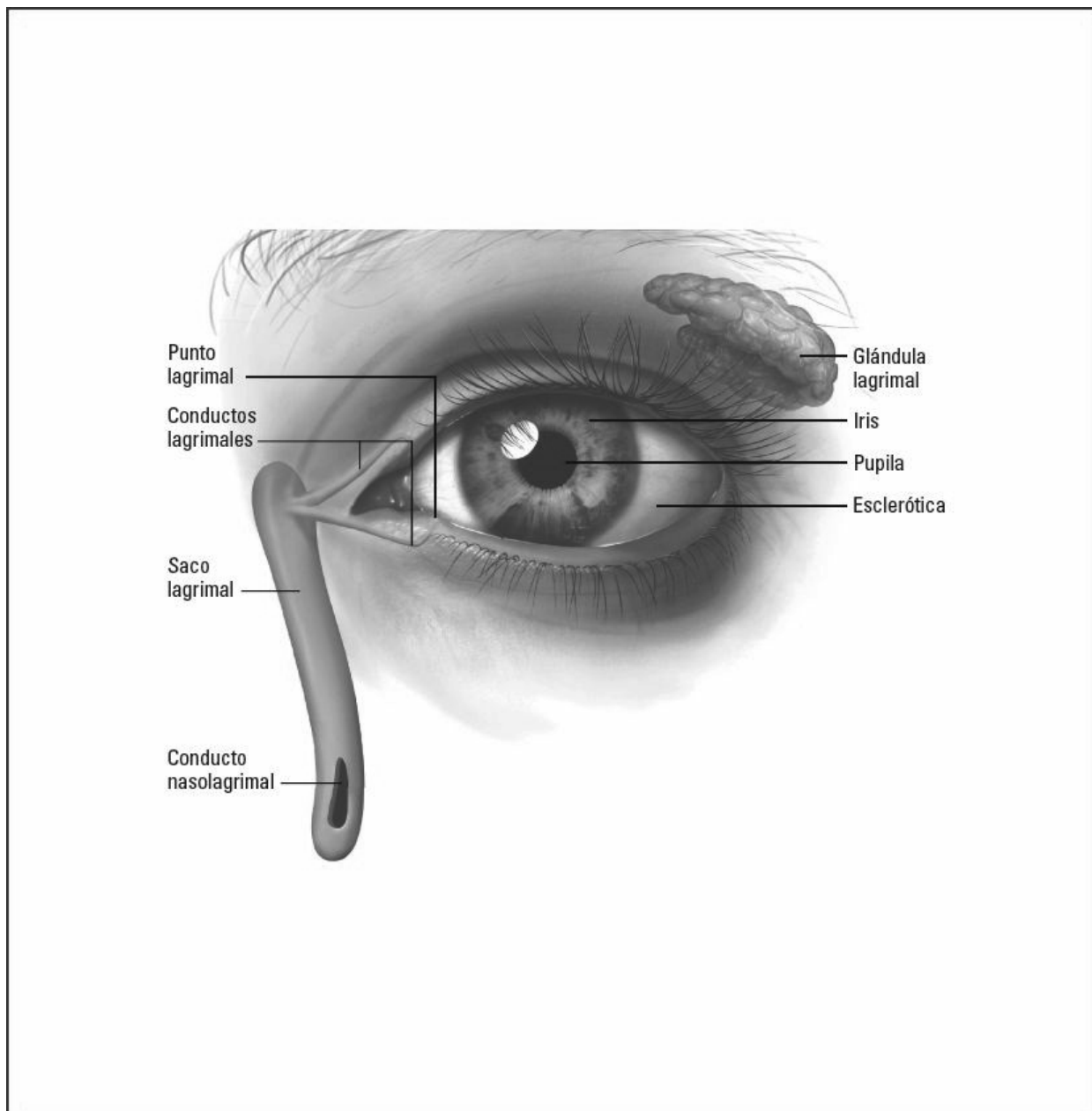
**Trigémino (V).** *Sensitivo:* transmite estímulos de la cara y cabeza, reflejo corneal. *Motor:* masticación, mordida, movimientos laterales de la mandíbula.

**Hipogloso (XII).** *Motor:* movimiento de la lengua.

**Vago (X).** *Motor:* movimiento del paladar, deglución, reflejo nauseoso, actividad de las vísceras torácicas y abdominales, como la frecuencia cardíaca y el peristaltismo. *Sensitivo:* tacto dentro de la garganta, laringe y vísceras torácicas y abdominales (corazón, pulmones, bronquios y tubo digestivo).

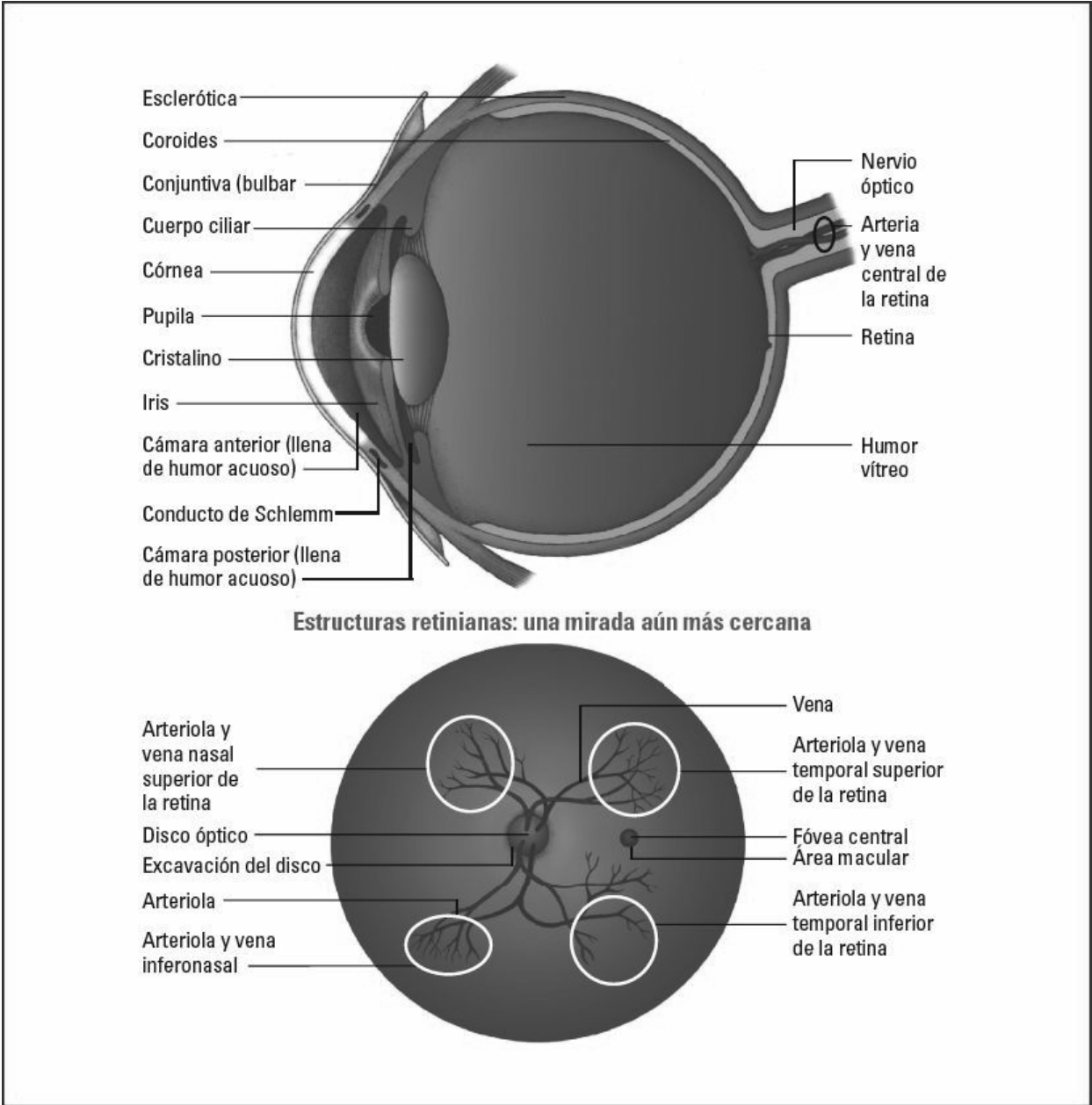
**Espinal accesorio (XI).** *Motor:* movimiento del hombro, rotación de la cabeza.

## Una mirada a las lágrimas

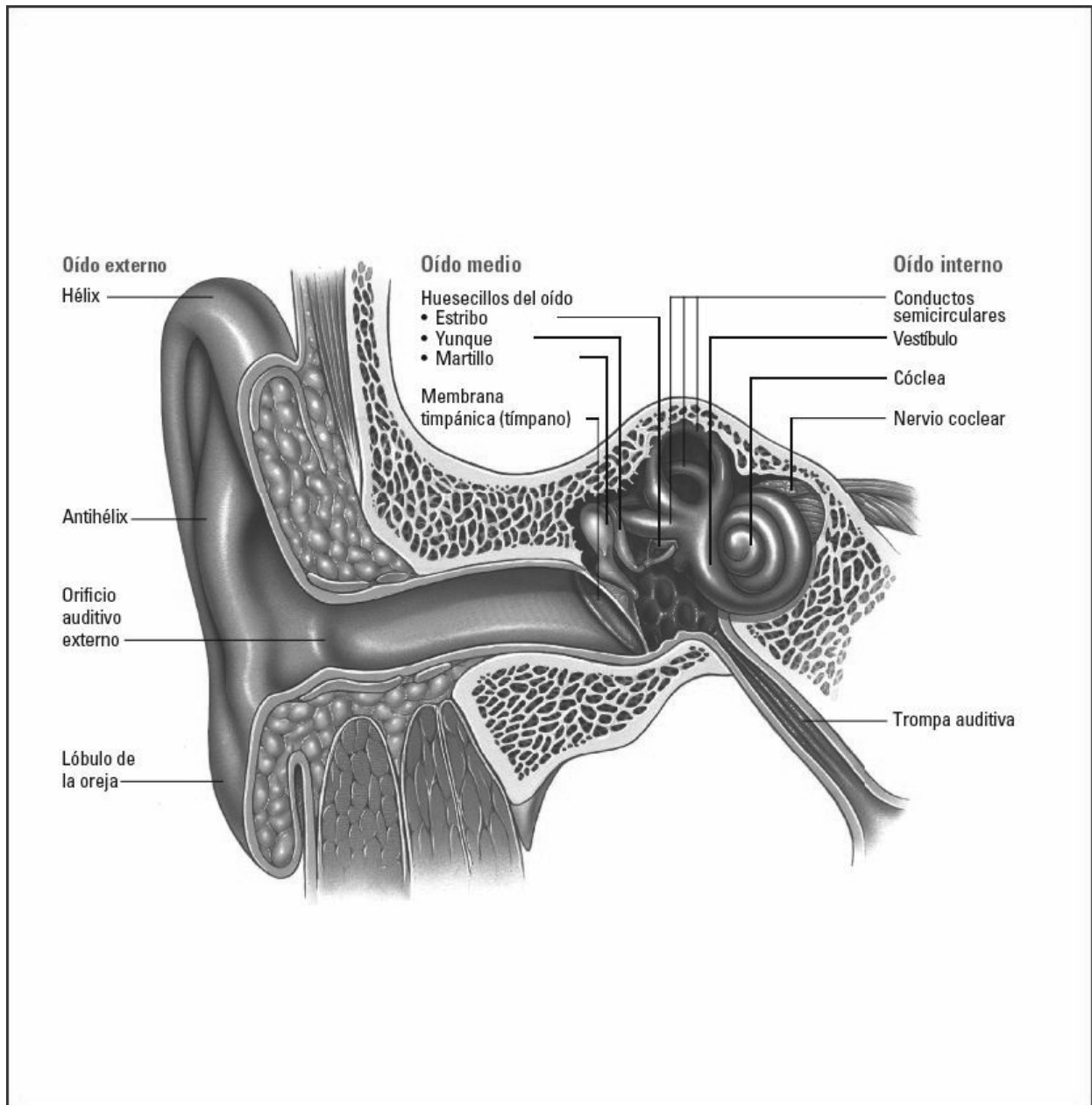


## Estructuras intraoculares

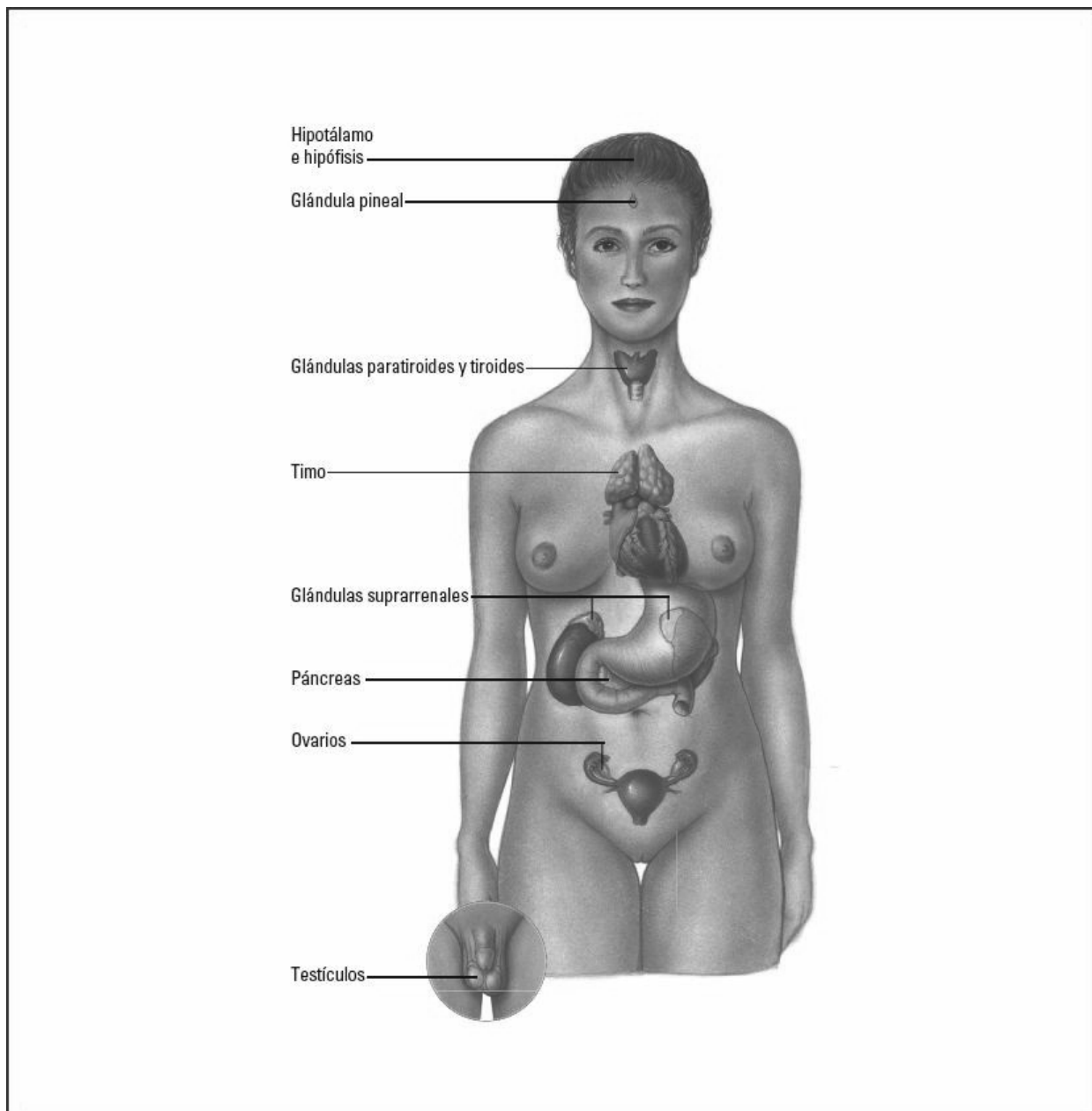




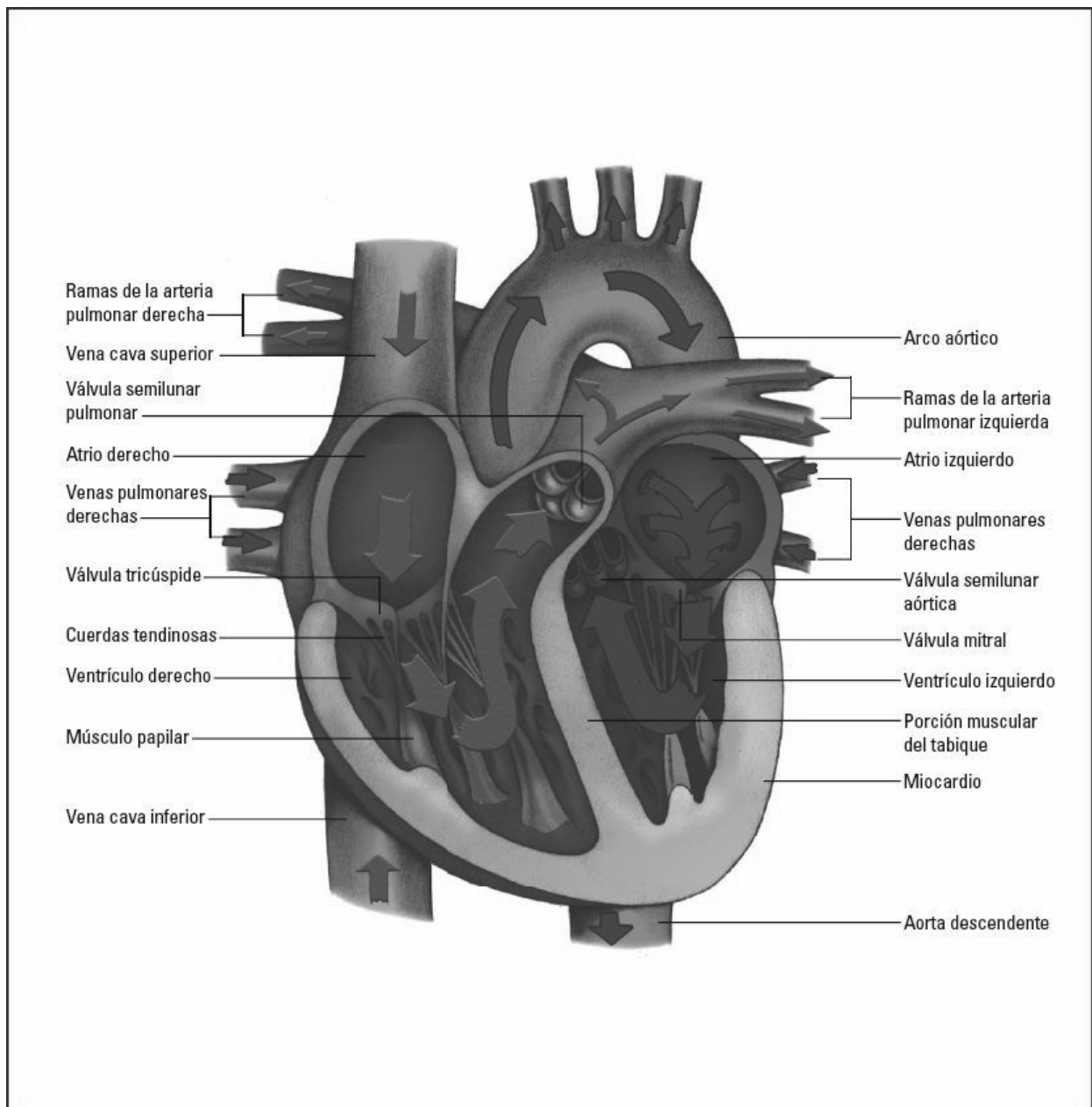
**Estructuras del oído**



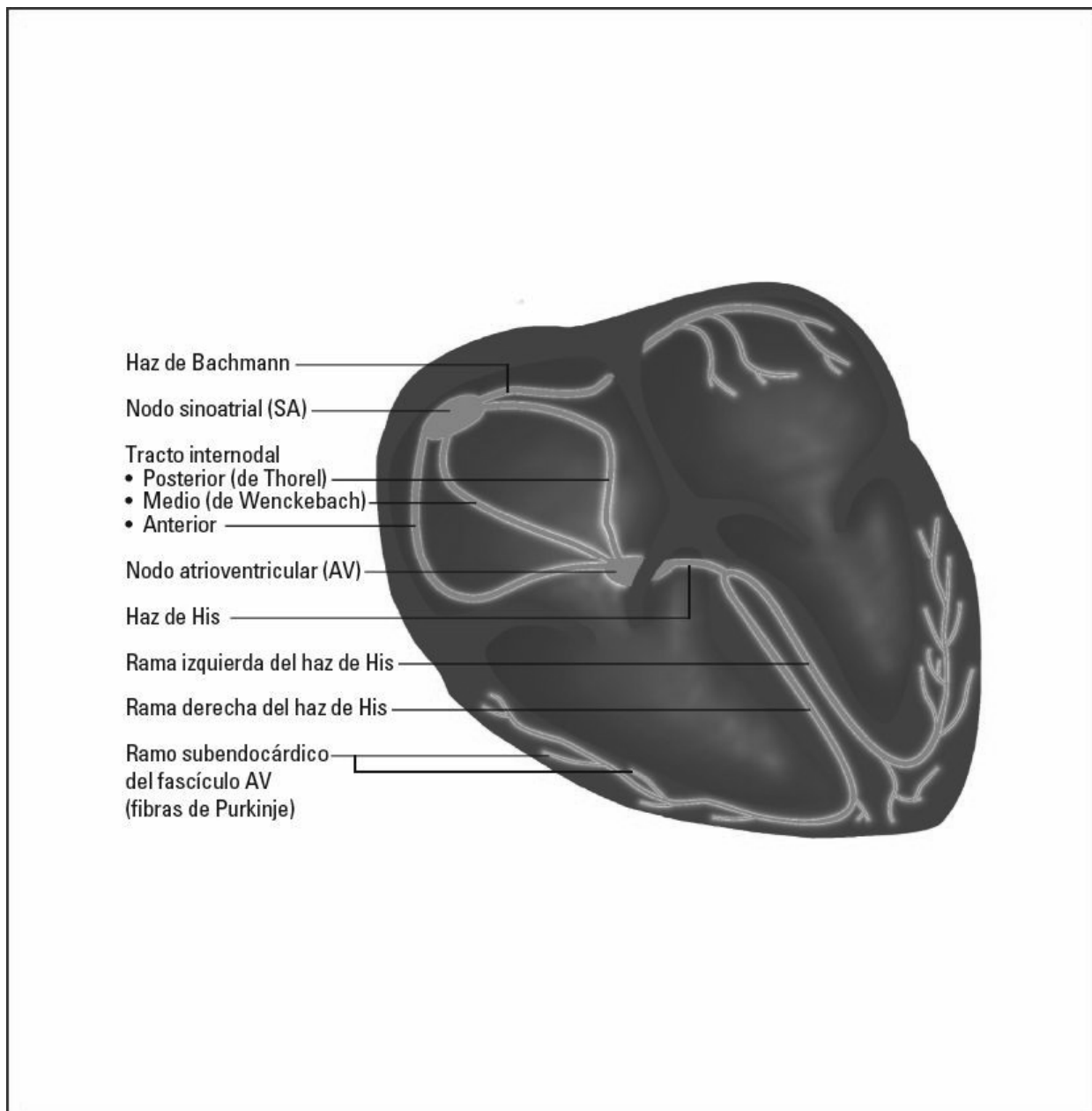
## Componentes del sistema endocrino



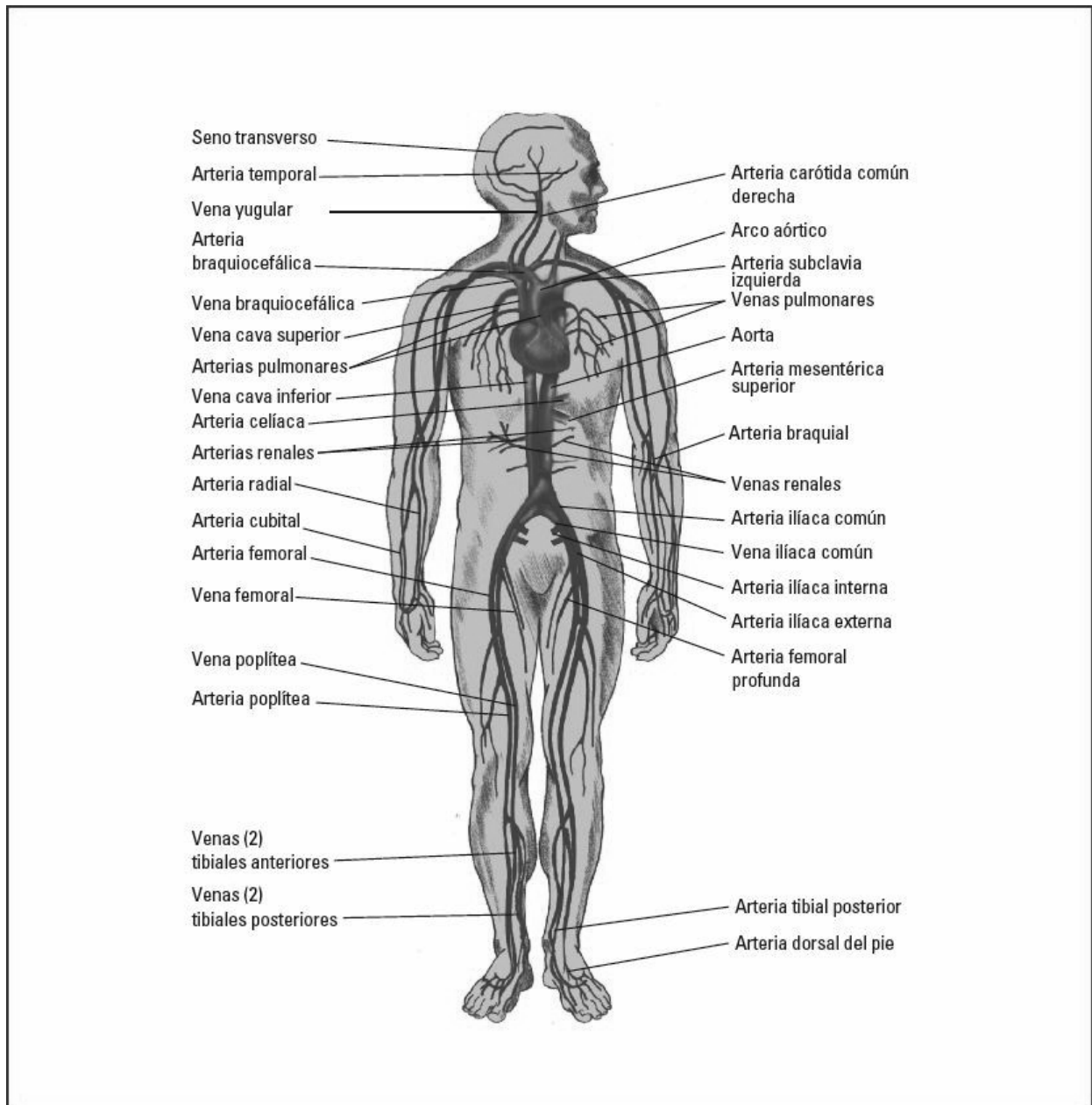
## Dentro del corazón



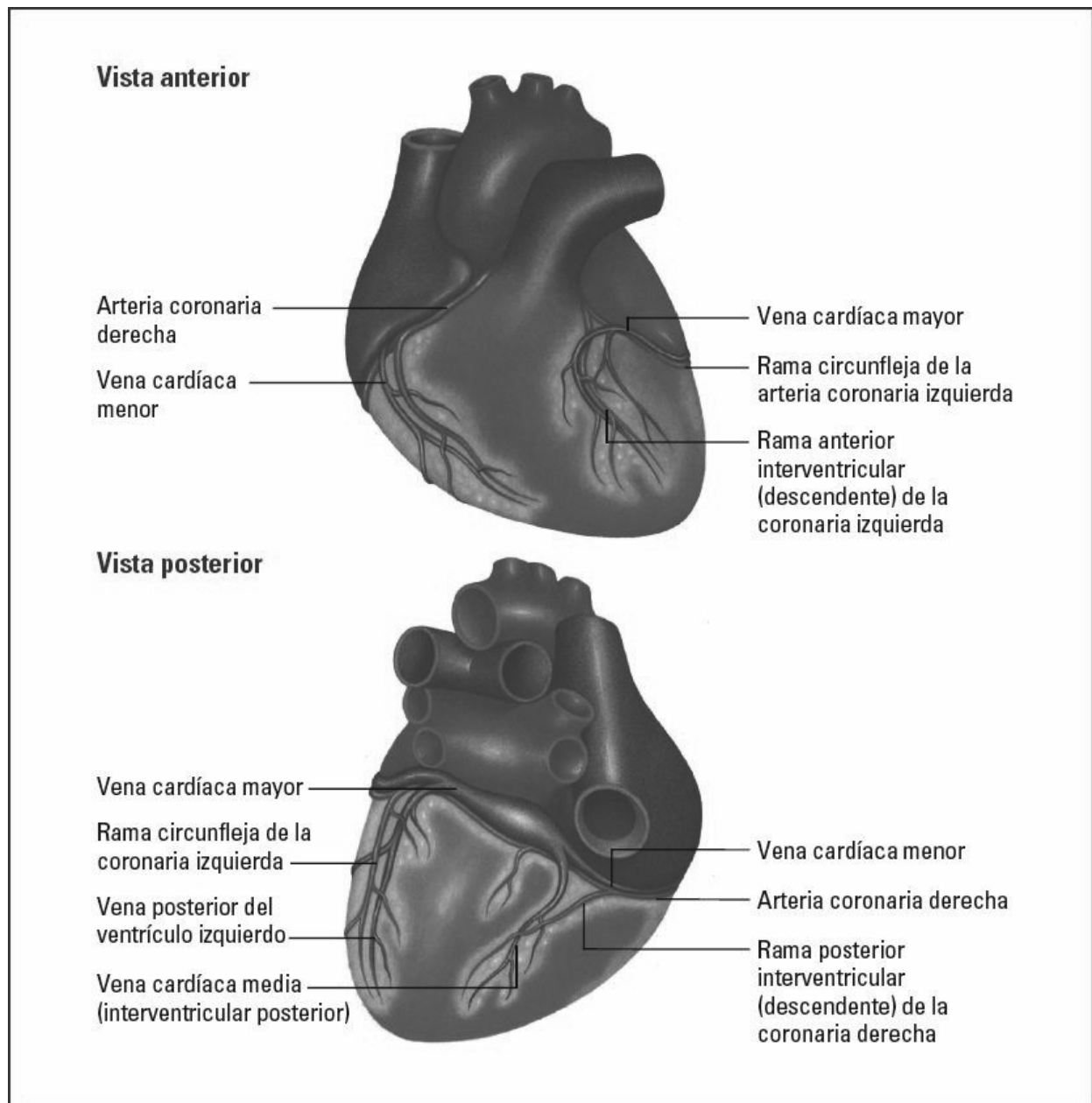
## Sistema de conducción cardíaco



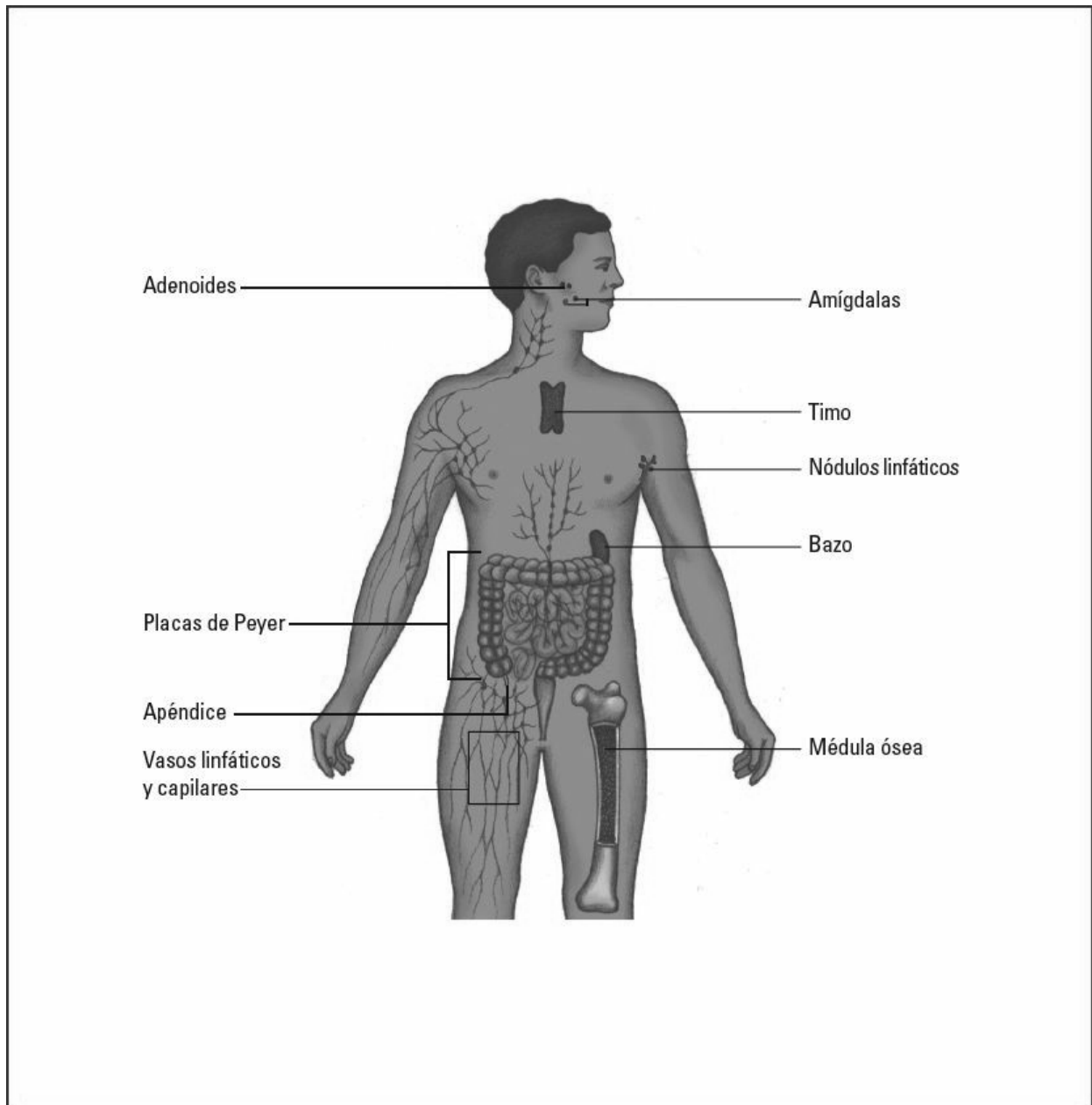
## Principales vasos sanguíneos



## Vasos que nutren el corazón

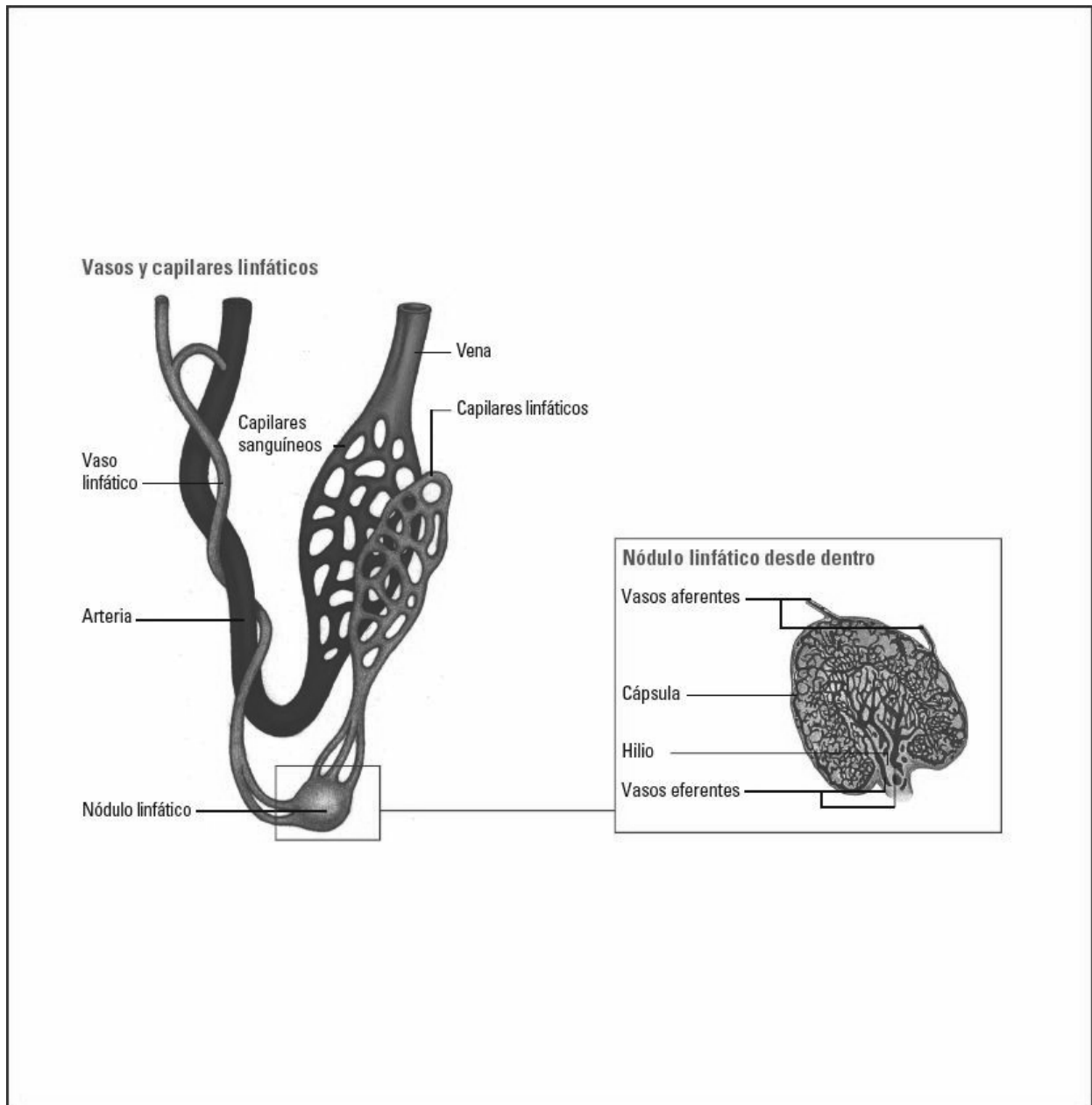


## Órganos y tejidos del sistema inmunitario

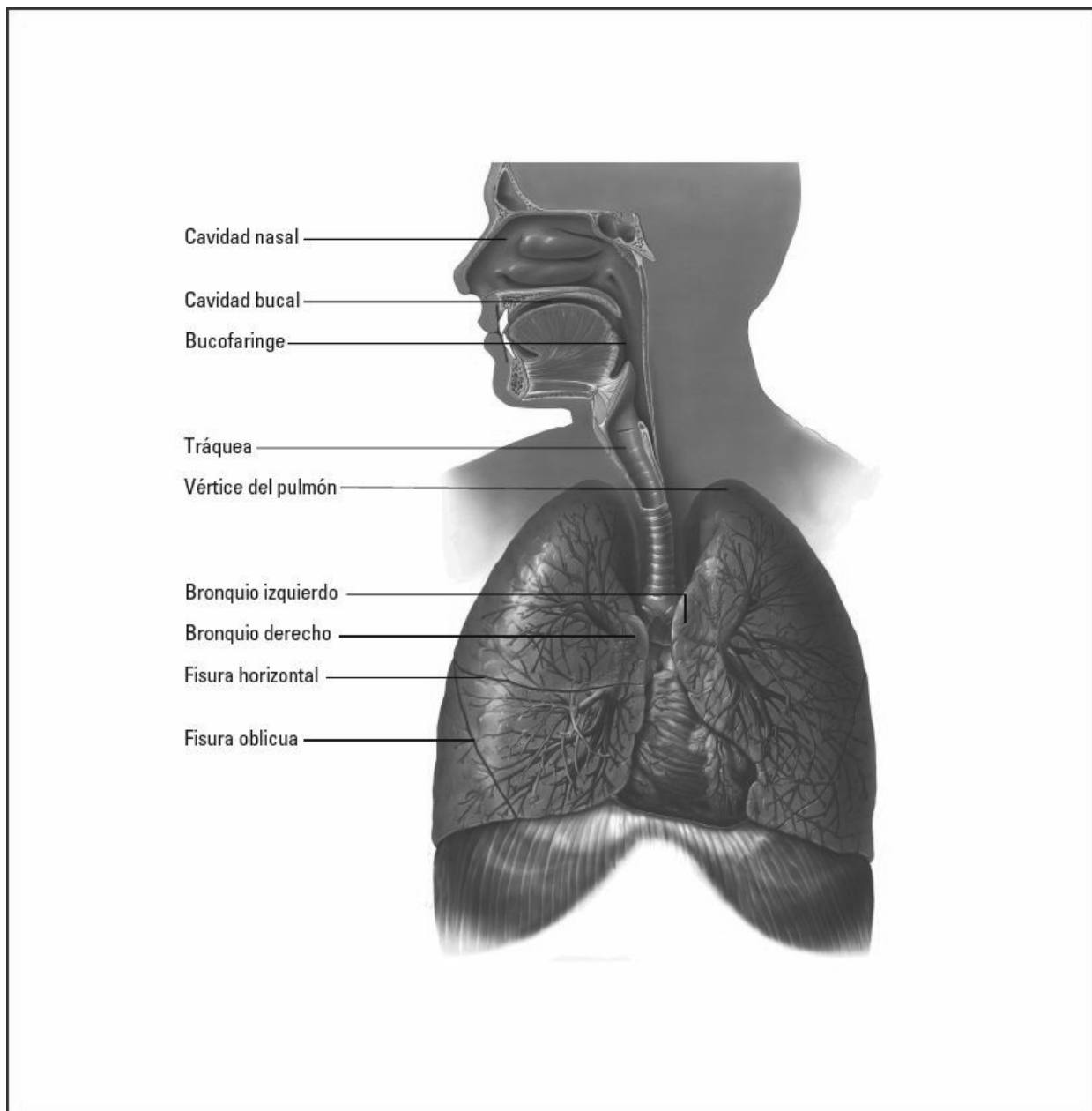


## Vasos y nódulos linfáticos

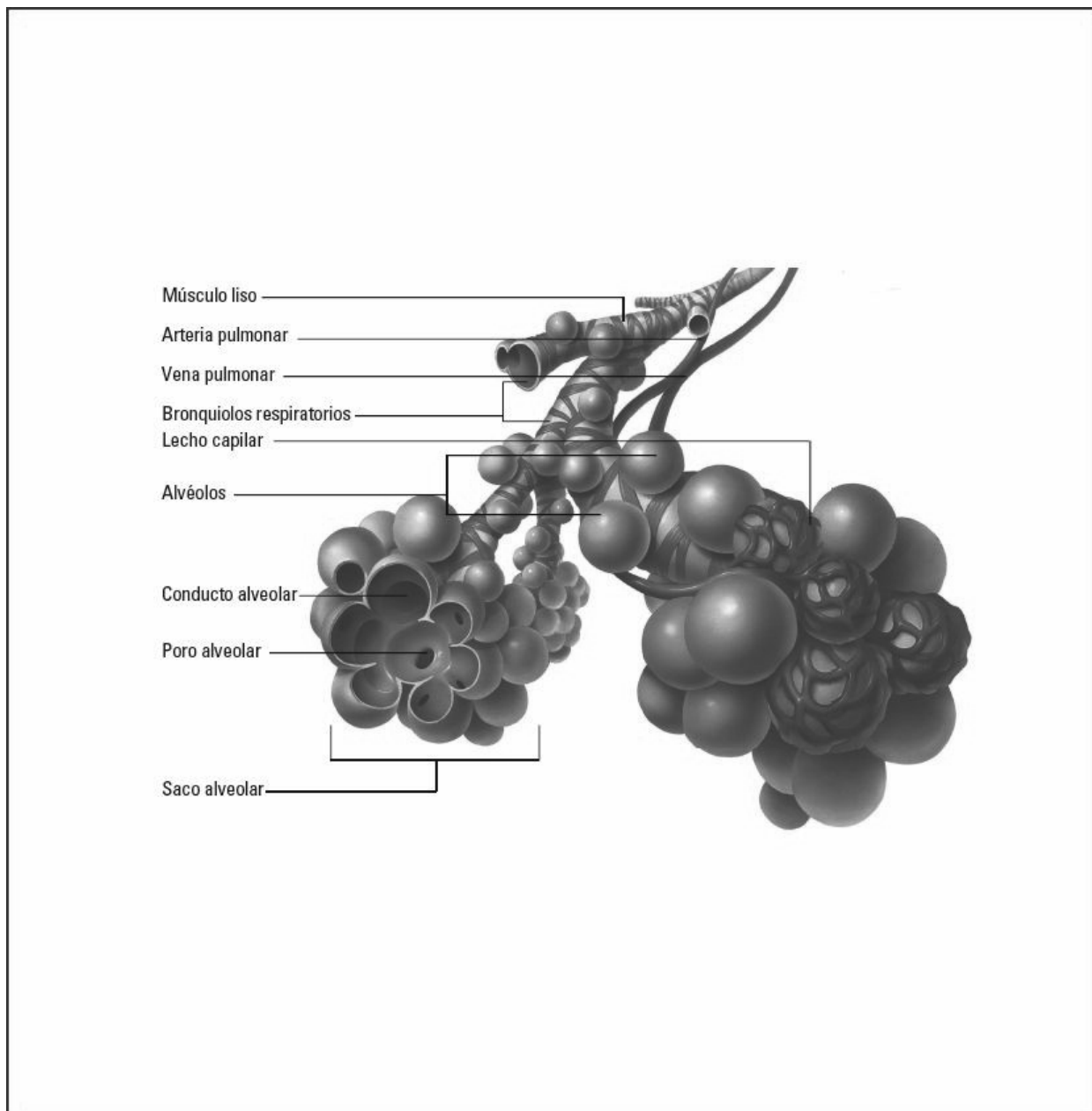




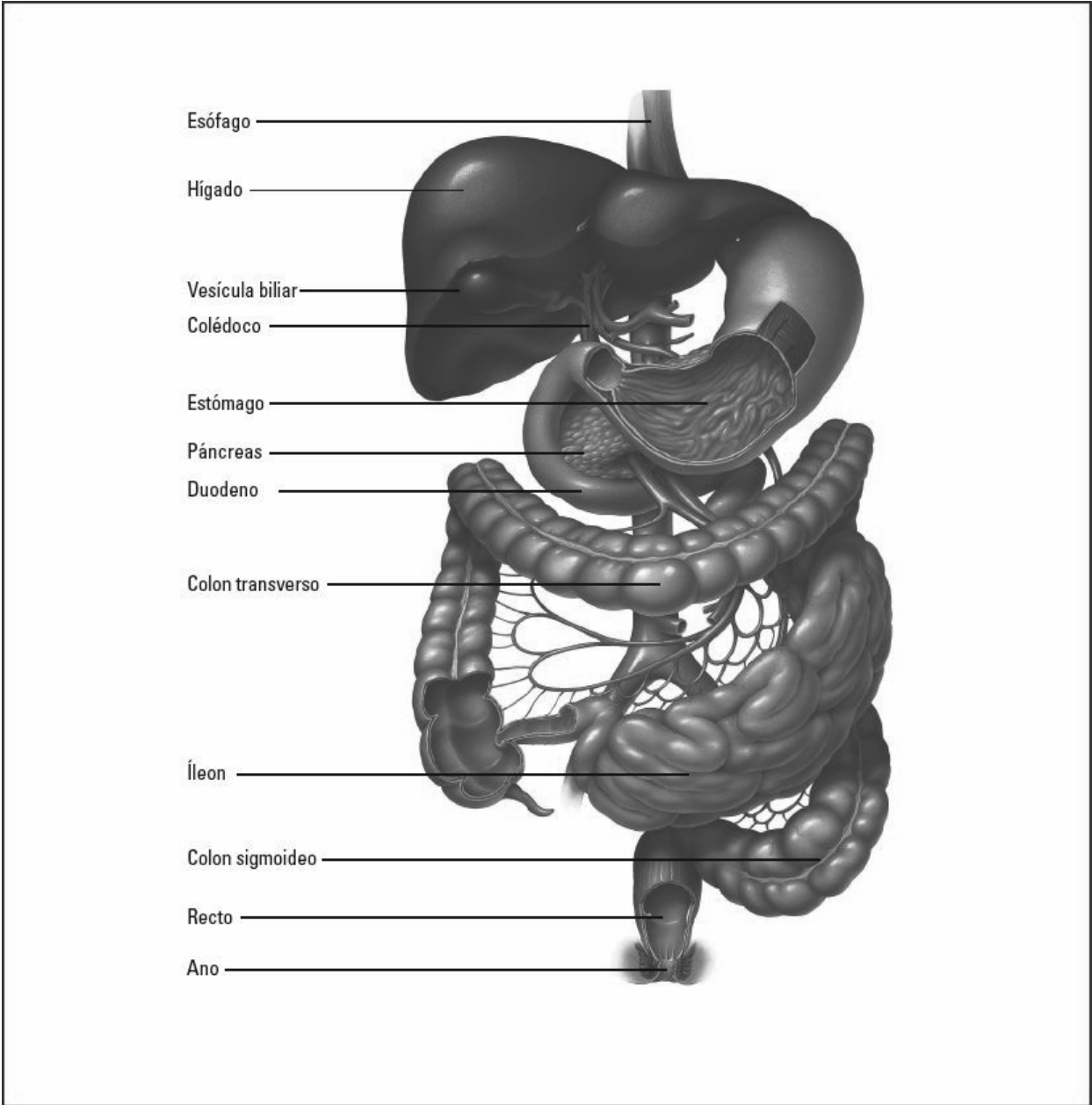
## Estructuras del aparato respiratorio



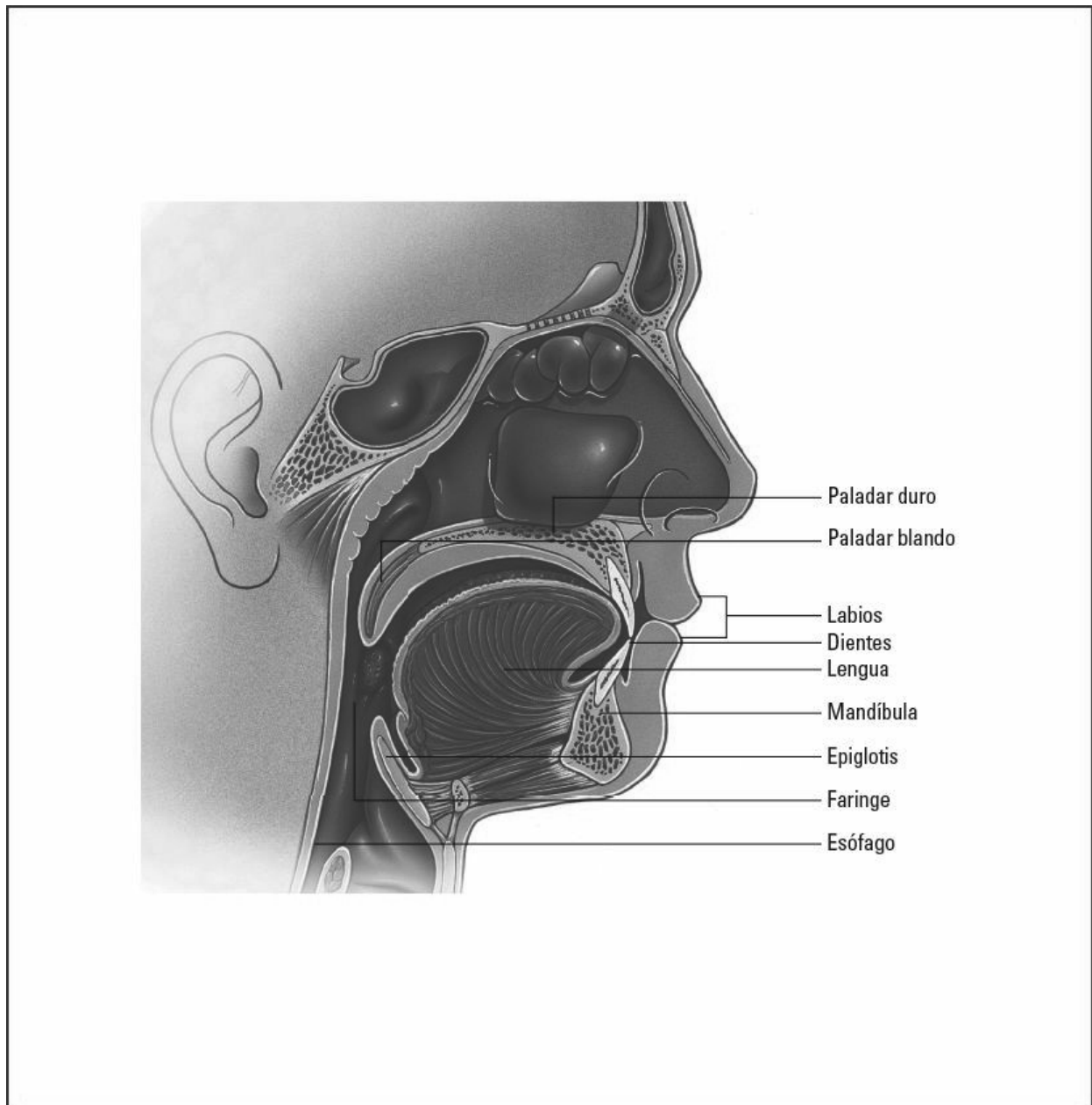
## Una mirada a la vía respiratoria



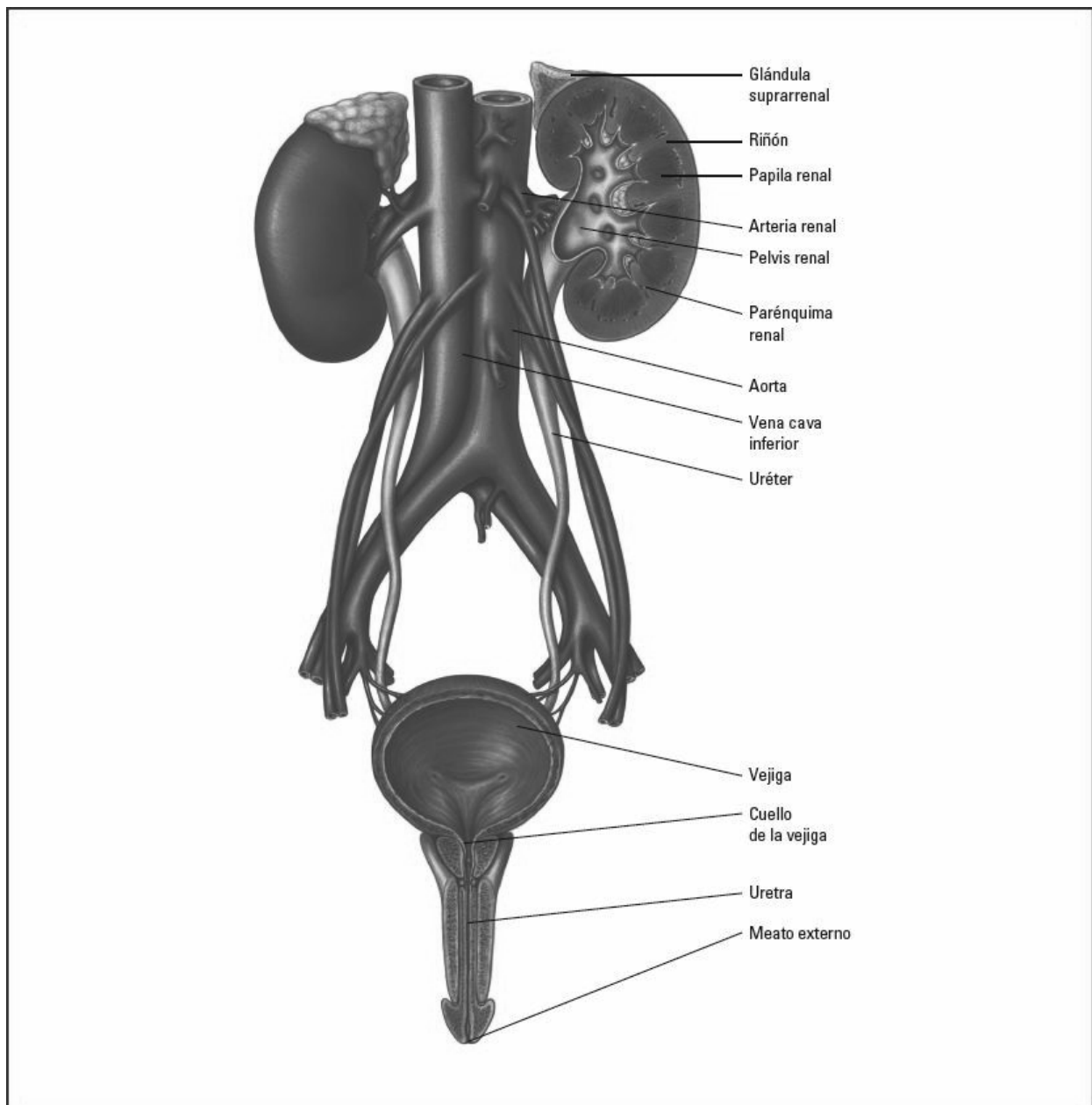
## Estructuras del aparato digestivo



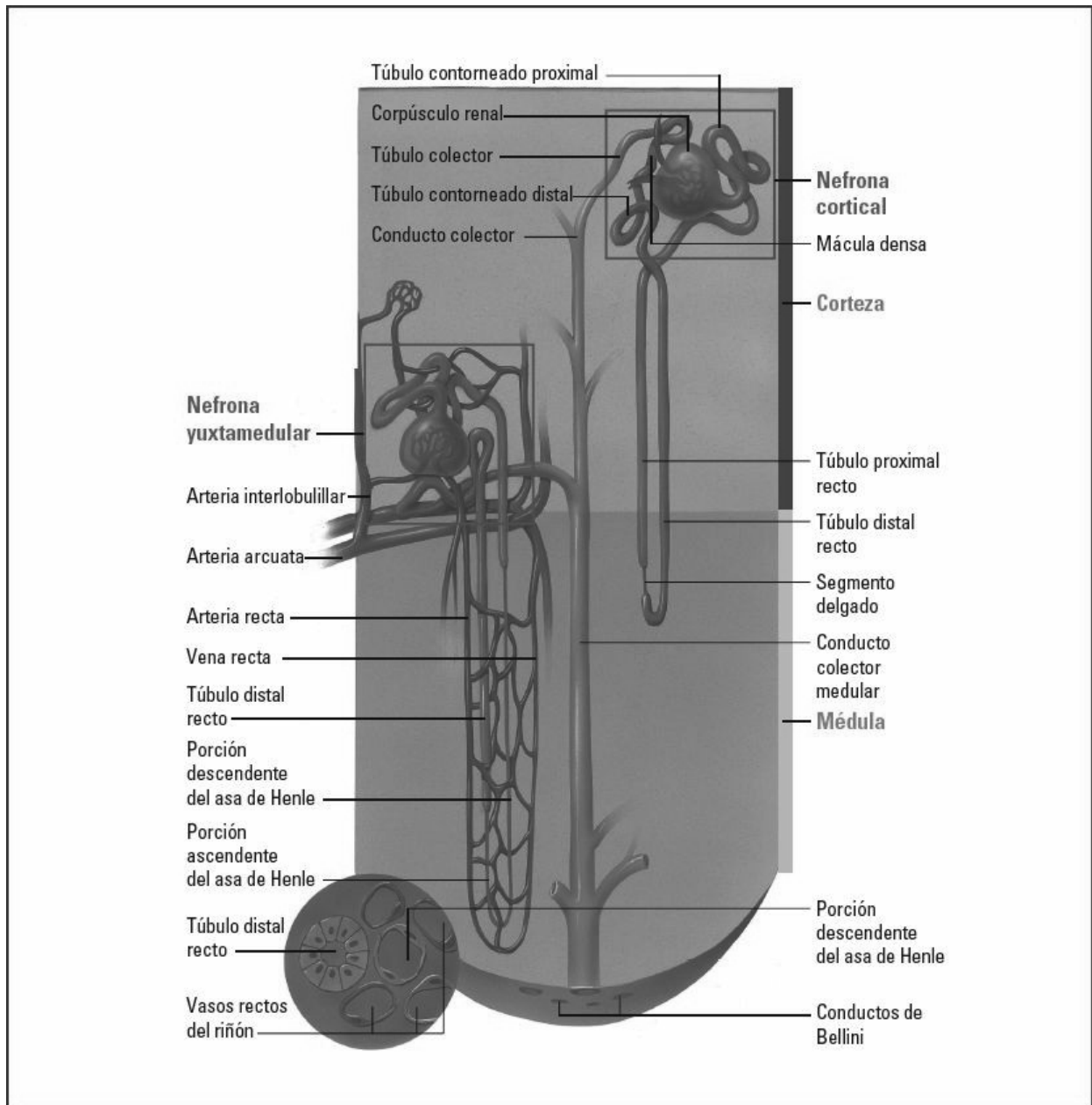
# Cavidad bucal



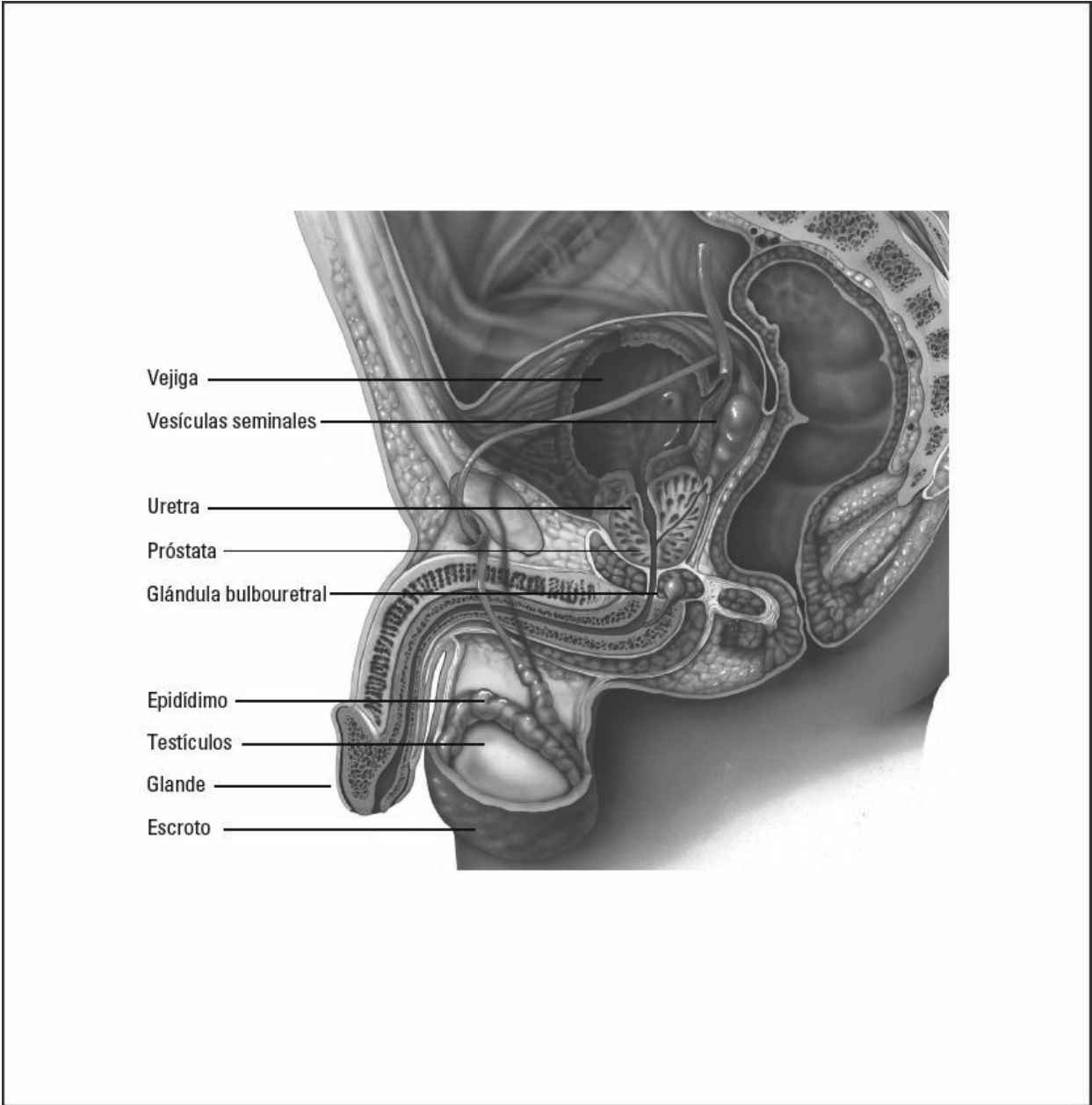
## Una mirada al aparato urinario



## Estructura de la nefrona

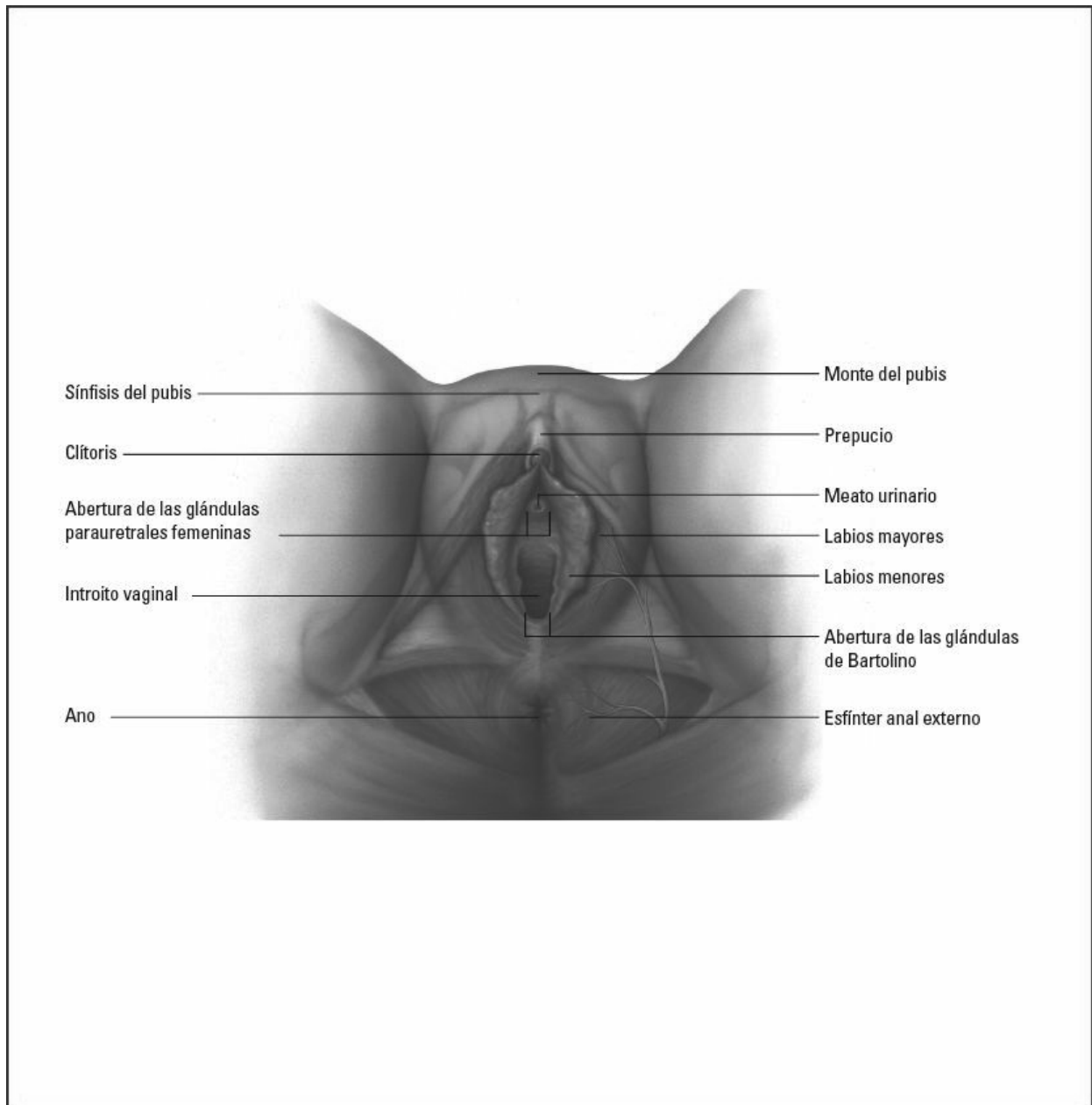


## Estructuras del aparato reproductor masculino

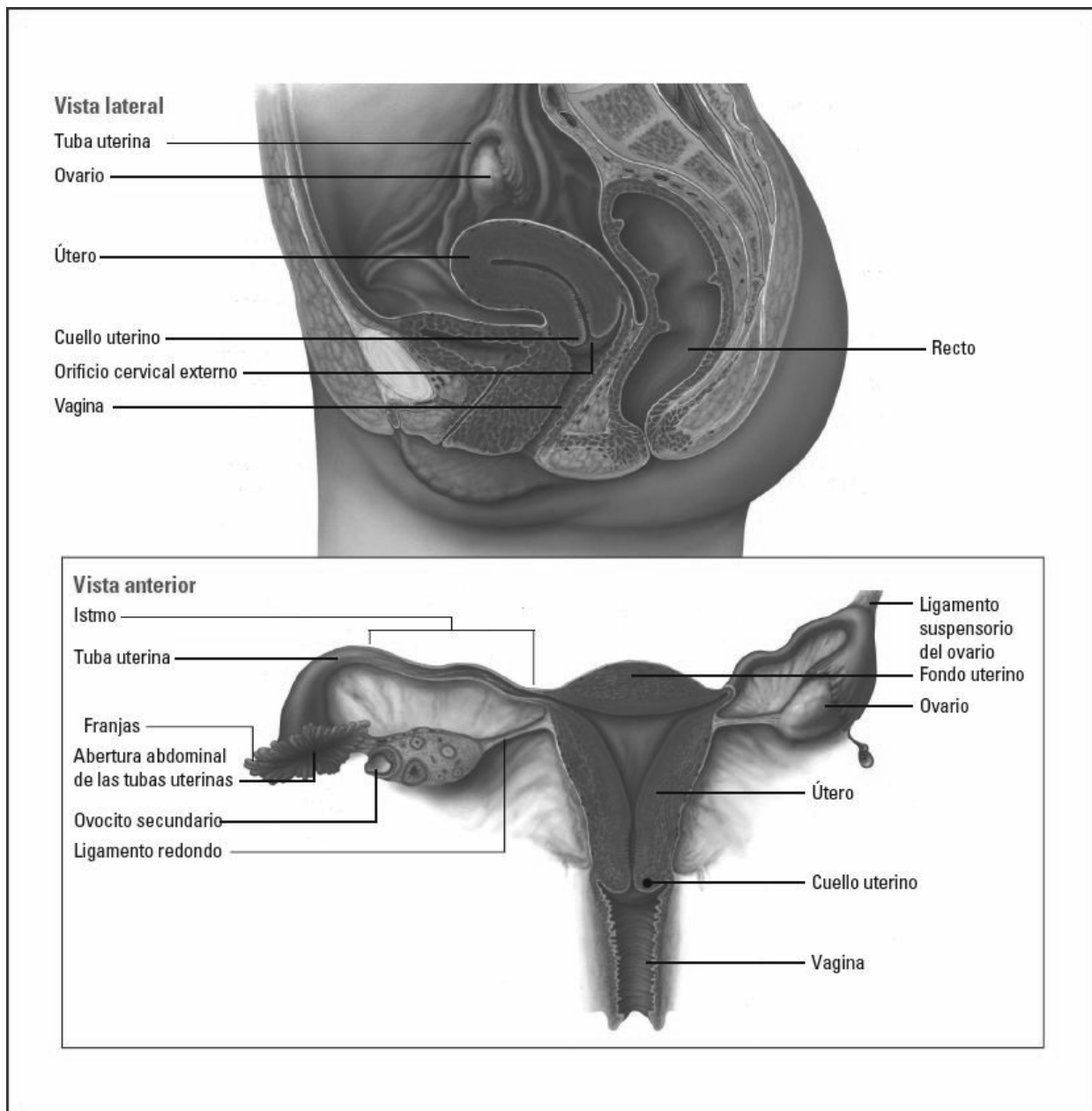


# Genitales externos femeninos

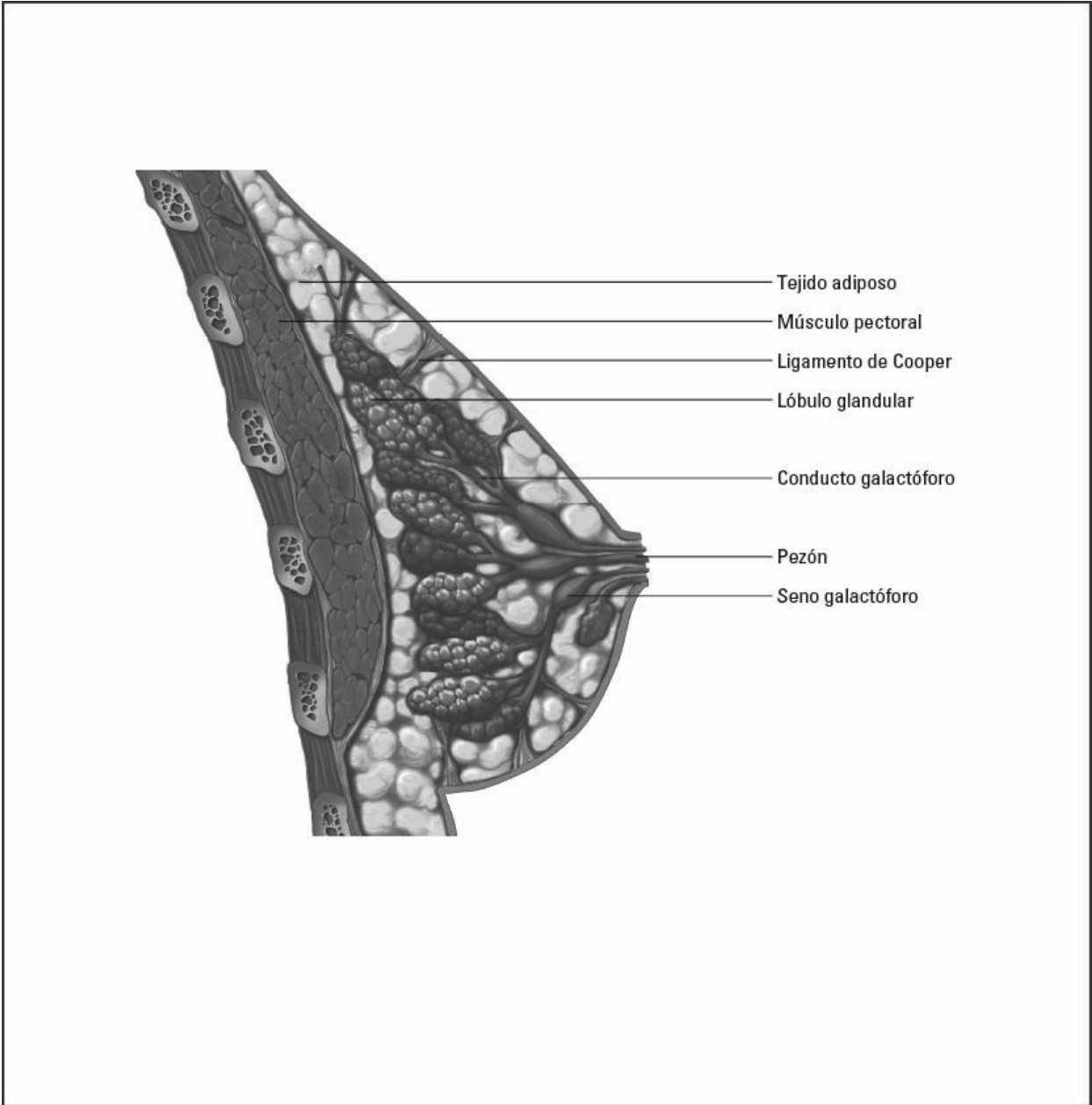




## Estructuras del aparato reproductor femenino



## Mama femenina



# Índice alfabético de materias

*Nota:* los números de página seguidos por una *c* se refieren a cuadros; los que vienen seguidos por *f* se refieren a figuras.

## A

- Acelerador de la conversión de protrombina sérica (factor VII), 149*f*, 150
- Acetil-CoA, 223, 224*f*, 225, 229, 230
- Acetona, 229
- Ácido acetoacético, 229
- Ácido ascórbico, 218*c*
- Ácido clorhídrico, papel del, en la digestión, 205, 207*f*
- Ácido desoxirribonucleico (ADN), 9-11, 11*f*
  - composición de, 45
  - genética y, 25, 26
- Ácido fólico, 218*c*
- Ácido láctico, 226
- Ácido nicotínico, 218*c*
- Ácido pirúvico, 223, 226, 229, 230
- Ácido pteroilglutámico, 218*c*
- Ácido ribonucleico, 9
  - composición de, 45
  - tipos de, 10
- Ácido  $\beta$ -hidroxibutírico, 229
- Ácidos, 43, 254
  - mecanismos, 256-257
- Ácidos nucleicos, 45
- Acidosis, 257
  - metabólica, 261*f*
  - respiratoria, 261*f*
- Acinos, 174, 175*f*
- Adenohipófisis, 111
  - hormonas producidas por, 11
- Adventicia, 198
- Agente tensoactivo (surfactante), 175
- Aglutinación, 151, 152*c*
- Agranulocitos, 142, 143*f*, 146, 147
- Agua
  - funciones de, en el cuerpo, 43
  - peso corporal y, 250, 251*f*
- Alcalosis, 257
  - metabólica, 260*f*
  - respiratoria, 258*f*

Aldosterona, 243-244, 244f  
regulación electrolítica y, 255

Alelos, 28

Alvéolos, 135, 175, 175f

Amígdalas, 156f, 160

Aminas, 118

Aminoácidos, 745, 215-216  
clasificación, 228  
conversión, 227-228  
síntesis, 228-229  
formación, 265, 266

Anabolismo, 213

Andrógenos, 277

Angiotensina I, 243,-244, 145f

Angiotensina II, 243,-244, 145f

Ángulo infraesternal, 177, 178f

Aniones, 254

Año, 192

Anomalías congénitas, 32

Antecedente trombotico del plasma (factor XI), 149f, 150

Anticuerpos, 151, 152c, 157, 163, 164

Antígenos, 150-151, 152c, 158, 162-164, 163f, 165f, 166, 167f

Antitoxinas, 164

Aorta, 134f, 135

Aparato digestivo, 191,-210  
cambios relacionados con la edad en, 210  
estructuras del, 192f

Aparato genital, 271-292  
cambios relacionados con la edad en, 279-282, 280f, 282f, 284-286  
femenino, 271-292  
masculino, 272-277, 272f

Aparato genital femenino, 279-282, 280f, 282f, 284-286  
cambios relacionados con la edad en, 291  
ciclo menstrual y, 288, 289f, 290  
genitales externos, 279-282, 280f  
genitales internos, 281, 282f, 283-286  
glándulas mamarias y, 286, 287f

Aparato genital masculino, 272, 277  
cambios relacionados con la edad en, 279  
control hormonal, 277  
desarrollo sexual y, 277-278  
espermatogénesis y, 276  
estructuras, 272-277, 272f

Aparato lagrimal, 97, 98f

Aparato urinario, 233-245  
cambios relacionados con la edad en, 239  
estructuras, 233-237, 236f, 238f, 240  
hormonas y, 242-245, 244f, 245f

Apéndice, 156f, 160

Aracnoides, 91

Arco reflejo, 77, 79f

Área de perfusión, 135

ARN de transferencia, 10

ARN mensajero, 10

ARN ribosómico, 10

Arteria hepática, 200, 201  
Arteria renal, 236*f*  
Arteria subclavia, 134*f*, 135  
Arterias carótidas, 134, 135  
Arterias coronarias, 136, 137*f*  
Arterias pulmonares, 127*f*, 128, 131, 131*f*, 132  
Arterias, 132, 134*f*  
Arteriolas, 132  
Articulaciones, 71-73  
    cartilagosas, 71  
    clasificación estructural, 71-72  
    clasificación funcional, 71  
    fibrosas, 71  
    sinoviales, 71-72  
    subdivisiones, 72-73  
Asa de Henle, 237, 238*f*  
Átomo, 36  
    estructura del, 36-37, 39-40  
Atrios, 127-128, 127*f*  
Automatismo, 129  
Axones, 75, 76*f*, 78*f*

## **B**

Bases, 43, 256  
Basófilos, 142*f*-143*f*, 146, 147*f*, 162, 163*f*  
Bazo, 156*f*, 159-160  
Bicarbonato,  
    factores que afectan la producción de, 266  
    mecanismo de regulación, 256  
    reabsorción, 265  
    riñones y producción de, 264-265  
Bilis, 201  
    conductos biliares, 192*f*, 201, 201*f*, 204*f*  
    función, 202  
    sales biliares, 201, 202  
Blastocisto, 299*f*  
Boca, 106, 193, 194*f*  
Bolsas sinoviales, 73  
Bomba de sodio y potasio, 18*f*  
    como método de transporte activo, 252  
Borramiento y dilatación del cuello uterino, 309, 310*f*  
Bronquiolos, 173*f*, 174, 175*f*  
Bronquios, 173*f*, 174-175, 175*f*  
    principales, 173*f*, 174  
Bucofaringe, 172, 173*f*

## **C**

Cabello, 52  
    cambios relacionados con la edad en, 53  
Caja torácica, 177  
    anterior, 177, 178  
    estructuras pulmonares, 178*f*  
    posterior, 177, 178  
Calciferol, 219*c*

Calcio, 219c  
  mecanismos de regulación, 256  
Calcitonina, 111, 113  
Cámara anterior del ojo, 98, 99f  
Cámara posterior del ojo, 99, 100  
Capa muscular, 197-198, 199f  
Capilares, 132, 136  
  peritubulares, 238f, 242f  
Cápsula de Bowman, 236, 241f  
Cardias, 194  
Carina, 173f, 174  
Cartílago, 70  
Cascada del complemento, 166  
Catabolismo, 213  
Catabolismo de glucosa,  
  ácido láctico y, 255, 257  
  energía a partir de, 223, 224f, 225, 227f  
Cationes, 254  
Cavidad abdominal, 4  
  y pélvica, 3f, 4  
Cavidad bucal, 193, 194f  
Cavidad craneal, 3, 3f  
Cavidad dorsal, 3, 3f  
Cavidad nasal, 106, 172, 173f  
Cavidad pericárdica, 126  
Cavidad torácica, 3f, 4, 176-178, 178f  
Cavidad ventral, 3f, 4  
Cavidades articulares, 4  
Cavidades corporales, 3-4  
  ubicación de, 3f  
Cavidades pleurales, 3f, 4, 176  
Célula, 6  
  estructura, 6-9, 7f  
  movimientos dentro de, 15-19, 16f, 18f  
  producción de energía y, 15-19, 16f, 18f  
  reproducción, 11-12, 13f, 14  
Células acinares, 115, 116  
Células de Kupffer (célula fagocítica de forma estrellada), 200, 201f  
Células de Langerhans, 47  
Células de Leydig, 278  
Células de los islotes pancreáticos, 116, 204  
Células del sistema de conducción (marcapasos), 129  
Células diana, 120, 120f  
Células G, 196f  
Células gliales, 77  
Células madre multipotentes, 141, 142f-143f  
Células madre unipotentes, 141, 142f-143f  
Células musculares, regulación de la glucemia y, 226  
Células principales, 207f  
Células S, 196f  
Células secretoras, 120  
Células T. Véase Linfocitos T,  
Células yuxtaglomerulares, 245f  
Cerebelo, 80-81, 82f  
Cerebro, 80-82

Cetoácidos, 227, 228  
 Cetona, 214  
 Choque de la punta, 125  
 Cianocobalamina, 218c  
 Ciclo cardíaco, 130-132, 131f  
 Ciclo de Krebs. *Véase* Ciclo del ácido cítrico,  
 Ciclo del ácido cítrico, 223, 224f, 225  
 Ciclo menstrual, 284, 288, 289f, 290  
     lactancia y, 312  
 Ciego, 196  
 Cigoto, 296f, 297, 298, 299f  
 Cinc, 220c  
 Circulación, 135-138, 137f  
 Circulación coronaria, 136-138, 137f  
 Circulación fetoplacentaria, 306  
 Circulación placentaria, 306  
 Circulación pulmonar, 135  
 Circulación sistémica, 135-136  
 Citocinas, 166  
 Citoplasma, 6-8, 7f  
 Clítoris, 280f, 281  
 Cloruro, 219c  
     mecanismos de regulación de, 256  
 Coagulación sanguínea, 148, 149f, 150  
 Coágulo de fibrina, 148, 149f  
 Coanas, 172, 173  
 Cóclea, 102f, 104  
 Colecistocinina, 203c, 208  
 Colon ascendente, 196  
 Colon descendente, 197  
 Colon sigmoideo, 192f, 197  
 Colon transverso, 192f, 196-197  
 Comisura (frenillo) posterior de los labios menores, 281  
 Compatibilidad de grupo sanguíneo, 151, 152c  
 Complejo antígeno-anticuerpo, 164  
 Complejo de ataque a membrana, 166  
 Complemento, 164  
 Componente trombotástico del plasma (factor IX), 149f, 151  
 Compuestos,  
     inorgánicos, 42-43  
     orgánicos, 43-45  
     vs. átomos, 37f  
 Conductividad, 130  
 Conducto alveolar, 175, 175f  
 Conducto auditivo externo, 102f, 103  
 Conducto deferente, 274, 275, 276  
 Conducto eyaculador, 274, 275  
 Conducto inguinal, 274, 275  
 Conducto pancreático, 204-205, 204f  
 Conducto vertebral, 3, 3f  
 Conductos galactóforos, 286, 287f  
 Conductos hepáticos, 201, 201f, 204f  
 Conductos nasales, 172, 173  
 Conductos semicirculares, 102f, 104  
 Conformación corporal, 36, 38f



Conjuntivas, 97, 99f  
 Contracción atrial, 131f  
 Contracción ventricular isovolumétrica, 131f  
 Contractilidad, 132, 133f  
 Corazón,  
     anatomía de, 125, 127f  
     aporte sanguíneo a, 127f, 128, 136, 137f, 138  
     estructuras de, 126-129  
 Cordón espermático, 274  
 Cordon umbilical, 305, 305f  
 Corion, 303, 304f  
 Córnea, 97, 99f  
 Cornetes, 172, 173f  
 Coroides, 99f, 100  
 Corona, 273  
 Corteza cerebral, 80  
 Corteza renal, 234, 238f  
 Corteza suprarrenal, 114  
 Cortisol, 307  
     liberación de, 118  
 Costillas, 177, 178f  
 Criptas de Lieberkühn, 209f  
 Criptas intestinales, 195  
 Cristalino (lente), 98, 99f  
 Cromosomas, 9, 25-26  
     defectos en, 32-33  
     disyunción y no disyunción y, 32f, 33  
 Cuello uterino, 282f, 284  
 Cuerdas tendinosas, 127f, 129  
 Cuerpo cavernoso, 273  
 Cuerpo ciliar, 99f, 100  
 Cuerpo del útero, 283  
 Cuerpo esponjoso, 273  
 Cuerpo gástrico, 194  
 Cuerpo lúteo, 302, 306

## D

Dartos, 274  
 Decidua, 303-304  
 Defectos genéticos, 29-33  
 Defensas del hospedero, 162, 163f  
 Deglución, mecánica de, 205, 206f  
 Dendritas, 76f, 77, 78f  
 Dermatomas, 48, 92  
 Dermis, 48, 50, 50f, 51-52  
 Desaminación, 227-228  
 Desarrollo embrionario, 298, 300f, 301f  
 Desarrollo fetal, etapas, 298, 299f, 300f, 301-302, 301f, 304f  
 Desarrollo preembrionario, 298, 299f  
 Diafragma, 179, 180f, 182f  
 Diapédesis, 145  
 Diástole, 132  
 Diencéfalo, 81  
 Dientes, 193, 194f

Difusión, 16-17, 16*f*, 183, 185-187  
Digestión  
  de hidratos de carbono, 221  
  de lípidos, 222  
  de proteínas, 221  
  fase cefálica, 205  
  fase gástrica, 205  
  fase intestinal, 206, 208, 209*f*, 210  
Disacáridos, 44, 215  
Disco óptico, 99*f*, 100  
Diuresis, promedio diario, 242  
Doble hélice, ácido desoxirribonucleico y, 11, 11*f*  
Duodeno, 192*f*, 195, 196*f*, 204*f*  
Duramadre, 91

## E

Eicosanoides, 44  
Eje hipófiso-glandular, 121  
Eje hipotálamo-hipófiso-glandular, 121  
Electrólitos, 6, 254-256  
  composición, en líquidos corporales, 254, 256  
  en compuestos inorgánicos, 42, 43  
  mecanismos de regulación, 255-256, 255*f*  
Electrones, 39-40  
Elementos, 36, 37*f*  
Embarazo, 297-298, 299*f*, 300*f*, 301-306, 301*f*, 304*f*, 305*f*  
Embrión, 298, 300*f*, 301*f*  
Encéfalo, 80-85  
  aporte sanguíneo, 84, 85*f*  
  estructuras, 80-81, 82*f*, 83-84, 83*f*  
  estructuras protectoras, 91-92  
Endocardio, 126  
Endocitosis, 17-18, 113*f*  
Endometrio, 283  
Endotelio, 19  
Energía, 36  
Enfermedades por inmunocomplejos, 168  
Enlaces químicos, 40, 41*f*  
Enzima convertidora de angiotensina, 243  
Eosinófilos, 142*f*-143*f*, 145, 147*f*, 162, 163*f*  
Epicardio, 126  
Epidermis, 47, 50, 50*f*, 51  
Epidídimo, 272*f*, 274, 275  
Epigastrio, 4  
Epiglotis, 193, 194*f*  
Epitelio glandular, 21  
Equilibrio acidobásico, 188, 256-257  
  amortiguadores y, 262  
  trastornos, 258*f*-261*f*  
Equilibrio hídrico,  
  hormona antidiurética y, 244, 244*f*  
  regulación osmótica, 255  
Eritrocitos, 142*f*-143*f*, 144  
Eritropoyetina, 245

Esclerótica, 97, 98*f*, 99*f*, 100  
Escroto, 272*f*, 273-274  
Esófago, 192*f*, 193, 194*f*  
Espacio pericárdico, 126  
Espacio subaracnoideo, 92  
Espacio subdural, 92  
Espermatogénesis, 276  
Espermatozoides, 276  
    fertilización y, 295, 296*f*, 297  
    temperatura como factor en el desarrollo de, 274  
Espiración, 179, 180*f*, 182*f*  
    activa, 181, 182*f*  
Esternón, 177, 178*f*  
Esteroides, 44, 117-118, 217  
Estimulación parasimpática del tubo digestivo, 198, 200  
Estimulación simpática del tubo digestivo, 200  
Estómago, 192*f*, 193-195, 196*f*  
    funciones, 195  
    vaciamiento, 208  
Estribo, 102*f*, 103, 104  
Estrógeno, 285, 288*f*, 306  
Excavación del disco, 99*f*, 100  
Excreción como función de la piel, 48, 50  
Eyección ventricular, 131*f*

## F

Factor antihemofílico, 149*f*, 150  
Factor de Hageman (factor XII), 149*f*, 150  
Factor de Stuart (factor X), 149*f*, 150  
Factor de Stuart-Prower (factor X), 149*f*, 150  
Factor estabilizador de la fibrina, 149*f*, 150  
Factor estable (factor VII), 149*f*, 150  
Factor lábil (factor V), 149*f*, 150  
Factor tisular, 149*f*, 150  
Factores de coagulación, 148, 149*f*, 150  
Fagocitos, 146, 147  
Fagocitosis, 18, 162, 163*f*, 164, 165*f*  
Faringe, 193, 194*f*  
Fascículo atrioventricular (haz de His), 129*f*, 130  
Fenómenos de superficie, 161  
Fertilización, 295, 296*f*, 297  
Feto, 301-302, 301*f*  
Fibras de Purkinje, 129*f*, 130  
Fibrinógeno, 148, 149*f*  
Filtración, 18, 19  
Filtración glomerular, producción de orina y, 242*f*  
Flexión plantar, 88  
Flexura esplénica, 197  
Flujo de aire, factores que afectan la distribución del, 183, 184  
    patrones, 184*f*  
Flujo de transición, 184*f*  
Flujo laminar, 184*f*  
Flujo turbulento, 184*f*  
Flúor, 220*c*

Fluoruro, 220c  
Folacina, 218c  
Fondo,  
    del útero, 284  
    gástrico, 194  
Formación de cuerpos cetónicos, 229-230  
Fosas nasales. *Véase también* Narinas; Nariz106  
Fosfolípidos, 44, 216  
Fósforo, 219c  
Fosfato, mecanismos de regulación, 256  
Fóvea central, 99f, 101

## G

Gasto cardíaco, 132  
Gastrina, 196f, 203c, 205, 207f, 208  
Genes, 26-29  
Genética, 25-33  
Genoma, 27  
Genotipo, 26  
Gestación, 297-298  
Glande, 272f, 273  
Glándula(s), 109-117  
Glándula mamaria, 286, 287f  
Glándula pineal, 110f, 116  
Glándula sublingual, 193  
Glándula submandibular, 193  
Glándula tiroides, 110f, 111, 113, 113f  
Glándulas apocrinas, 55  
Glándulas bulbouretrales, 272f, 275  
Glándulas de Bartolino, 280f, 281  
Glándulas de Brunner, 195, 209f  
Glándulas de Cowper, 275  
Glándulas del cardias, 207f  
Glándulas ecrinas, 50f, 55  
Glándulas endocrinas, 21  
Glándulas exocrinas, 21  
Glándulas gástricas, 205, 207f  
Glándulas paratiroides, 110f, 114, 193  
Glándulas parauretrales femeninas, 280f, 281  
Glándulas pilóricas, 196f, 207f  
Glándulas salivares, 193  
Glándulas sebáceas, 50f, 54  
Glándulas sudoríparas, 50f, 54-55  
Glándulas suprarrenales, 110f, 114  
    riñones y, 234, 236f  
Glicerol, 216  
Globulina antihemofílica, 149f, 151  
Glóbulos blancos, 144-146, 147f. *Véase* Leucocitos  
Glóbulos rojos, 143f, 144. *Véase* Eritrocitos  
Glucagón, 116, 204  
Glucemia, regulación de,  
    por células musculares, 226  
    por el hígado, 225-226  
    por hormonas, 226, 227f

Glucógeno, 215, 226  
Glucólisis, 223, 224*f*  
Glucoproteínas, 215  
Gónadas, 110*f*, 116-117  
Gondotropina coriónica humana, 302  
Granulocitos, 142, 143*f*, 144-146, 147*f*  
Grupos ABO, 150-151  
Grupos sanguíneos, 150-151, 152*c*

## H

Hematopoyesis, 141, 142*f*-143*f*, 157  
Hemoglobina, 144  
Hemostasia 148  
Hepatocitos, 200, 201*f*  
Herencia autosómica, 28  
    dominante, 30-31  
    recesiva, 30  
Herencia ligada al sexo, 28-29  
Herencia multifactorial, 29  
Hidratos de carbono, 43-44, 214-215  
    digestión y absorción, 221  
    metabolismo, 223, 224*f*, 225-226, 227*f*  
Hidrólisis, 220  
Hierro, 220*c*  
Hígado, 192*f*, 200-202  
    conductos en, 201, 201*f*  
    flujo sanguíneo a través de, 200, 201*f*  
    funciones, 202  
    glucemia, regulación y, 225-226  
    lobulillos, 200, 201*f*  
    lóbulos, 200  
Hilio, 173, 174  
Hiperventilación, 188  
    disminución del pH sanguíneo e, 264*f*  
Hipocapnia, 258*f*  
Hipocondrio, 5  
Hipófisis, 111  
    hipotálamo y, 112*f*  
Hipogastrio, 5  
Hipotálamo, 83  
    efecto de, en el sistema endocrino, 119*f*, 122  
Hipoventilación, 188  
Histamina, 146  
Histiocitos, 146  
Homeostasis, 43, 249, 252  
Hormona foliculoestimulante (folitropina),  
    ciclo menstrual y, 288, 289*f*, 290  
    sexualidad masculina y, 277  
Hormona luteinizante (lutropina),  
    ciclo menstrual y, 288, 289*f*, 290  
    embarazo y, 302  
    sexualidad masculina y, 277  
Hormona luteoestimulante. *Véase* Hormona luteinizante  
Hormona paratiroidea (PTH),

como regulador de calcio, 114  
secreción, 118, 119*f*  
Hormonas, 117-118  
aparato digestivo y, 203*c*  
aparato genital femenino y, 285, 288, 289*f*, 290  
aparato genital masculino y, 277  
clasificación, 117-118  
efectos, 118  
iniciación de lactancia y, 311, 312  
liberación y transporte, 118-122, 119*f* 120*f*,  
regulación, 118, 119*f*, 120, 120*f*  
Huesos, 64-70  
aporte sanguíneo a, 66  
clasificación, 66, 67*f*  
crecimiento y remodelación, 68*f*-69*f*, 70  
del esqueleto apendicular, 64  
del esqueleto axial, 64  
formación, 66  
funciones, 66  
principales, 65*f*  
Humor acuoso, 98, 99*f*  
Humor vítreo, 99*f*, 100

## I

Íleon, 192*f*, 195  
Incisura supraesternal, 177, 178*f*  
Inflamación, 162, 163*f*  
Inmunidad, 160-167, 163*f*, 165*f*, 167*f*  
celular, 166, 167*f*  
humoral, 163-164, 167*f*  
Inmunodeficiencia, 169  
Inmunoglobulinas, 158, 163-164  
Inspiración, 179, 180*f*, 182*f*  
forzada, 181  
Insulina, 116  
efecto de, en la glucemia, 226, 227*f*  
secreción, 118, 204  
Intercambio gaseoso, 175, 181, 183-187, 187*f*  
Intercambio por contracorriente, equilibrio hídrico y, 253  
Intestino delgado, 192*f*, 195-196  
digestión y absorción en, 208, 209*f*  
estructuras, 195  
funciones, 195-196  
pared de, 195  
Intestino grueso, 192*f*, 196-197  
acción bacteriana en, 210  
eliminación y, 208, 210  
papel de, en la absorción, 208  
Introito vaginal, 281  
Ion hidrógeno, concentración, 256, 257  
Iones, 254  
Iris, 97-98, 98*f*, 99*f*  
Isótopo, 39

## L

- Labios, 193, 194*f*
- Labios mayores, 280, 280*f*
- Labios menores, 280*f*, 281
- Lactancia, 311-312
  - ciclo menstrual y, 312
- Lactógeno placentario humano, 306
- Lactosa, 215
- Laringe, 172, 173*f*
- Laringofaringe, 172, 173*f*
- Leche materna, composición, 312
- Lengua, 193, 194*f*
- Leucocitos, 143*f*, 144
- Leucotrienos, 44
- Ley de Starling, 133*f*
- Ligamentos, 64
- Ligamentos de Cooper, 291*f*
- Linfa, 158
- Linfocinas, 166, 167*f*
- Linfocitos, 143*f*, 146, 147*f*, 157
- Linfocitos B, 146, 157
- Linfocitos citolíticos naturales (células NK), 146, 157
- Linfocitos polimorfonucleares, 144, 162, 163*f*, 165
- Linfocitos T, 146, 157
  - tipos de, 157
- Lípidos, 44, 216-217
  - digestión y absorción, 222
  - metabolismo, 229-230
  - oxidación de, y cuerpos cetónicos, 256
- Lipoproteínas, 44, 215
- Líquido(s),
  - formas de, 250-252
  - movimiento de, dentro de las células, 252-253
  - pérdida y ganancia, 250*f*, 253
  - peso, 251*f*
  - tipos, 249-250
- Líquido amniótico, 303, 304
- Líquido cefalorraquídeo, 91-92
- Líquido extracelular, 249-250
  - composición electrolítica, 254, 254*c*
- Líquido intersticial, 249, 251*f*
- Líquido intracelular, 249, 250, 251*f*
- Líquido intravascular, 249, 251*f*
- Líquido pericárdico, 126
- Lisosomas, 8
- Llenado ventricular, 131*f*
- Loquios, tipos, 311

## M

- Macrófagos, 146
  - fagocitosis y, 165*f*
- Mácula, 99*f*, 101
- Magnesio, 219*c*
  - mecanismos de regulación, 256

Maltosa, 215  
Mamas, 286, 287*f*  
Manubrio, 177, 178*f*  
Martillo, 102, 103  
Mastocito, 162, 163*f*  
Materia, 35  
Meato urinario, 241, 273, 281  
Mediastino, 3*f*, 4, 125, 176-177  
Médula espinal, 86-92  
    anatomía, 86, 87*f*  
    estructuras protectoras, 91-92  
    reflejos y, 88-91  
    vías motoras, 87-88, 89*f*  
    vías sensitivas, 86, 89*f*  
Médula ósea, 156-157, 156*f*  
Médula renal, 234, 238*f*  
Médula suprarrenal, 114  
Meiosis, 11, 12, 14  
Melanocitos, 48, 50*f*  
Melatonina, 116  
Membrana celular, 7*f*, 9  
Membrana timpánica, 102*f*, 103  
Menadiona, 219*c*  
Menarquia, 291  
Menopausia, 291-292  
Metabolismo, 213  
Microvellosidades, 195, 199*f*, 209*f*  
Minerales, 214, 217, 219-220*c*  
Miocardio, 126, 127*f*  
Miométrio, 284  
Mitosis, 12, 13*f*  
Monocitos, 143*f*, 146, 147*f*  
Monosacáridos, 44, 214  
Monosomía, 33  
Monte del pubis (de Venus), 280, 281*f*  
Movimiento,  
    tipos, 62, 63*f*  
    voluntario, 57  
Mucosa, 197, 199*f*  
Músculo(s), 58-64  
    crecimiento, 51-62  
    del esqueleto apendicular, 64  
    del esqueleto axial, 62  
    esqueléticos mayores, 59*f*  
    estructura, 58, 60-61, 60*f*  
    funciones, 58  
    movimientos, 62, 63*f*  
    tipos, 58  
    unión de, 61  
Músculo cremáster, 274,  
Músculo escaleno, 180*f*, 181  
Músculo pectoral, 180*f*, 181  
Músculo recto del abdomen, 180*f*, 181  
Músculo trapecio, 180*f*, 181  
Músculos extraoculares, 96



Músculos intercostales externos, 179, 180*f*, 182*f*  
Músculos intercostales internos, 180*f*, 181  
Mutación, 30

## N

Narinas, 172, 173*f*. *Véase también* Fosas nasales; Nariz  
Nasofaringe, 172, 174  
Nefrona, 235, 237, 238*f*  
    funciones, 235  
Nervios craneales, 92, 93*f*  
Nervios espinales, 92, 94*f*  
Neuroglía, 77  
Neurohipófisis, 111  
Neurona, 75-77, 76*f*, 78*f*, 79*f*  
Neuronas fotorreceptoras, 101  
Neurotransmisión, 77, 78*f*  
Neutrófilos, 142*f*-143*f*, 145, 147*f*, 162, 163*f*  
Neutrones, 39  
Niacina, 218*c*  
Niacinamida, 218*c*  
Nicotinamida, 218*c*  
Nodo sinusal (SA), 129*f*, 130  
Nódulo atrioventricular (AV), 129*f*, 130  
Nódulos linfáticos, 156*f*, 158-159, 159*f*  
Núcleo,  
    de la célula, 7*f*, 9  
    del átomo, 36  
Número de masa atómica, 39  
Nutrición, 213-217, 218-220*c*

## O

Oído, 102-105  
    externo, 102-103, 102*f*  
    interno, 102*f*, 104  
    medio, 102*f*, 103-104  
    vías auditivas, 104-105, 105*f*  
Ojo,  
    estructuras extraoculares, 96-97  
    estructuras intraoculares, 97, 99*f*  
    segmento anterior, 97-98, 100  
    segmento posterior, 100-101  
    vía visual y, 101  
Opsonización, 164, 165*f*  
Orejuelas, 102*f*, 103  
Ósmosis, 17, 242*f*  
    movimiento de solutos y, 253  
Osteogénesis, 68*f*-69*f*  
Ovarios, cambios estructurales en, durante el embarazo, 302-306, 304*f*  
Ovulación, 288

## P

Paladar, 193, 194*f*  
Páncreas, 110*f*, 115, 116, 192*f*, 203-205, 204*f*

función endocrina, 203-204  
 función exocrina, 203  
 Papel de, en el control del pH sanguíneo, 262-263, 264*f*  
 Papilas gustativas, 106  
 Parénquima renal, 236*f*  
 Párpados, 96  
 Parto,  
   etapas de, 309, 310*f*  
   inicio de, 307  
 Pelvis renal, 234, 236*f*  
 Pene, 272, 273  
 Péptido inhibidor gástrico, 203*c*, 208  
 Percepción sensitiva como función de la piel, 48  
 Perfusión pulmonar, 183-185  
   concordancia de, con la ventilación, 185  
   discordancia de, con la ventilación, 186*f*  
 Pericardio, 126  
 Perineo, 281  
 Peristaltismo, 193, 197-198, 200, 205, 206, 206*f*, 236*f*  
 Peritoneo, 198, 199*f*  
   parietal, 198  
   visceral, 198, 199  
 Peso atómico, 39  
 pH, 257  
   regulación, 262  
 Piamadre, 91  
 Piel,  
   cambios relacionados con la edad en, 53  
   capas, 50-52, 50*f*  
   como mecanismo de defensa primario, 47  
   como órgano excretor, 48  
   funciones, 47-48, 49*f*, 50  
   percepción sensitiva y, 48  
   regulación de la temperatura corporal y, 48, 49*f*  
 Píloro, 194  
 Pinocitosis,  
 Pirámides renales, 236  
 Piridoxina, 218*c*  
 Placas de Peyer, 156*f*, 160, 195  
 Placenta, 305-306, 305*f*  
 Planos anatómicos, 2, 2*f*  
 Plaquetas, 143*f*, 147  
 Pleura, 176  
 Plexo de Auerbach, 198  
 Plexo de Meissner, 197, 199  
 Plexo mientérico, 198  
 Plexo submucoso, 197, 198  
 Polihidroxi, 214  
 Polipéptidos, 117  
 Polisacáridos, 44, 215  
 Poscarga, 132, 133*f*  
 Posparto, 311,  
 Potasio, 220*et*  
 Precarga, 132, 133*f*  
 Predominio de rasgos hereditarios, 27-28

Prepucio, 280*f*, 281  
Presentación fetal, tipos, 308*f*  
Presión atmosférica, ventilación y, 182*f*  
Presión intrapleurales, ventilación y, 182*f*,  
Presión intrapulmonar, ventilación y, 182*f*, 183  
Proacelerina (factor V), 149*f*, 150  
Proceso (apófisis) mastoides, 102  
Proceso (apófisis) xifoides, 177, 178*f*  
Proconvertina (factor VII), 149*f*, 151  
Producción de orina y, 241-242, 242*f*-243*f*  
Progesterona, 285, 288, 289*f*  
    embarazo y, 302  
Prolactina, 303  
    secreción de, 118, 119*f*  
Prostaglandinas, 44, 303  
Protección como función de la piel, 47-48  
Proteínas, 45, 215-216  
    catabolismo de, y producción de ácido, 256  
    digestión y absorción, 256  
    metabolismo, 227-229  
Protones, 36-37  
Protrombina, 148, 149*f*  
Pubertad, inicio de, en hombres, 278  
Pulmones, 173*f*, 174, 176  
Pulpa esplénica, 160  
Pupila, 97-98, 98*f*, 99*f*

## Q

Quiasma óptico, 101  
Quilomicrones, 222  
Química, principios, 35  
Quimo, 195, 206

## R

Ramas del fascículo atrioventricular (haz de His), 129*f*  
Reabsorción tubular, producción de orina y, 242*f*  
Reacciones anafilácticas, 168  
Reacciones citotóxicas, 168  
Reacciones químicas, 40  
    tipos, 40, 42*f*  
Reacciones retardadas de hipersensibilidad, 168  
Receptores olfatorios, 106  
Recto, 192*f*, 197  
Reflejo aquileo (aquiliano), 88, 90*f*  
Reflejo bicipital, 88, 90*f*  
Reflejo braquiorradial, 88, 90*f*  
Reflejo cremastérico, 89  
Reflejo de Babinski, 89  
Reflejo de defecación, 210  
Reflejo enterogástrico, 208  
Reflejo miccional, 241  
Reflejo patelar, 88, 90*f*  
Reflejos abdominales, 90  
Reflejos primitivos, 91

Reflejos superficiales, 88  
 Reflejos tendinosos (miotáticos) profundos, 88  
     provocación, 90*f*  
 Región corporal, 4-5, 5*f*  
 Región lumbar, 5  
 Región umbilical, 4  
 Regiones abdominales, 4-4, 5*f*  
 Regiones ilíacas, 5  
 Regla de Nägele, 298  
 Regulación de la temperatura corporal, como función de la piel, 48, 49*f*  
 Regulación del sistema nervioso, 122  
 Regulación química, 121  
 Relajación isovolumétrica, 131*f*  
 Relaxina, 303  
 Relfejo tricípital, 88, 90*f*  
 Renina, 243, 245  
 Respiración,  
     externa (ventilación), 181, 182*f*, 183-188  
     interna, 181, 185-187  
     mecánica, 179, 180*f*  
     músculos, 179, 180*f*  
     papel de, en el control del pH, 263, 264*f*  
 Respuesta humoral, 164  
 Reticulocitos, 144  
 Retina, 99*f*, 100-101  
 Retroalimentación, regulación hormonal y, 118, 119*f*  
 Riboflavina, 218*c*  
 Riñones, 234-239  
     aporte sanguíneo a, 236*f*  
     funciones de, 235  
     glándulas suprarrenales y, 235, 236*f*  
     papel de, en la regulación de bicarbonato, 263-266  
     producción de orina y, 241-242, 242*f*-243*f*  
     protección, 234-235  
     regiones, 234, 236*f*  
     regulación electrolítica y, 255-256

## S

Sacarosa, 215  
 Saco amniótico, 303, 304  
 Saco vitelino, 304-305, 304*f*  
 Sacos alveolares, 175, 175*f*  
 Sales, 43  
 Sales de fosfato, formación de, 265-266  
 Sangre, componentes de, 144-147, 147*f*  
 Secreción de oxitocina, 307  
 Secreción tubular, producción de orina y, 242*f*  
 Secretina, 50*f*, 54  
 Sed, equilibrio hídrico y, 253  
 Selenio, 220*c*  
 Semen, 275  
 Seno coronario, 137  
 Senos, 172, 173*f*  
 Serosa, 198

Sínfisis del pubis, 240  
 Sinusoides, 200, 201*f*  
 Sistema cardiovascular, 125-138  
     cambios relacionados con la edad en, 138  
 Sistema circulatorio. *Veáse* Sistema cardiovascular  
 Sistema de amortiguación por bicarbonato de sodio y ácido carbónico, 262  
 Sistema de amortiguación por fosfato, 262  
 Sistema de amortiguación por proteínas, 262-263  
 Sistema de conducción, 129-132, 129*f*, 131*f*  
 Sistema de transporte de electrones (cadena respiratoria), catabolismo de glucosa y, 224*f*, 225  
 Sistema del complemento, 164, 166  
 Sistema endocrino, 109-122  
     cambios relacionados con la edad en, 122  
     componentes, 110*f*  
     regulación, 119*f*  
 Sistema extrapiramidal, 88  
 Sistema hemático, 141-154  
     cambios relacionados con la edad en, 145  
 Sistema inmunitario, 155-169  
     alteración, 168-169  
     cambios relacionados con la edad en, 169  
     componentes, 155  
     función, 160-188  
     órganos y tejidos, 155, 156*f*  
 Sistema integumentario (tegumentos), 47-55  
 Sistema límbico, 83, 83*f*  
 Sistema muscular, 57-73  
     cambios relacionados con la edad en, 62  
 Sistema nervioso autónomo, 92-96  
     regulación hormonal y, 122  
 Sistema nervioso central, 80-92  
     regulación hormonal y, 122  
 Sistema nervioso parasimpático, 95-96  
 Sistema nervioso periférico, 92, 96  
 Sistema nervioso simpático, 93, 95  
 Sistema neurosensorial, 75-106  
     cambios relacionados con la edad en, 84  
 Sistema piramidal, 88  
 Sistema renina-angiotensina, 243-244  
 Sistema renina-angiotensina-aldosterona, 245*f*  
 Sistema respiratorio, 171, 188  
     cambios relacionados con la edad en, 179  
 Sistema reticular activador, 84  
 Sistema reticuloendotelial, 146  
 Sistemas de amortiguación, equilibrio acidobásico y, 262  
 Sístole, 131  
     atrial, 131*f*  
 Sodio, 220*c*  
     regulación osmótica de, 255*f*  
 Solución hipertónica, 252  
 Solución hipotónica, 252  
 Solución isotónica, 251  
 Solutos, 251  
     movimiento de, 251-252  
 Somatostatina, 116

Submucosa, 197, 199*f*

## T

Tálamo, 83

Tejido conectivo, 21-22

Tejido epitelial, 19, 21

tipos, 19, 20*f*

Tejido muscular, 22

Tejido nervioso, 22-23

Tejido subcutáneo, 50, 50*f*, 52

Tendones, 64

Teratógenos, 30

Términos anatómicos de dirección, 1

Termorregulación, papel de la piel en, 48, 49*f*

Testículos, 117, 272*f*, 274

Testosterona, 277

Tiamina, 218*c*

Timo, 110*f*, 116, 156*f*, 157

Tipificación del factor Rh, 151

Tiroxina (T<sub>4</sub>), 111, 113*f*

Tocoferol, 219*c*

Transaminación, 228

Transmisión del sonido, 105, 105*f*

Transporte activo, 17, 18*f*, 242

movimiento de solutos y, 252

Transporte pasivo, 16, 16*f*

Tráquea, 173*f*, 174

Traslocación, 33

Trastornos autoinmunitarios, 169

Trastornos autosómicos, 169

Trastornos de hipersensibilidad, 168

Trastornos ligados al sexo, 31

Trastornos multifactoriales, 31-33

Trifosfato de adenosina (ATP),

motilidad de los espermatozoides y, 277

movimiento de solutos y, 252

producción de, 223, 225

producción de energía celular y, 15

Triglicéridos, 44, 216

Trígono, 240

Trisomía, 33

Triyodotironina (T<sub>3</sub>), 111, 113*f*

Trombocitos, 144

Tromboplastina, 149*f*, 150

Trompa auditiva (de Eustaquio), 102*f*, 103

Tronco del encéfalo, 81

Tubas uterinas (trompas uterinas o de Falopio), 282, 284

Tubérculo de Montgomery, 287*f*

Tubo digestivo, 91, 192*f*, 193-198, 194*f*, 196*f*, 199*f*, 200

estructuras de la pared de, 197-198, 199*f*

inervación de, 198, 199*f*, 200

Túbulo contorneado distal, 237, 238*f*, 243*f*

Túbulo contorneado proximal, 237, 238*f*, 242*f*

Túbulos seminíferos, 274

Túnica albugínea, 274

Túnica vaginal, 274

## U

Unidad no funcional, 186*f*

Uñas, 53, 64*f*

Uréteres, 236*f*, 240

Uretra, 240-241, 272*f*, 275

Urobilinógeno, 241

Útero, 282*f*, 283

cambios estructurales en, durante el embarazo, 302-306, 304*f*

## V

Vagina, 280*f*, 281, 282*f*, 283

Vaina de mielina, 75, 76*f*

Valvas atrioventriculares, 127*f*, 128

Válvula aórtica, 127*f*, 128

Válvula bicúspide, 127*f*, 129

Válvula mitral, 127*f*, 128

Válvula pulmonar, 127*f*, 128

Válvula tricúspide, 127*f*, 128, 129

Válvulas conniventes, 195, 199*f*, 204*f*, 209*f*

Válvulas semilunares, 127*f*, 128

Vasopresina (hormona antidiurética), 243, 244*f*

producción de orina y, 242*f*, 243*f*

Vasos linfáticos, 156*f*, 158-159, 159*f*

Vasos sanguíneos, 132-133, 134*f*

Vejiga, 240

Vellosidades, 195, 197, 199*f*, 209*f*

Vena(s), 133, 134*f*

Vena cava inferior, 127*f*

Vena cava superior, 127*f*

Vena porta hepática, 200, 201*f*

Vena renal, 236*f*

Venas cardíacas, 136, 137, 137*f*

Venas pulmonares, 127*f*, 128, 135

Ventana oval del oído, 110*f*, 117, 282*f*, 28

Ventana redonda del oído, 102*f*, 103

Ventilación de espacio muerto fisiológico, 186*f*

Ventilación, 179, 181, 182*f*, 183-184

concordancia de la perfusión con, 185

discordancia de la perfusión con, 186*f*

forzada, 184

involuntaria, 183

mecánica de, 182*f*

Ventrículos, 127*f*, 128, 134*f*

Vénulas, 133

Vesícula biliar, 192*f*, 202, 204*f*

Vesículas seminales, 272*f*, 275

Vestíbulo,

del laberinto óseo, 102*f*, 104

vaginal, 281

Vía intrínseca de la coagulación, 148, 149*f*

Vía visual, 101

Vías auditivas, 104-105, 105*f*  
Vías motoras, 87-88, 89*f*  
Vías neurales sensitivas, 86, 89*f*  
Vías respiratorias superiores, 171-172, 173*f*  
Vías respiratorias inferiores, 173-176, 173*f*  
Vitaminas, 213, 217, 218-219*c*  
    hidrosolubles, 217, 218*c*  
    liposolubles, 217, 219, *t*  
Vitamina A, 219*c*  
Vitamina B<sub>1</sub>, 218*c*  
Vitamina B<sub>12</sub>, 218*c*  
Vitamina B<sub>2</sub>, 218*c*  
Vitamina B<sub>6</sub>, 218*c*  
Vitamina C, 218*c*  
Vitamina D, 219*c*  
    síntesis de, 50  
Vitamina E, 219*c*  
Vitamina K, 219*c*  
Volumen sistólico, 132  
Vulva, 280, 280*f*

## **Y**

Yeyuno, 195, 196*f*, 199*f*  
Yodo, 220*c*  
Yunque, 102*f*, 104

## **Z**

Zona fascicular, 114  
Zona glomerular, 114  
Zona reticular, 114



# Índice

|   |     |
|---|-----|
| Titlepage                                 | 2   |
| Copyright                                 | 3   |
| Dedicatoria                               | 5   |
| Colaboradores                             | 6   |
| Colaboradores de la edición anterior      | 7   |
| Prefacio                                  | 8   |
| Contenido                                 | 10  |
| 1 El cuerpo humano                        | 12  |
| 2 Genética                                | 46  |
| 3 Organización química                    | 60  |
| 4 Sistema integumentario                  | 75  |
| 5 Sistema musculoesquelético              | 88  |
| 6 Sistema neurosensitivo                  | 114 |
| 7 Sistema endocrino                       | 165 |
| 8 Sistema cardiovascular                  | 186 |
| 9 Sistema hemático                        | 209 |
| 10 Sistema inmunitario                    | 225 |
| 11 Aparato respiratorio                   | 250 |
| 12 Aparato digestivo                      | 278 |
| 13 Nutrición y metabolismo                | 307 |
| 14 Aparato urinario                       | 336 |
| 15 Líquidos, electrolitos, ácidos y bases | 357 |
| 16 Aparato reproductor                    | 383 |
| 17 Reproducción y lactancia               | 410 |
| Apéndices e índice                        | 437 |
| La práctica hace al maestro               | 438 |
| Diagramas para estudio                    | 464 |
| Índice alfabético de materias             | 500 |