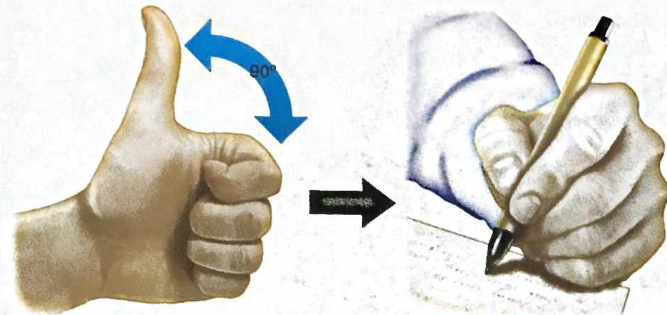
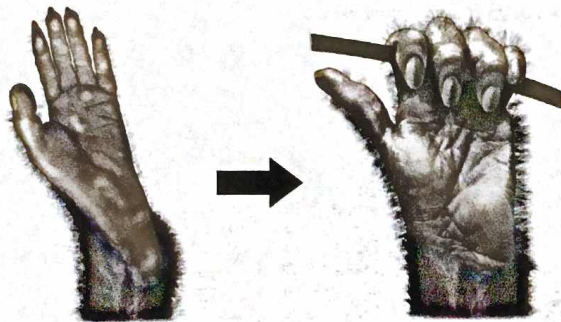


FORMA

FUNCIÓN



A



B

Figura 1-2. Forma y función. A) La mano humana, con el pulgar a 90°, permite un agarre tipo pinza. B) La mano simia, con el pulgar paralelo a los otros dedos, sólo permite un agarre palmar menos preciso (aunque más firme). *Verdadero o falso: la estructura de la mano de los simios se relaciona con su fisiología.*

Examen sorpresa

1-1 ¿Cuál es la diferencia entre anabolismo y catabolismo?

1-2 ¿La disección de un globo ocular se relaciona más directamente con la anatomía o con la fisiología?

Examen sorpresa

1-3 Indique los seis niveles de organización de la vida.

Los bloques estructurales de la vida

La forma y la función pueden estudiarse en pequeña o gran escala. Por ejemplo, podemos estudiar el cuerpo entero realizando un salto mortal o el comportamiento de cada músculo cuando se contrae, o la acción microscópica de las pequeñas fibras musculares en la profundidad de un músculo. Estas distintas escalas de estudio se describen a menudo como *niveles de organización*, los cuales se muestran en la figura 1-3. Un ser humano es un *organismo*: puede funcionar de forma independiente y está compuesto por múltiples partes más pequeñas que constituyen un todo. Del mismo modo, también son organismos los árboles y las bacterias. Cada uno de ellos está compuesto por un conjunto organizado de partes más pequeñas sostenidas por las funciones fisiológicas que dan vida al organismo completo.

Esas funciones fisiológicas las proveen una o más subdivisiones del organismo, la mayor de las cuales son un conjunto de órganos llamado **sistema**, o *sistema orgánico*. Considere una función, como puede ser la digestión. La digestión la realiza una subdivisión llamada *sistema digestivo*, que, como todos los sistemas corporales, está compuesto por una serie de **órganos** que funcionan de manera conjunta para llevar a cabo una función.

Los órganos que componen el sistema digestivo son el esófago, el estómago, el intestino delgado y grueso, el hígado, la vesícula biliar y el páncreas. Los capítulos 4 a 21 describen la forma y la función de los distintos sistemas corporales.

A su vez, los órganos están compuestos por **tejidos**. La observación detallada de un órgano en particular, por ejemplo el intestino delgado, revela que está compuesto por distintos tejidos, entre ellos las capas de tejido muscular que forman su pared tubular y empujan el contenido intestinal a través del tubo. También permite ver una red de *nervios* entrelazados sobre la pared que controlan las contracciones musculares, una capa especializada llamada *epitelio* que secreta moco y absorbe nutrientes, y una capa de *tejido conectivo* que sostiene todo el conjunto.

Cada tejido está formado por **células** específicas, por ejemplo musculares, epiteliales o de tejido conectivo. La célula, unidad estructural de todas las formas de vida, se analiza con detalle en el ➡ capítulo 3.

Las células y sus partes están compuestas por **moléculas**, a su vez formadas por **átomos**. Mientras que las células son los bloques estructurales de la *vida*, los átomos lo son de *todo lo existente*, sea viviente o no. El papel de los átomos y las moléculas en la fisiología se analiza con detalle en el ➡ capítulo 2.

Vida y medio externo

La vida se ha desarrollado durante millones de años en un medio externo que proporciona ciertos elementos esenciales. Si cualquiera de ellos falta, la vida se termina. Pienso en un astronauta flotando en el espacio, vestido con su traje espacial (fig. 1-4). Este traje suministra, o preserva, todos los elementos que normalmente nos ofrece nuestro entorno, como la presión, el oxígeno, el calor, el agua y los nutrientes.

La presión es necesaria para la vida

La *presión* es una fuerza ejercida por un sólido, un gas o un líquido. Aunque todas las presiones son importantes para nuestro funcionamiento, las que provienen de gases y líquidos son las más críticas.

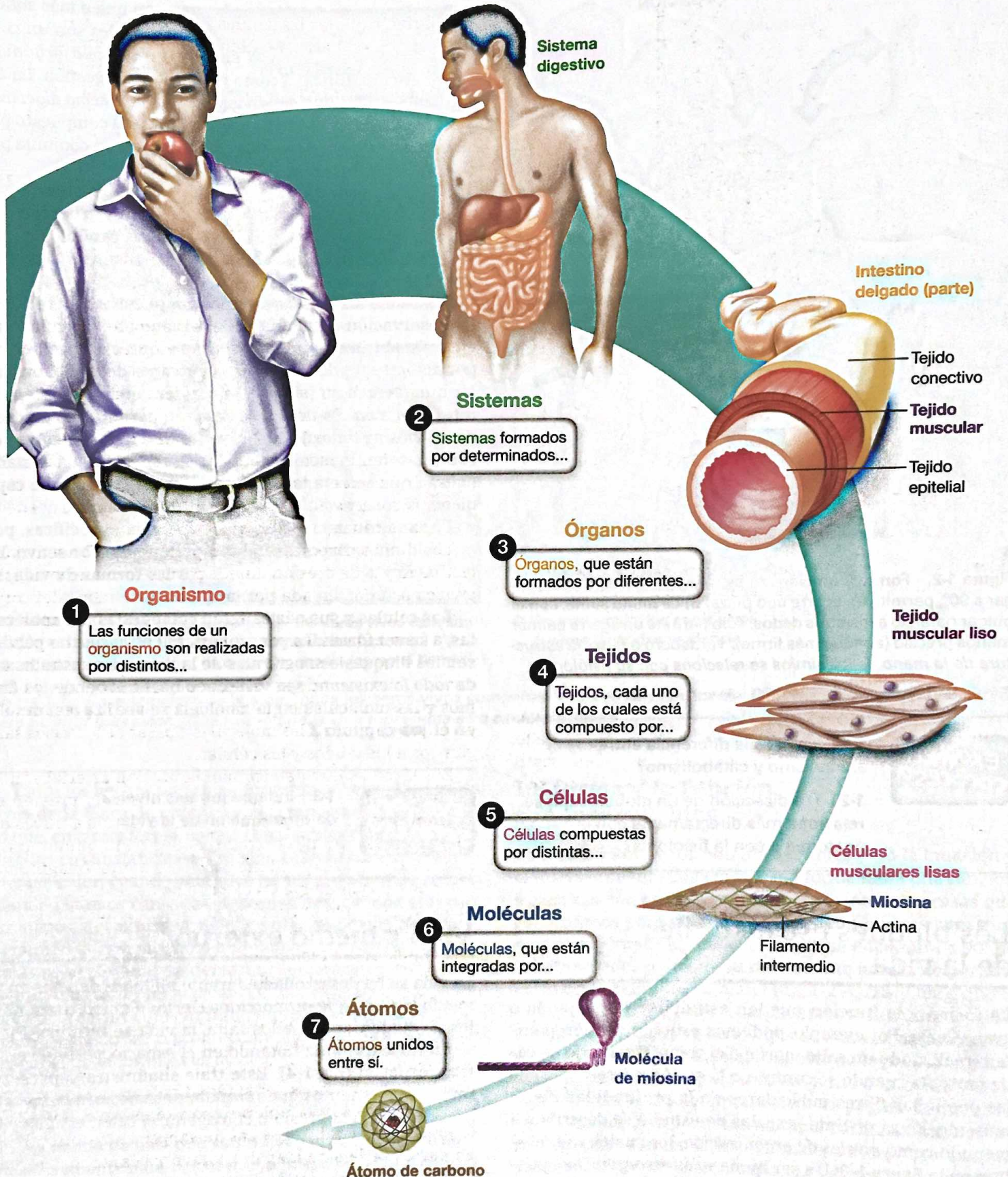


Figura 1-3. Bloques estructurales de la vida. ¿Cuál es el componente más pequeño en esta figura?

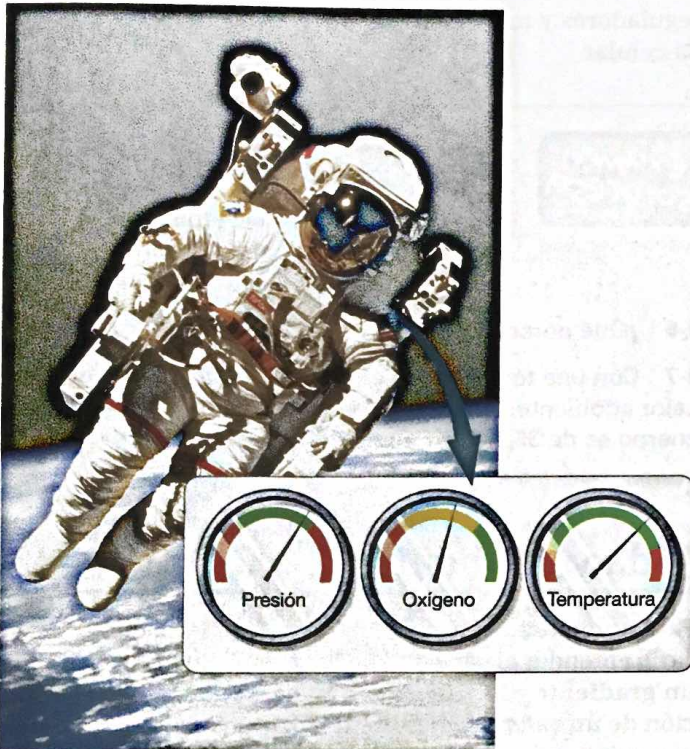


Figura 1-4. El medio y la vida. Los astronautas deben llevar personalmente el medio que necesitan para sobrevivir. ¿Qué necesidades de la vida se muestran en esta figura?

Los gases y los líquidos pueden ejercer dos tipos de presión: la *presión estática* es la que ejerce el peso de un gas o un líquido al presionar hacia abajo en un punto dado. Por ejemplo, imagine una mosca en el fondo de un frasco. Cuanto más líquido haya en el frasco, mayor será la presión estática sobre el cuerpo de la mosca. La *presión dinámica* es la fuerza adicional creada por un gas o un líquido en movimiento. Cuando una ola nos derriba en medio del océano, ejerce una presión dinámica.

Los gases ejercen una presión atmosférica en el aire

Aunque parece no pesar nada, como cualquier niño sabe cuando pone una mano frente a un coche en movimiento, el aire contiene materia. Es una mezcla de distintos gases, cada uno de los cuales tiene su peso específico. La *presión atmosférica* es estática y representa el peso total del aire contenido en la atmósfera sobre nosotros, un peso que presiona constantemente sobre nuestros cuerpos. La presión atmosférica a altitudes elevadas es más baja que a nivel del mar, porque a esa altura hay menos aire sobre la superficie.

La presión atmosférica mantiene los gases, principalmente oxígeno y nitrógeno, dentro de nuestro cuerpo y disueltos en los fluidos corporales para su transporte hacia los tejidos. Por ejemplo, si el traje de un astronauta perdiese presión, las moléculas de gas disueltas en su sangre y otros fluidos corporales formarían instantáneamente burbujas,

que harían explotar las células u obstruirían los vasos y el flujo sanguíneo. Para entender por qué una pérdida de presión puede causar la formación de burbujas de gas, piense en una botella de refresco. La alta presión dentro de la botella mantiene el dióxido de carbono disuelto en la bebida. Cuando la botella se abre, esa presión interna disminuye y se liberan las burbujas del líquido.

Como observamos antes, el aire en movimiento crea una fuerza adicional llamada presión dinámica, la misma que sentimos cuando tratamos de caminar en medio de un viento fuerte.

Los líquidos ejercen una presión

Los líquidos también ejercen una presión estática y dinámica. De las dos, la dinámica es mucho más importante en la fisiología.

Considere la presión del agua de una manguera para regar el jardín. Podemos aumentarla (p. ej., para alcanzar flores más distantes) de dos maneras. Una es aumentar el caudal abriendo más el grifo. La otra es reducir el tamaño (diámetro) de la salida de la manguera cubriéndola parcialmente con el pulgar. La presión se acumula detrás del dedo y el agua alcanza mayor distancia.

Los fluidos corporales se comportan de modo semejante. Una forma de presión líquida particularmente vital es la *presión arterial*, creada por la acción de bombeo del corazón mientras impulsa la sangre a través de una amplia red de vasos tubulares. La presión arterial es necesaria para la vida; el flujo de la sangre no sólo la lleva a los distintos órganos, transportando así el oxígeno, los nutrientes y otras sustancias vitales, sino que también provee la presión subyacente que ayuda a las moléculas a pasar de los vasos sanguíneos a los tejidos y las células.

Los factores que determinan la presión arterial son ligeramente diferentes a los que modifican la presión de agua en la manguera, porque la sangre circula a través del cuerpo en un circuito cerrado; es decir, el líquido no tiene una vía de escape al medio circundante. Imaginemos que ponemos una tapa en el extremo de nuestra manguera. Ahora, cuando abrimos el grifo para aumentar la cantidad (el volumen) de agua que trata de fluir a través de la manguera, la presión dentro de ésta aumenta. Del mismo modo, cuando aumenta el volumen de sangre, también aumenta la presión arterial. Y cualquier reducción en dicho volumen (p. ej., por una hemorragia intensa) reduce dicha presión, lo mismo que al liberar agua de la manguera se reduce la presión dentro de ella. Hay otros factores, como ya hemos señalado al hablar de la manguera de jardín, que son también importantes para determinar la presión arterial: el caudal de sangre está determinado en parte por la actividad del corazón; cuanto más rápidos o fuertes sean sus latidos, mayor será la presión debido a que habrá más volumen sanguíneo por minuto circulando dentro del sistema. El cuerpo también controla la presión arterial modificando el diámetro de los vasos correspondientes. Al estrecharlos, aumenta la presión arterial, y viceversa. En el ➡ capítulo 13 aprenderemos mucho más acerca del control de la presión arterial.

El oxígeno es necesario para la vida

El oxígeno, un gas que constituye un 20% del aire atmosférico, es rápidamente absorbido por la sangre a su paso por los pulmones. El oxígeno es la llave que desbloquea la energía de los nutrientes químicos de los alimentos. Sin oxígeno, las células no pueden conseguir la energía necesaria para permanecer vivas; y, como todas las demás, las células cerebrales mueren si se las priva de alimento. Si el nivel de oxígeno en el traje espacial se redujese demasiado, nuestros astronautas sufrirían mareos, perderían el conocimiento y finalmente morirían.

El calor es necesario para la vida

En el ambiente extremadamente frío del espacio, el traje de nuestros astronautas debe estar calentado. El calor que generan las reacciones químicas del cuerpo (el metabolismo) es emitido naturalmente por irradiación, de la misma forma que un calefactor eléctrico irradia el calor hacia el aire. Sin embargo, el cuerpo debe perder la cantidad justa de calor, porque si guarda o pierde demasiado, la temperatura corporal puede aumentar o reducirse a niveles peligrosos.

Aunque la temperatura corporal debe mantenerse entre dos límites poco separados entre sí, la temperatura ambiental apta para la vida puede variar de forma considerable. En un entorno caluroso, o cuando el cuerpo produce cierta cantidad de calor a causa de una actividad física intensa, nos adaptamos mediante la transpiración, pues el sudor, al evaporarse, tiene un efecto refrescante. En los ambientes fríos, nos adaptamos mediante escalofríos, que son contracciones musculares rápidas y repetitivas por minuto que generan un calor corporal considerable.

Apuntes sobre el caso

1-4 Indique cuál de los siguientes elementos necesarios para la vida se vio inmediatamente comprometido por la lesión del presidente Reagan: ¿el oxígeno, el calor o los nutrientes?

Los nutrientes y el agua son necesarios para la vida

Los alimentos proporcionan las sustancias químicas necesarias para la vida. Algunas sustancias de los alimentos (nutrientes) se queman y producen energía; otras se utilizan como bloques estructurales de las partes del cuerpo. Dado que la mayoría de los nutrientes pueden almacenarse, nuestros astronautas pueden sobrevivir sin alimentos durante varios días. Sin embargo, no pueden hacerlo sin agua. Las otras sustancias químicas que componen la vida están disueltas en ella, las reacciones moleculares vitales ocurren en ella, facilita los movimientos de las distintas partes del cuerpo, transporta los nutrientes a las células, permite eliminar los desechos y transporta las moléculas

reguladoras y mensajeras que rigen cada aspecto de la vida celular.

Examen sorpresa

1-4 Además del calor y el oxígeno, ¿qué otro nutriente necesita la vida?

1-5 Qué alteración elevaría la presión arterial, el aumento del diámetro de los vasos o de la frecuencia cardíaca?

1-6 ¿Qué porcentaje del aire está formado por oxígeno?

1-7 Con una temperatura ambiente de 35 °C sentimos un calor agobiante, aun cuando la temperatura normal del cuerpo es de 36,1 °C. ¿Puede indicar por qué?

Vida y gradientes

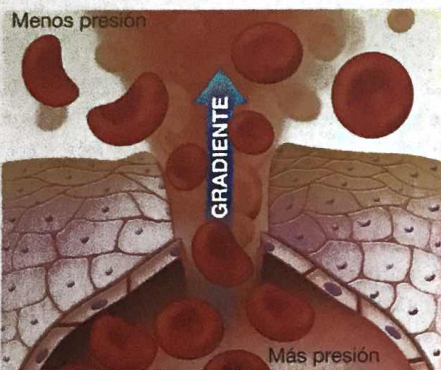
Para entender cómo funciona el cuerpo humano es necesario entender el concepto de gradiente. En pocas palabras, un **gradiente** es la diferencia en la cantidad o concentración de un valor físico entre dos áreas (fig. 1-5). Por ejemplo, existe un *gradiente de altitud* entre la cumbre y los aleros de un tejado, porque la primera está mucho más alta que éstos (fig. 1-5 A). El agua que proviene del deshielo de la nieve acumulada sobre un tejado empinado fluye hacia abajo siguiendo este gradiente. En realidad, a menos que se impida, las sustancias siempre se desplazan de mayor a menor gradiente. La vida depende de la conservación de los gradientes, mientras que la muerte elimina los gradientes de los que depende la vida. Por ejemplo, entre el cuerpo y el medio externo existe un gradiente de temperatura, que es generalmente más cálida o más fría en el entorno que en el cuerpo. El cuerpo se ocupa de mantener su temperatura entre 36 °C y 37 °C, sin importar la temperatura externa. Cuando se produce la muerte, el gradiente de temperatura entre el cuerpo y el medio ambiente desaparece y el cuerpo adopta la temperatura de este último.

Volviendo al traje de nuestro astronauta, entre su interior (donde la presión se mantiene igual a la de la superficie de la tierra) y su exterior (donde la presión es cero) existe un *gradiente de presión*. Sin la barrera formada por el material del traje y el casco, el aire pasaría rápidamente desde el área de presión alta (dentro del traje) a la de presión baja (fuera de él); es decir, el aire bajaría el gradiente de presión.

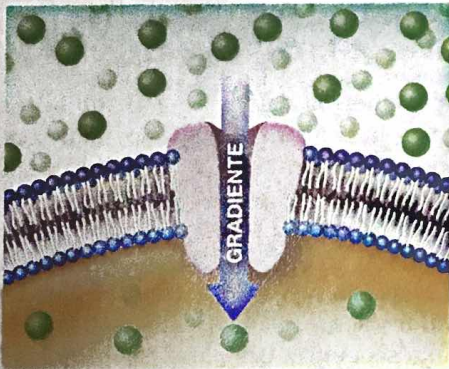
Existen muchos gradientes diferentes en el cuerpo, todos importantes para su fisiología. Los gradientes fisiológicos se producen generalmente entre el interior y el exterior de una célula, o entre dos compartimentos corporales. Por ejemplo, la presión es más alta en el interior que en el exterior de los vasos. Este hecho tan simple explica por qué la sangre fluye hacia fuera de una herida: cruza un gradiente de presión, desde el interior del vaso donde la presión es más alta hacia el exterior, donde es más baja (fig. 1-5 B). Los gradientes de presión también impulsan el flujo sanguíneo: la presión es más baja en las arterias que en el corazón; por eso la sangre fluye del corazón a las arterias.



A Gradiente de altitud



B Gradiente de presión



C Gradiente de concentración

Figura 1-5. Gradientes. A) Gradiente de altitud de un tejado. B) Gradiente de presión en un vaso sanguíneo. C) Gradiente de concentración en una célula. En el ejemplo B, ¿dónde se encuentra la mayor presión, en el interior o en el exterior del vaso?

Apuntes sobre el caso

1-5 Se observaba un «chorro pulsátil de sangre» desde la arteria pulmonar del presidente. ¿En qué tipo de gradiente estaba desplazándose la sangre?

Los gradientes fisiológicos también pueden afectar a distintas concentraciones de sustancias químicas. Por ejemplo, la condensación de sodio es más alta fuera que dentro de las células, por lo que podemos decir que existe un *gradiente de concentración* de ese metal a través de la membrana celular (fig. 1-5 C). Si ésta fuera totalmente permeable, el sodio fluiría por el gradiente de concentración hacia el interior de la célula, sin que nada se opusiera. Como veremos más adelante, ciertas funciones como la producción de orina y la conducción de impulsos nerviosos dependen de los gradientes de concentración. En el cuadro Forma básica, función básica, titulado «Está entrando en calor...», se analiza un importante gradiente que participa en la reproducción humana.

Examen sorpresa

1-8 Defina el término *gradiente* y dé tres ejemplos del mismo.

Homeostasis: cómo mantener un medio interno sano

El cuerpo es una comunidad integrada por aproximadamente 100 billones de células que, como si estuvieran en una inmensa ciudad, necesitan mecanismos de comunicación y control entre ellas para mantener el orden, y para que los alimentos y el agua se entreguen puntualmente, los desechos se eliminan, el tráfico fluya sin sobresaltos y los mensajes se distribuyan de forma segura. Las tareas colectivas de comunicación y control que el cuerpo realiza para mantener los parámetros internos dentro de límites estrictos y fisiológicamente estables se denominan **homeostasis**. Este término deriva del griego *homos* («semejante») y *stasis* («estabilidad»). En biología, los términos se combinan para referirse a la tendencia automática del cuerpo a mantener la «estabilidad» o estado normal. La homeostasis necesita del trabajo de todos y cada uno de los órganos, tejidos y células.

Todos los sistemas corporales participan en la homeostasis

Todos los tejidos y órganos participan en la homeostasis. Por ejemplo, los pulmones proporcionan el oxígeno que permite a las células quemar los nutrientes provistos por el sistema digestivo. El sistema cardiovascular asegura la circulación de oxígeno y nutrientes esenciales al aumentar la frecuencia cardíaca cuando la presión arterial se reduce (como sucedió en el caso del presidente Reagan). Es más, para mantener concentraciones satisfactorias de oxígeno en la sangre, el sistema respiratorio aumenta la frecuencia respiratoria durante el ejercicio físico, y, en general, el sistema locomotor ayuda a los seres humanos a mantenerse por sí mismos al permitirles desplazarse para encontrar agua y alimentos.

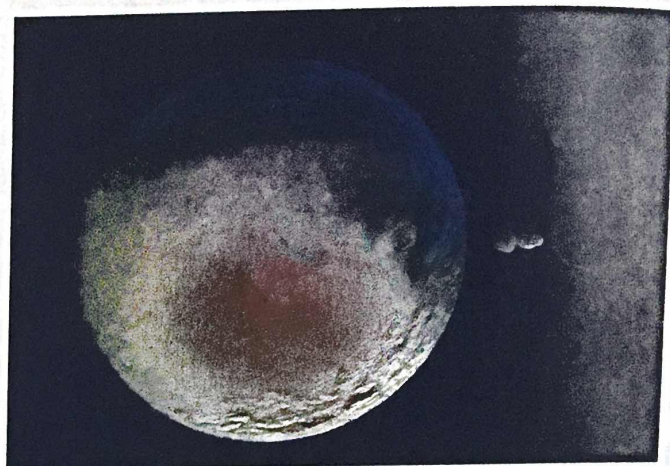


FORMA BÁSICA, FUNCIÓN BÁSICA

Está entrando en calor...

¿Alguna vez se ha preguntado cómo se produce el encuentro entre el óvulo y los espermatozoides (células del semen masculino) en el sistema reproductor femenino, sin la guía de un mapa? Las posibilidades de que intervenga el azar son mínimas, un golpe de suerte no es suficiente. Los científicos creen que los gradientes son los que guían a los espermatozoides hacia su destino final.

Alrededor del óvulo existen dos tipos de gradientes: uno de temperatura y otro químico. La zona que rodea el óvulo está más caliente que las regiones más alejadas, de modo que los espermatozoides nadan contra un gradiente térmico. Una vez que éstos llegan a las proximidades del óvulo, comienza a actuar el gradiente químico. El óvulo emite varias sustancias (una podría ser la progesterona) que los espermatozoides pueden detectar. La concentración de estas sustancias es más alta cerca del óvulo, de modo que los espermatozoides deben nadar contra un gradiente químico. Por otra parte, la nariz humana también puede detectar algunas de esas



Los espermatozoides utilizan gradientes para encontrar al óvulo.

sustancias químicas. ¿Es posible que la atracción entre el espermatozoide y el óvulo sea una imagen reducida de la que existe entre un hombre y una mujer?

Confiamos en que a estas alturas estará empezando a ver el cuerpo como una sinfonía armoniosa en cada uno de los niveles de organización, desde las moléculas hasta los músculos. Ahora bien, así como no podemos apreciar una sinfonía escuchando un solo instrumento, tampoco podemos apreciar o entender la anatomía y la fisiología humanas centrando nuestra atención en el funcionamiento exclusivo de una célula, un órgano o un sistema. Tanto para disfrutar de una sinfonía como para entender la fisiología humana, necesitamos una visión más amplia. A medida que vaya adquiriendo más conocimientos sobre las distintas secciones de nuestra orquesta corporal, revise la figura 1-6 y tome nota de las distintas formas en que colaboran unas con otras. Por ejemplo, el cerebro es el director de la orquesta y está clasificado dentro del sistema nervioso, pero está estrechamente implicado en el funcionamiento de cada sistema. De forma similar, el corazón está clasificado dentro del sistema cardiovascular, pero cada uno de los órganos de nuestro cuerpo depende de su acción de bombeo para mantener el suministro de sangre.

Apuntes sobre el caso

1-6 La bala que hirió al presidente seccionó una arteria y se alojó en el pulmón izquierdo. ¿A qué sistema o sistemas pertenecen estas estructuras?

La retroalimentación negativa es la clave de la homeostasis

Todos los parámetros fisiológicos, desde la temperatura corporal hasta la concentración de oxígeno en la sangre, tienen un *punto estable*, es decir, el valor en el que deben mantenerse para que el estado de salud sea óptimo. Por ejemplo, el punto estable de la temperatura corporal es de 37 °C. Cada estado fisiológico está asociado a un sensor que detecta las desviaciones ascendentes y descendentes a partir de ese valor y señala la necesidad de un cambio *opuesto* (negativo). La secuencia completa de episodios homeostáticos, del sensor a la respuesta, se llama **retroalimentación negativa**, un proceso reflejo que mantiene los sistemas estrictamente regulados en torno a sus valores estables, promoviendo así la estabilidad.

Los termostatos domésticos funcionan según el mismo principio (fig. 1-7, círculo interior). Todos los cambios en la temperatura del aire (la *situación*) son detectados por un termómetro (el *sensor*) en el termostato. Por ejemplo, cuando la temperatura del aire supera el punto estable, el termómetro transmite una señal a un chip computarizado que se encuentra dentro del termostato. Este chip actúa como *centro integrador*: recibe los datos de la temperatura ambiente y transmite una señal al acondicionador de aire (el *efector*) que lo enciende. Como resultado, el aire se enfría.

PIEL
(Capítulo 5)



FORMA



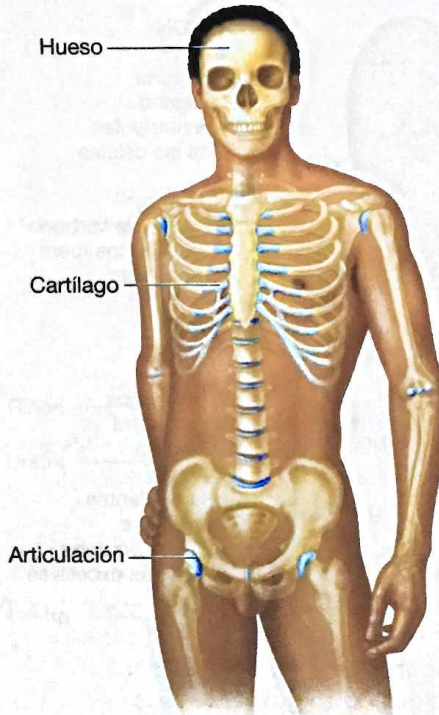
FUNCIÓN

- Protege contra el medio
- Siente el medio (tacto, dolor, temperatura)
- Ayuda a sintetizar la vitamina D
- Enfía el cuerpo mediante la transpiración

SISTEMA ESQUELÉTICO
(Capítulo 6)



FORMA



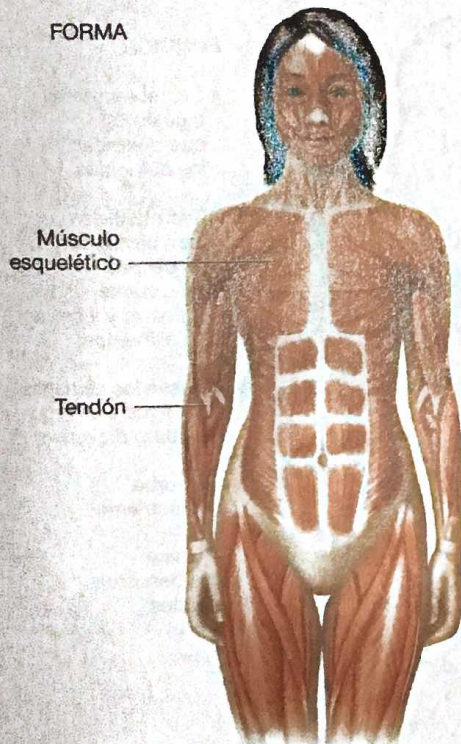
FUNCIÓN

- Proporciona forma y sostén al cuerpo
- Fija los músculos
- Protege los órganos vitales (p. ej., el cerebro o el corazón)
- Almacena minerales como el calcio
- Sintetiza los eritrocitos
- Las articulaciones permiten el movimiento entre los huesos

SISTEMA MUSCULAR
(Capítulo 7)



FORMA



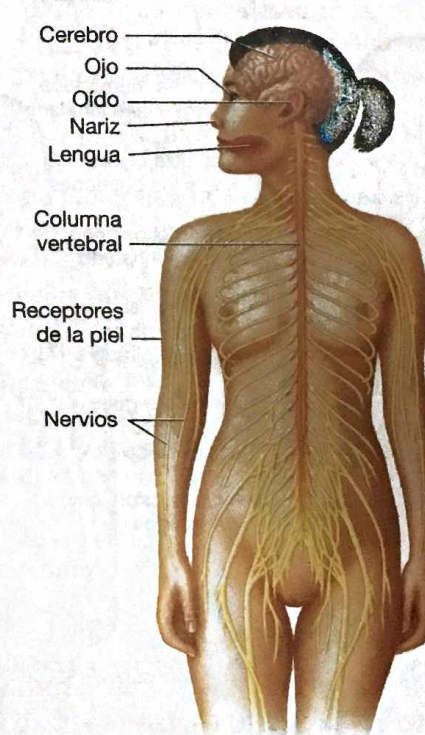
FUNCIÓN

- Mueve los huesos
- Mueve la piel de la cara y permite expresarnos con ella
- Permite el habla
- Mantiene la postura
- Genera calor
- Ayuda a respirar
- El tendón conecta el hueso con el músculo

SISTEMA NERVIOSO
(Capítulos 4, 8 y 9)



FORMA



FUNCIÓN

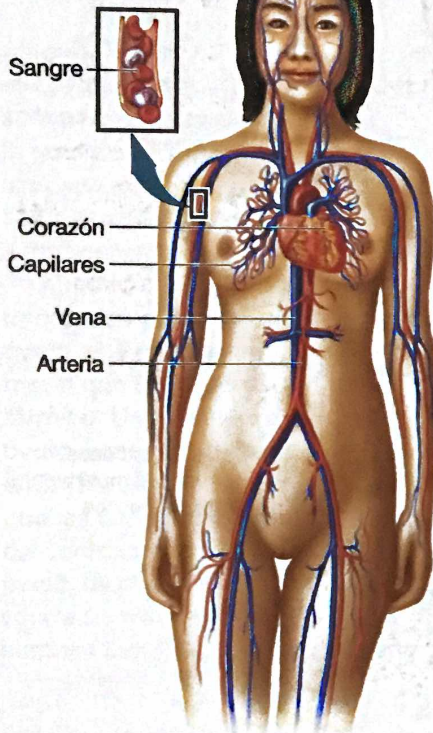
- Proporciona e interpreta información acerca de ambos medios, interno y externo
- Induce las contracciones musculares
- Regula las funciones neurovegetativas (p. ej., los latidos del corazón)
- Es responsable del pensamiento, el aprendizaje y la memoria

Figura 1-6. Forma y función de los sistemas corporales. De todos ellos, señale dos que participen en el transporte de oxígeno desde la atmósfera hasta las células del cuerpo (continúa).

SISTEMA CARDIOVASCULAR (Capítulos 10 y 11)



FORMA



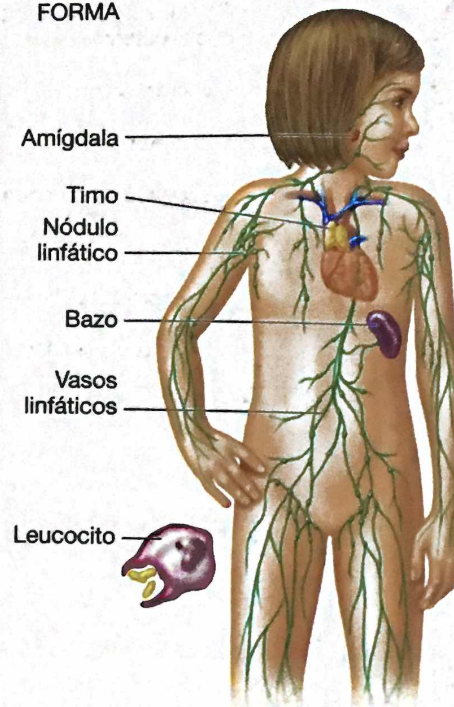
FUNCIÓN

- Transporta el oxígeno y los nutrientes hasta las células
- Transporta el dióxido de carbono y los desechos fuera de las células
- Transporta hormonas
- Los eritrocitos luchan contra la infección
- Los coagulantes que contiene la sangre impiden las pérdidas excesivas de sangre

SISTEMA LINFÁTICO/INMUNITARIO (Capítulo 14)



FORMA



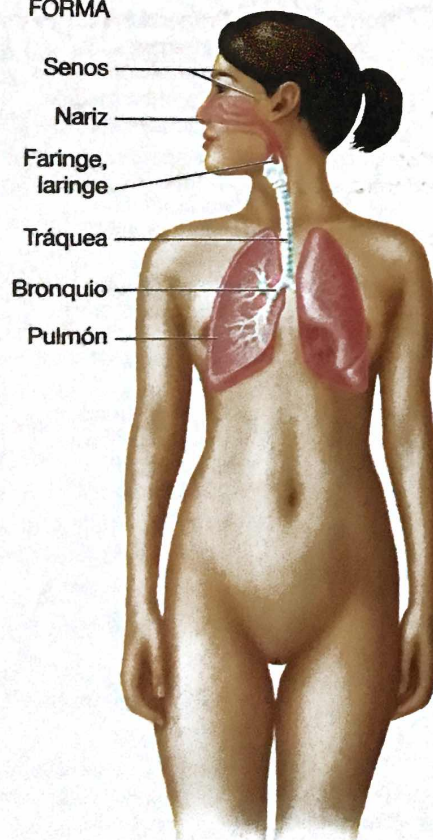
FUNCIÓN

- Defiende de la infección y el cáncer
- Filtra y devuelve los líquidos de los espacios extracelulares a la sangre
- Transporta los lípidos digeridos hacia el torrente circulatorio

SISTEMA RESPIRATORIO (Capítulo 13)



FORMA



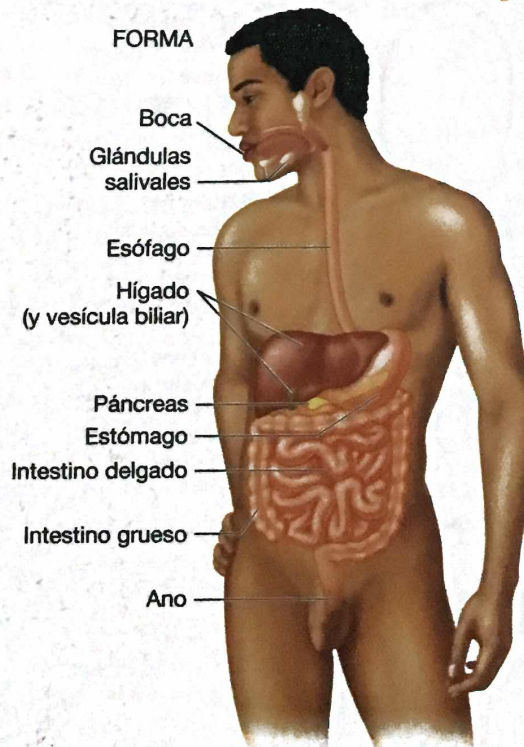
FUNCIÓN

- Calienta, humedece y filtra el aire inhalado
- Canaliza el aire hacia los pulmones
- Extrae el oxígeno del aire inhalado
- Descarga el dióxido de carbono en el aire espirado
- Ayuda a regular el equilibrio acidobásico
- Ayuda a producir los sonidos

SISTEMA DIGESTIVO (Capítulo 14)



FORMA



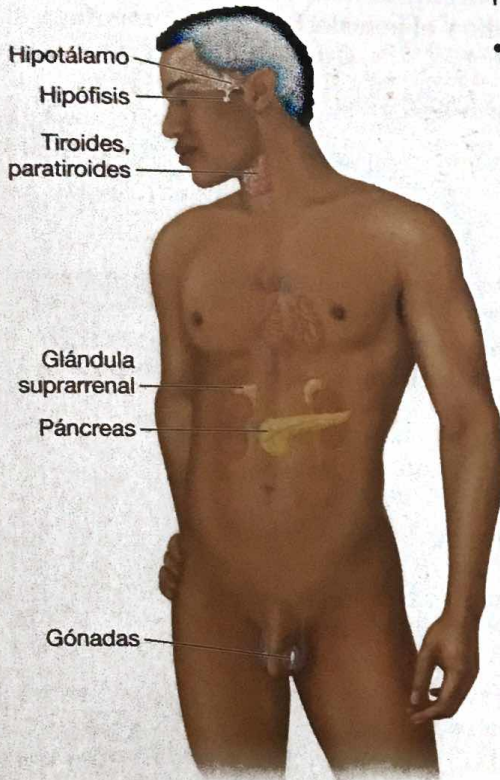
FUNCIÓN

- Secreta enzimas digestivas que degradan los nutrientes
- Secreta moco para proteger las células del sistema digestivo y lubricar los alimentos
- Mueve los alimentos y el agua a lo largo del tubo digestivo
- Absorbe los nutrientes
- Elimina los desechos sólidos

SISTEMA ENDOCRINO
(Capítulos 4 y 15)



FORMA



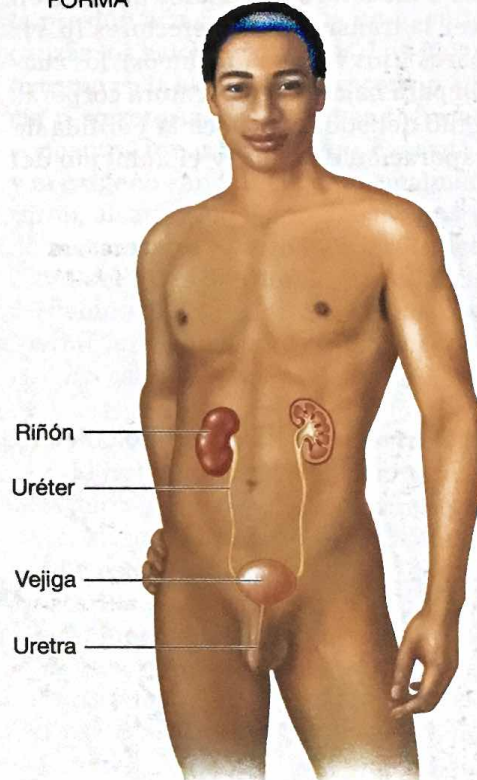
FUNCIÓN

- Produce las hormonas que regulan:
 - El crecimiento
 - El metabolismo
 - El equilibrio de agua
 - El comportamiento
 - La reproducción
 - La división celular

SISTEMA URINARIO
(Capítulo 16)



FORMA



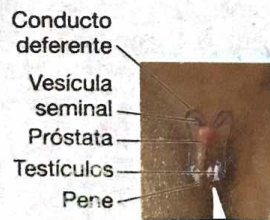
FUNCIÓN

- Excreta los desechos
- Ajusta el equilibrio entre el agua y los electrolitos al alterar el volumen de orina
- Regula el equilibrio acidobásico y las concentraciones de sal
- Secreta algunas hormonas

SISTEMA REPRODUCTOR
(Capítulo 20)



FORMA



FUNCIÓN

- Permite la copulación
- Produce gametos (ovarios o espermatozoides)
- Fabrica hormonas (estrógeno, progesterona, testosterona)
- Nutre al embrión o feto (sistema femenino)
- Produce leche (sistema femenino)

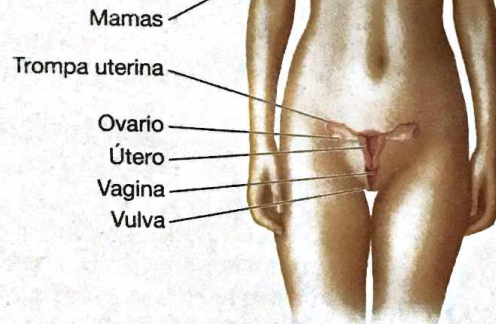


Figura 1-6. (Cont.)

Del mismo modo, en un día caluroso, los sensores de nuestra piel detectan que nuestra temperatura corporal se está elevando (fig. 1-7, círculo exterior). Envían una señal a través de los nervios a un centro integrador ubicado en el cerebro, que a su vez la transmite a los efectores (p. ej., las glándulas sudoríparas y los vasos sanguíneos), los cuales se ponen en acción para bajar la temperatura corporal. Por ejemplo, el aumento del sudor provoca la pérdida de calor mediante la evaporación de agua, y el aumento del

flujo sanguíneo en la piel causa la pérdida de calor por radiación. Como resultado, nos enfiamos.

La retroalimentación negativa mantiene también otros factores, como las concentraciones en sangre de ciertos minerales, como el sodio y el potasio; la presión sanguínea; el peso corporal, y muchos más. Esta maravillosa reacción y acción de autoajuste continúa para mantener el cuerpo sano. Cuando uno o más sistemas pierden su capacidad de controlar esas funciones compartidas, se produce la enfer-



Figura 1-7. La retroalimentación negativa restablece la homeostasis. Se utiliza para mantener la temperatura constante en una habitación (círculo interior) y en una persona (círculo exterior). Indique cuáles son los efectores que responden a cambios en la temperatura corporal.

medad. La mayoría de las enfermedades pueden entenderse mejor como una homeostasis fallida; si la disfunción homeostática es moderada produce la enfermedad, si es grave puede causar la muerte.

¡Recuerde! La retroalimentación negativa mantiene los sistemas estrictamente regulados en torno a sus valores estables, promoviendo así la estabilidad.

Estudio del caso

El caso del presidente Ronald Reagan muestra la homeostasis en acción



La herida de bala del presidente Reagan es un ejemplo de homeostasis en acción digno de figurar en los libros de texto universitarios. Cuando la bala perfora los vasos dentro del tórax, desestabiliza dos parámetros homeostáticos clave: la presión arterial y el contenido de oxígeno en la sangre.

Veamos cómo sucedió. La sangre, expuesta a presión en los vasos sanguíneos, pasa por un gradiente de presión y sale de los vasos. En el caso del presidente, la sangre no salió del cuerpo; por el contrario, quedó atrapada entre el pulmón y la parrilla costal. Esta sangre era más dañina que inútil: no podía transportar los nutrientes y el oxígeno vitales a través del cuerpo, y su acumulación entre la parrilla costal y el pulmón le quitaba a éste el espacio para el aire. Por eso, el presidente tenía menos espacio en el pulmón para suministrar oxígeno a la sangre circulante. Su cuerpo reaccionó para corregir la situación; a grandes rasgos, podríamos decir que los médicos actuaron como auxiliares homeostáticos importantes. La figura 1-8 ilustra los mecanismos homeostáticos y las intervenciones médicas que ayudaron a Reagan a sobrevivir.

El problema: escaso oxígeno en los tejidos. Todas las células necesitan oxígeno. El presidente Reagan se desplomó porque el oxígeno que llegaba a su cerebro (y a otros tejidos) era muy escaso. Esta reducción en el suministro de oxígeno se debió a dos factores:

- La pérdida de sangre redujo su presión arterial y la sangre disponible para suministrar el oxígeno.
- La alteración de la función pulmonar redujo la cantidad de oxígeno suministrada a la sangre.

La solución (parte 1): mecanismos homeostáticos. El cuerpo de Reagan trató de aumentar el suministro de oxígeno a los tejidos y restaurar la homeostasis. Podemos observar varios circuitos cerrados de retroalimentación negativa en pleno funcionamiento. La reducción de la presión arterial disparó numerosas respuestas. Recuerde que, como dijimos al hablar de la presión, tanto el aumento del flujo sanguíneo como la reducción del diámetro de los vasos au-

mentan la presión arterial. Por eso, la frecuencia cardíaca de Reagan se incrementó, para aumentar el caudal sanguíneo. Los vasos periféricos se estrecharon, de ahí la palidez de su piel. Ambas respuestas aumentaron posteriormente la presión arterial, aunque no lo suficiente como para alcanzar los valores normales. Las bajas concentraciones de oxígeno en la sangre provocaron un aumento de la frecuencia respiratoria, que a su vez incrementó ligeramente las concentraciones de oxígeno. En cada instancia, la presión y el oxígeno sanguíneos (anormalmente bajos) se recuperaron, alcanzando valores más altos y saludables a través de mecanismos homeostáticos. Es decir, se redujo la magnitud del nivel de cambio (la reducción de la presión y el contenido de oxígeno). Sin embargo, estos mecanismos no fueron suficientes para restablecer la salud del presidente, que necesitó tratamiento médico.

La solución (parte 2): homeostasis asistida médicamente. El tratamiento del presidente atacó ambos problemas: el suministro de oxígeno a la sangre y el de sangre a los tejidos. En primer lugar, sólo un 20% del aire es oxígeno, por lo que éste se administró adicionalmente a través de una mascarilla para maximizar su ingreso en la sangre. En segundo lugar, el presidente recibió de inmediato un volumen importante de solución intravenosa para aumentar la cantidad de líquido en los vasos sanguíneos. Aunque estas soluciones no pueden transportar el oxígeno como lo hace la sangre, sí pueden aumentar temporalmente la presión y el volumen sanguíneos hasta que pueda realizarse una transfusión. Y por último, el presidente recibió una infusión concentrada de eritrocitos para mejorar la capacidad de transportar oxígeno en la sangre.

Los resultados del tratamiento fueron inmediatos y espectaculares: se aumentó la presión arterial, aunque la alta frecuencia cardíaca obligara a mantenerla. La frecuencia respiratoria del presidente se redujo y casi se normalizó, debido en parte al oxígeno suplementario, pero también como respuesta a la mejora del flujo sanguíneo por las infusiones de sangre y líquidos.

No obstante, al final hubo que recurrir a la cirugía para detener la pérdida de sangre, de modo que el resto de los tratamientos ya no fueron necesarios.

Apuntes sobre el caso

1-7 ¿Por qué estaba pálido el presidente Reagan?

1-8 ¿Qué intervención fue especialmente responsable del aumento en la presión arterial de Reagan: la infusión concentrada de eritrocitos o la de líquido intravenoso?

La retroalimentación positiva acelera los procesos hasta alcanzar su conclusión

La *retroalimentación positiva* es lo opuesto de la retroalimentación negativa: esta última «empuja hacia atrás»

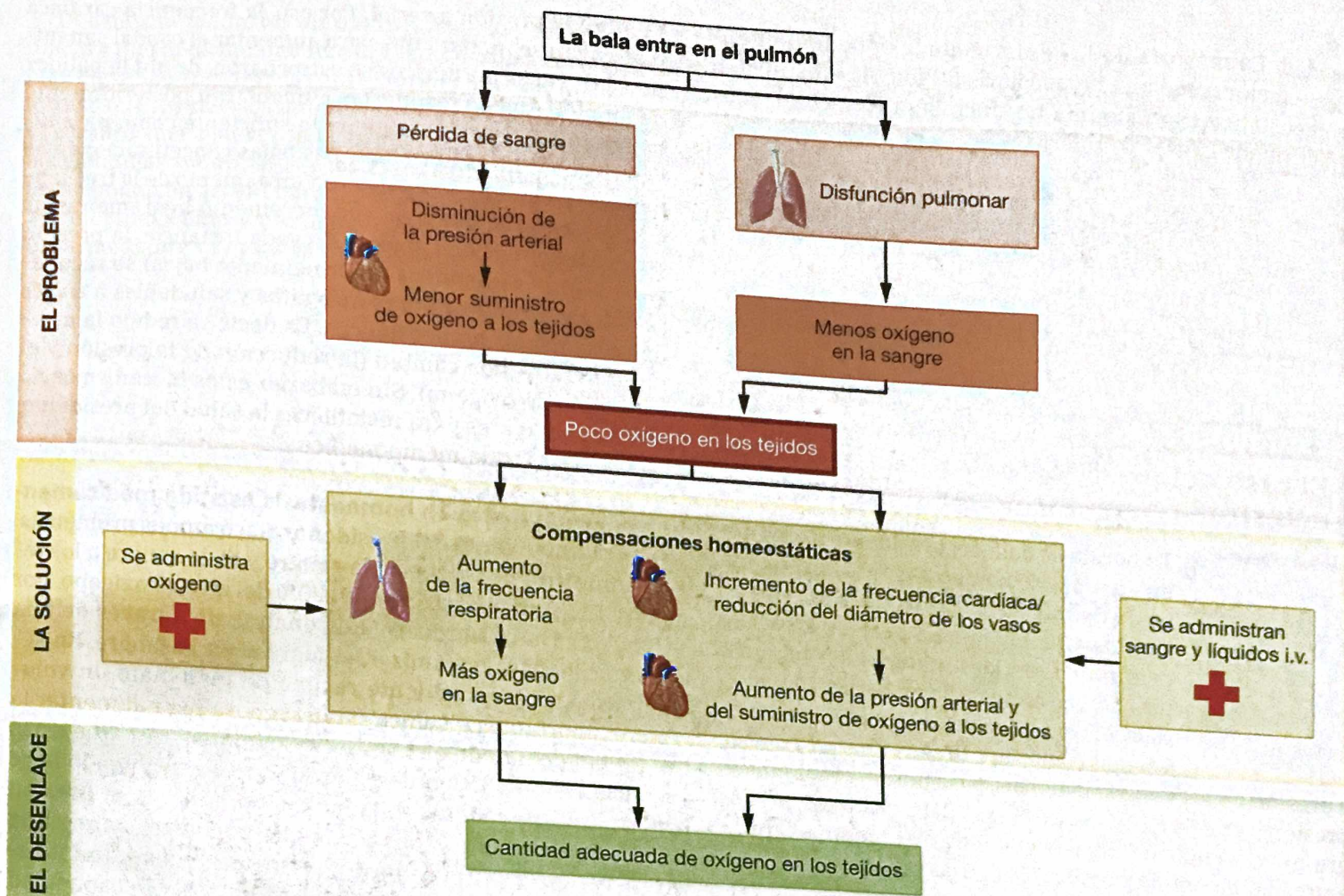


Figura 1-8. La homeostasis y el presidente Reagan. Las interrupciones de la homeostasis causadas por la bala aparecen en rojo. Los ajustes homeostáticos y las intervenciones médicas en amarillo. ¿Por qué la presión arterial de Reagan era baja?

cuando se detecta un cambio; la positiva empuja más fuertemente en la misma dirección que se produjo el cambio, hasta que el proceso se completa. La **retroalimentación positiva** es como un alud: comienza por unas pocas rocas que, al caer, van desprendiendo y arrojando más y más piedras hasta que se produce una avalancha que tiene fuerza suficiente como para sepultar una aldea. Finalmente, se detiene y el proceso termina.

¡Recuerde! La retroalimentación positiva se puede demostrar utilizando fichas de dominó. Colóquelas verticalmente en una fila y empuje la primera hacia delante. Las fichas caerán una sobre otra hasta que ninguna quede en pie.

La retroalimentación negativa es clave para el mantenimiento segundo a segundo de muchos procesos corporales vitales. Por el contrario, la retroalimentación positiva participa sólo en unos pocos hechos fisiológicos normales. Uno de ellos es el parto (fig. 1-9). Los circuitos cerrados de retroalimentación positiva y negativa comparten los mismos

elementos: una *situación* detectada por un *sensor*, que transmite señales a un *centro integrador*, el cual envía una señal a un *efector* que a su vez induce una acción. La diferencia es que, en vez de aliviar la situación, la intensifica. Durante el parto, por ejemplo, el cuello uterino (la abertura del útero ubicada en el extremo superior de la vagina) se estira por la presión de la cabeza del feto. Este estiramiento envía señales al sistema nervioso, que a su vez envía sus propias señales hacia la parte superior del útero para que se contraiga con mayor fuerza. Como resultado, la cabeza va avanzando hacia el cuello uterino, que se estira cada vez más. Este ciclo continúa hasta que se produce el nacimiento. Los hechos regulados por la retroalimentación positiva no se estabilizan; prosiguen hasta que se llega a la conclusión (en este caso, el nacimiento) o hasta que la reacción se agota (es decir, cuando todas las rocas han caído por la ladera de la montaña).

¡Recuerde! Trate de crear sus propios diagramas de retroalimentación utilizando nuestros ejemplos (avalanchas, fichas de dominó) o los suyos propios.

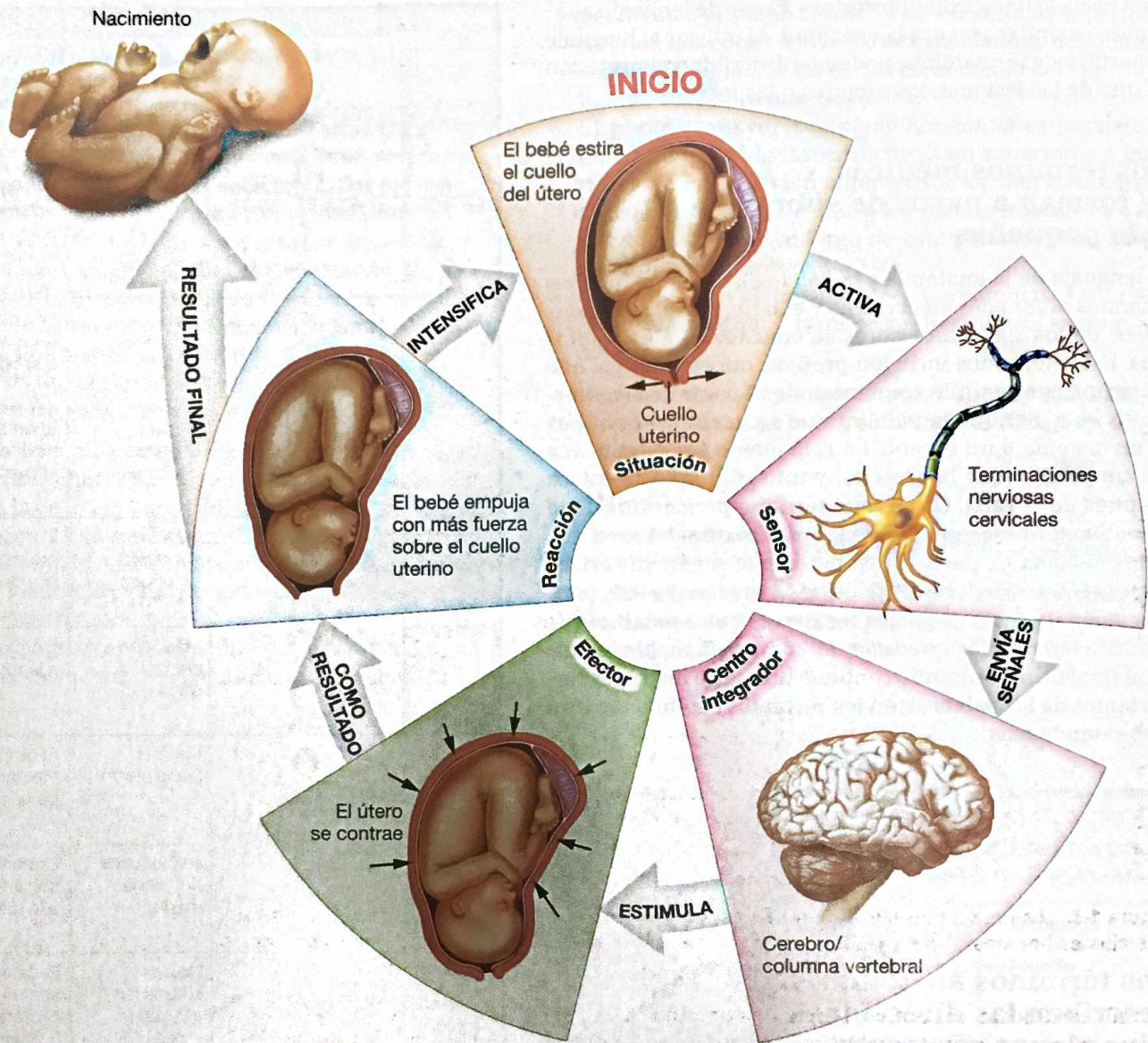


Figura 1-9. La retroalimentación positiva refuerza una situación. Los circuitos cerrados de retroalimentación positiva a menudo culminan en episodios críticos, como el nacimiento o la muerte. Las contracciones uterinas, ¿aumentan o disminuyen la activación de las terminaciones nerviosas cervicales (los sensores)?

Por lo tanto, la retroalimentación negativa y la positiva son similares en el sentido de que provocan una respuesta al cambio: la retroalimentación negativa se opone a él, mientras que la retroalimentación positiva lo intensifica.

El lenguaje de la forma y la función

Se ha dicho, con razón, que adquirir nuevos conocimientos es, en gran parte, aprender un nuevo lenguaje. Por ejemplo, imagínese que está presenciando la cirugía de Ronald Reagan y otro cirujano le pide que «haga una incisión de 2 cm hacia abajo junto al pezón izquierdo». ¿Podría usted hacer una incisión precisa? Por supuesto que no. Necesita saber antes la dirección que debe seguir la incisión a partir del pezón. Además, *hacia abajo* puede ser hacia dentro del tórax o hacia los pies de forma paralela a la superficie del tórax. El cirujano debería darle las instrucciones precisas: «Haga una incisión horizontal superficial de 2 cm, a partir de los 2 cm del lado del pezón y superior a la quinta costilla, y extiénd-

Examen sorpresa

1-9 Defina la homeostasis.

1-10 Indique cuál es la principal contribución del sistema respiratorio a la homeostasis.

1-11 ¿La temperatura corporal está regulada por la retroalimentación negativa o la retroalimentación positiva?