

# El aparato respiratorio



## El aparato respiratorio y la homeostasis

**El aparato respiratorio contribuye a la homeostasis encargándose del intercambio gaseoso –oxígeno y dióxido de carbono– entre el aire atmosférico, la sangre y las células de los tejidos. También contribuye a ajustar el pH de los líquidos corporales.**



Las células utilizan oxígeno ( $O_2$ ) continuamente para las reacciones metabólicas que liberan energía de las moléculas de los nutrientes y producen ATP. Al mismo tiempo, estas reacciones liberan dióxido de carbono ( $CO_2$ ). Como una cantidad excesiva de  $CO_2$  lleva a una acidez que puede ser tóxica para las células, el exceso de  $CO_2$  debe ser eliminado en forma rápida y eficiente. Los aparatos cardiovascular y respiratorio cooperan para proveer  $O_2$  y eliminar el  $CO_2$ . El aparato respiratorio se encarga del intercambio de gases –captación de  $O_2$  y eliminación

de  $CO_2$ – y el aparato cardiovascular transporta la sangre que contiene los gases entre los pulmones y las células. La falla de cualquiera de los dos altera la homeostasis y causa la muerte celular rápida por la falta de oxígeno y la acumulación de productos de desecho. Además de intervenir en el intercambio gaseoso, el aparato respiratorio también participa en la regulación del pH sanguíneo, contiene receptores para el sentido del olfato, filtra el aire inspirado, origina sonidos y libera algo de agua y de calor corporal en el aire espirado.

## ANATOMÍA DEL APARATO RESPIRATORIO

### ▶ OBJETIVOS

Describir la anatomía e histología de la nariz, la faringe, la laringe, la tráquea, los bronquios y los pulmones.

Identificar las funciones de cada estructura del aparato respiratorio.

El **aparato respiratorio** comprende la nariz, la faringe (garganta), la laringe (órgano de la voz), la tráquea, los bronquios y los pulmones (fig. 23-1). Sus partes se pueden clasificar de acuerdo a su estructura y función. De acuerdo con su *estructura*, el aparato respiratorio consta de dos partes: 1) El **aparato respiratorio superior** abarca la nariz, la faringe y las estructuras asociadas. 2) El **aparato respiratorio inferior** incluye la laringe, la tráquea, los bronquios y los pulmones. Según su *función*, el aparato respiratorio también se puede dividir en dos partes: 1) La **zona de conducción** consiste en una serie de cavidades y tubos interconectados fuera y dentro de los pulmones –la nariz, la faringe, la laringe, la tráquea, los bronquios, los bronquiolos y los bronquiolos terminales– que filtran, calientan y humectan el aire y lo conducen a los pulmones. 2) La **zona respiratoria** está constituida por tejidos dentro de los pulmones donde tiene lugar el intercambio gaseoso: los bronquiolos respiratorios, los conductos alveolares, los sacos alveolares y los alveolos, los sitios principales de intercambio de gases entre el aire y la sangre.

La rama de la medicina que se encarga del diagnóstico y el tratamiento de las enfermedades de los oídos, la nariz y la garganta se llama **otorrinolaringología** (oto-, de *oútós*, oído; -rino, de *rhínós*, nariz; laringe, de *larynx*, y -logía, de *lógos*, estudio). El **neumólogo** es el especialista en el diagnóstico y el tratamiento de las enfermedades de los pulmones.

### Nariz

La **nariz** se puede dividir en una porción interna y otra externa. La **porción externa** consiste en un armazón de soporte óseo y de cartilago hialino cubierto con músculo y piel y revestido por una mucosa. En la estructura ósea de la porción externa de la nariz participan los huesos frontales, los huesos nasales y el maxilar (fig. 23-2a). La estructura cartilaginosa consiste en el **cartilago septal**, o del **tabique nasal** que forma la porción anterior del tabique nasal; los **cartilagos nasales laterales** inferiores con respecto a los huesos nasales y los **cartilagos alares**, que representan una porción de las pa-

redes de las fosas nasales. Como está compuesto por cartilago hialino, el soporte cartilaginosa de la porción externa de la nariz externa es flexible. En la parte inferior de la nariz externa hay dos aberturas llamadas **narinas** u **orificios nasales**. La **figura 23-3** muestra la anatomía superficial de la nariz.

Las estructuras internas de la nariz externa tienen tres funciones: 1) calentamiento, humectación, y filtración del aire inhalado; 2) detección del estímulo olfatorio y 3) modificación de las vibraciones vocales a medida que pasan a través de las largas cámaras huecas de resonancia. La **resonancia** se refiere a la prolongación, amplificación o modificación de un sonido mediante la vibración.

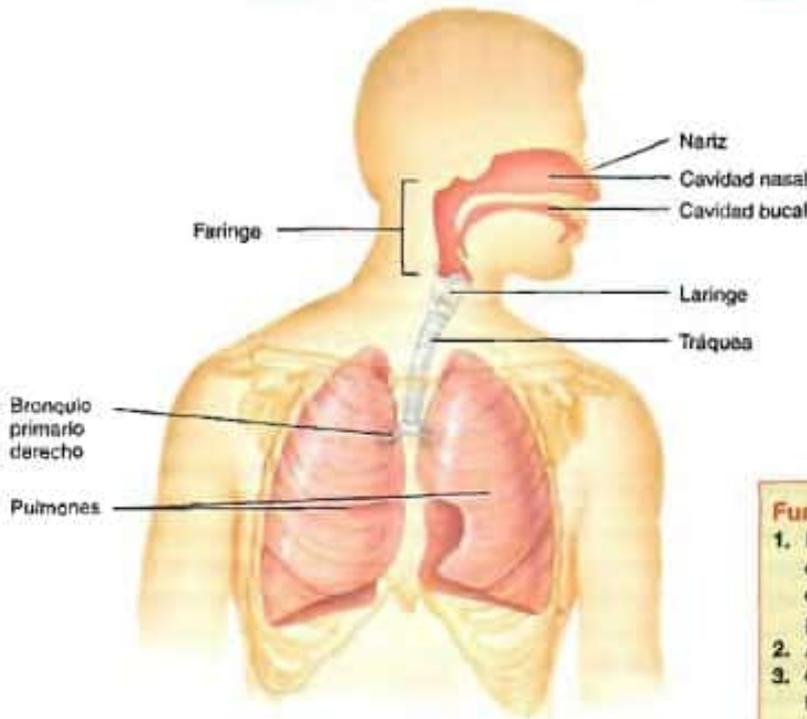
### Rinoplastia

La **rinoplastia** (-plastia, de *plássein*, modelar o dar forma) es un procedimiento quirúrgico en el que se remodela la estructura de la nariz externa. A pesar de que se hace a menudo por razones estéticas, a veces se lleva a cabo para reparar una nariz fracturada o un tabique nasal desviado. En el procedimiento se administran tanto anestésicos locales como generales. Los instrumentos se insertan luego a través de las fosas nasales, se le da una nueva forma al cartilago nasal, se fracturan los huesos nasales y se los coloca en una nueva posición para alcanzar la forma deseada. Se efectúa un taponamiento posterior y se coloca una férula para mantener la nariz en la posición deseada mientras cicatriza. ■

La **nariz interna** es una gran cavidad en la parte anterior del cráneo que se dispone en posición inferior con respecto al hueso nasal y superior en relación con la boca; está cubierta por músculo y por mucosa. En su parte anterior, la nariz interna emerge con la nariz externa y en su parte posterior se comunica con la faringe a través de dos aberturas llamadas **conas** (fig. 23-2b). Los conductos de los senos paranasales y los conductos nasolagrimalos también se abren en la nariz interna. Del capítulo 7 se recordará que los senos paranasales son cavidades en ciertos huesos craneales y faciales cubiertos por mucosa que se continúan con el revestimiento de la cavidad nasal. Los huesos del cráneo que contienen senos paranasales son el frontal, el esfenoides, el etmoides y el maxilar. Además de producir moco, los senos paranasales sirven de cámaras de resonancia para el sonido cuando hablamos o cantamos. Las paredes laterales de la nariz interna están formadas por el etmoides, el maxilar, el lagrimal, el palatino y los cornetes nasales inferiores (véase fig. 7-9); el hueso etmoides también forma el techo. Los huesos palatinos y las apófisis palatinas del maxilar, que

Fig. 23-1 Estructuras del aparato respiratorio.

El aparato respiratorio superior comprende la nariz, la faringe y estructuras asociadas; el aparato respiratorio inferior está constituido por la laringe, la tráquea, los bronquios y los pulmones.

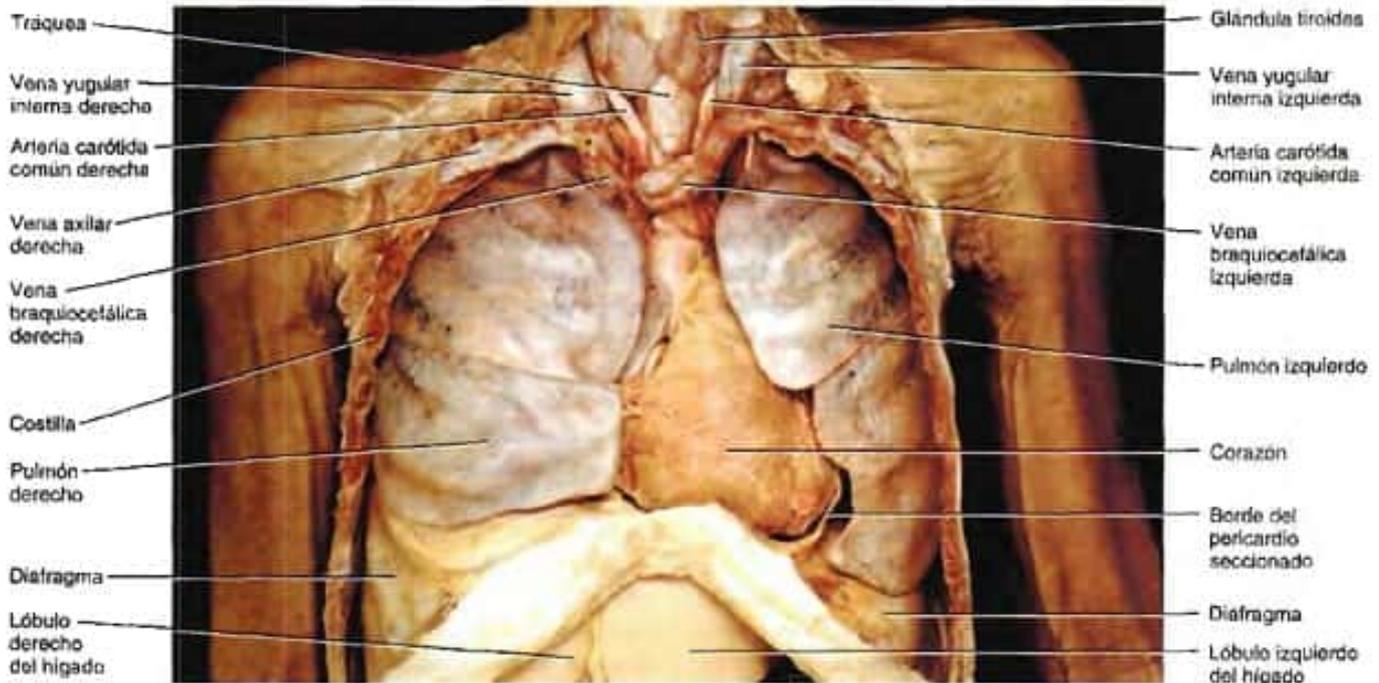


(a) Vista anterior que muestra los órganos de la respiración

**Funciones**

1. Interviene en el intercambio gaseoso: captación de O<sub>2</sub> para llevarlo a las células del organismo y eliminación del CO<sub>2</sub> producido por éstas.
2. Ayuda a regular el pH sanguíneo.
3. Contiene receptores para el sentido del olfato, filtra el aire inspirado, produce sonidos (fonación) y excreta pequeñas cantidades de agua y calor.

**SUPERIOR**

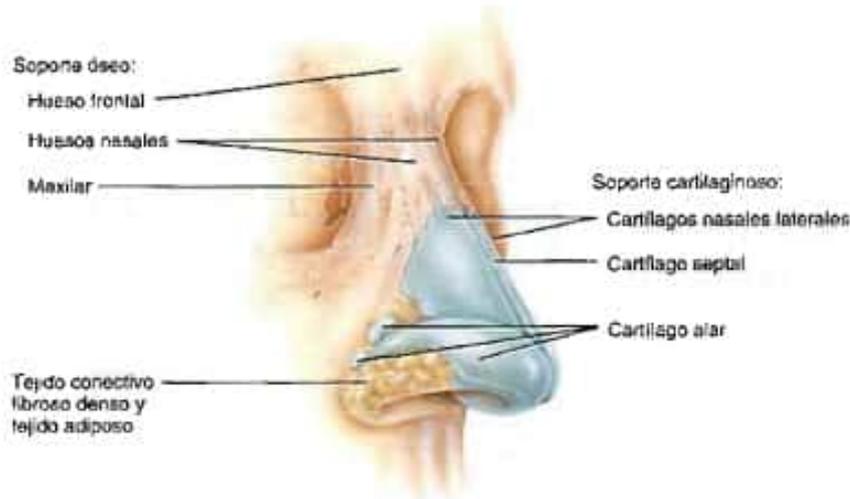


(b) Vista anterior de los pulmones después de retirar la pared torácica anterolateral y la pleura parietal

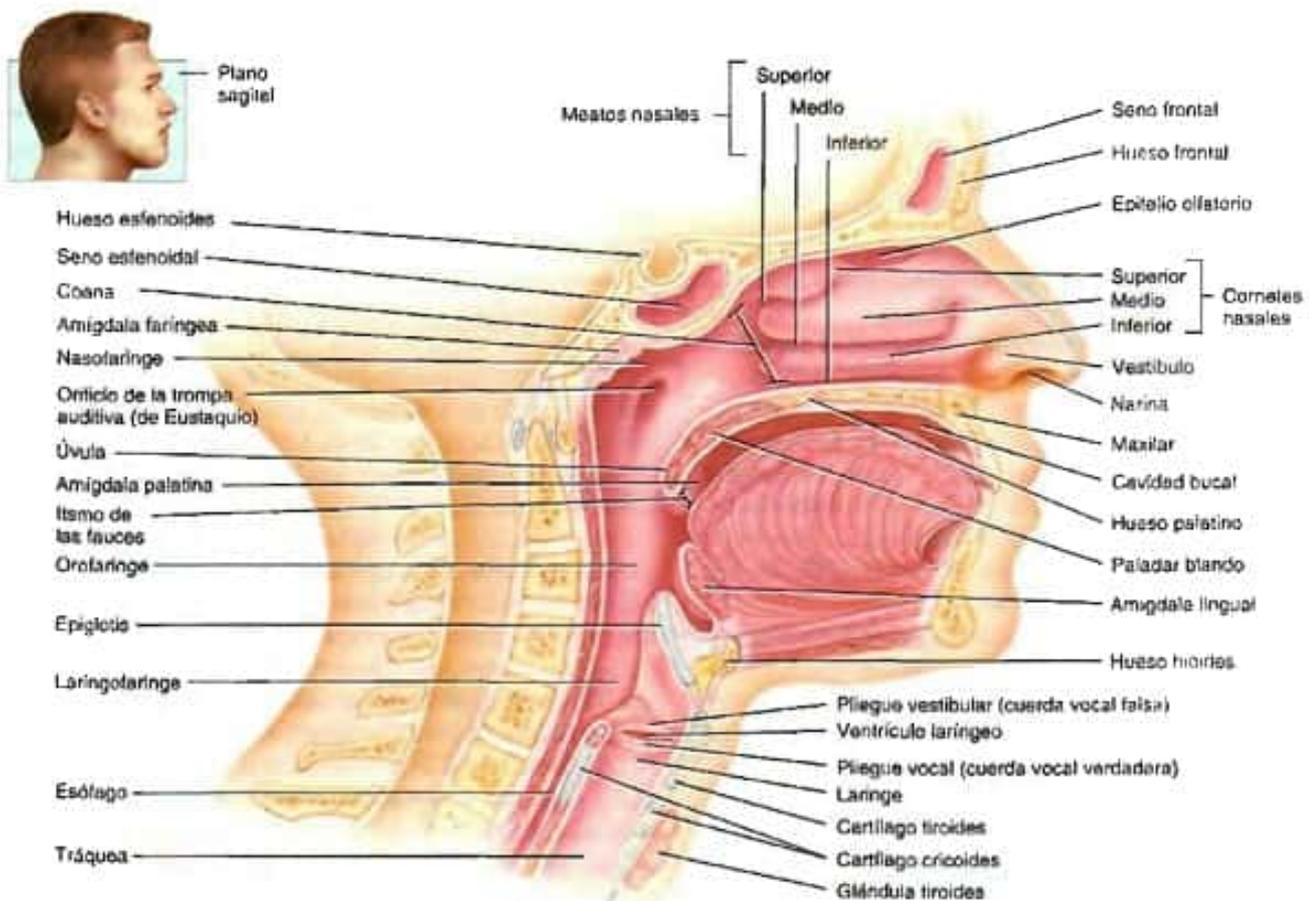
¿Qué estructuras forman parte de la zona de conducción del aparato respiratorio?

**Fig. 23-2 Estructuras respiratorias de la cabeza y el cuello.**

Cuando el aire pasa a través de la nariz, se calienta, se filtra, se humedece, y se produce la olfacción.



(a) Vista anterolateral de la porción externa de la nariz que muestra sus estructuras cartilaginosas y óseas



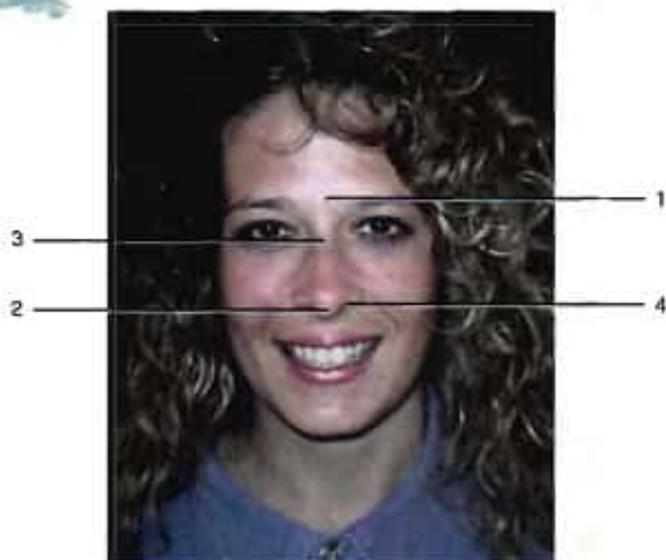
(b) Corteza sagital del lado izquierdo de la cabeza y cuello que muestra la localización de las estructuras respiratorias



¿Cuál es la vía que toman las moléculas de aire hacia el interior de la nariz y a través de ésta?

Fig. 23-3 Anatomía superficial de la nariz.

La nariz externa tiene un soporte cartilaginoso y un soporte óseo.



Vista anterior

1. **Raíz:** Unión superior de la nariz al hueso frontal
2. **Ápex o vértice:** Punta de la nariz
3. **Puente:** Soporte óseo de la nariz formado por los huesos nasales
4. **Ventana de la nariz:** Apertura externa de la cavidad nasal o narina

¿Qué parte de la nariz está unida al hueso frontal?

constituyen en conjunto el paladar duro, forman el techo de la nariz interna.

El espacio dentro de la nariz interna se llama **cavidad nasal**. La porción anterior de la cavidad nasal justo por dentro de las fosas nasales, denominada **vestíbulo**, está rodeada de cartilago; la parte superior de la cavidad nasal está rodeada de hueso. Una división vertical, el **tabique nasal**, divide la cavidad nasal en los lados derecho e izquierdo. La porción anterior del tabique está constituida fundamentalmente por cartilago hialino; el resto está formado por el vómer, la lámina perpendicular del etmoides, el maxilar y los huesos palatinos (véase fig. 7-11).

Cuando el aire entra en las fosas nasales, pasa primero a través del vestíbulo, cubierto por piel provista de vello grueso que filtra las partículas grandes de polvo. Tres láminas óseas formadas por las proyecciones superior, media e inferior de los cornetes nasales se extienden hacia fuera de cada pared lateral de la cavidad. El cornete, casi llegando al tabique, subdivide cada lado de la cavidad nasal en una serie de espacios en forma de surcos: los **meatos superior, medio e inferior** (de *meatus*, espacio o conducto). La mucosa nasal recubre la cavidad y sus cornetes. La disposición de éstos y de los meatos aumenta la superficie de la nariz interna e impide la deshidratación atrapando las gotitas de agua durante la espiración.

Los receptores olfatorios se hallan en una región de la membrana que reviste el cornete medio nasal y el tabique adyacente, llamada **epitelio olfatorio**. En posición inferior al epitelio olfatorio, la

mucosa contiene capilares y epitelio cilíndrico pseudoestratificado ciliado con células caliciformes. A medida que el aire inspirado se desplaza alrededor de los cornetes y los meatos, es calentado por la sangre en los capilares. El moco secretado por las células caliciformes humedece el aire y atrapa las partículas de polvo. El drenaje de los conductos nasolagrimales también contribuye a humidificar el aire, las secreciones de los senos paranasales. Los cilios desplazan el moco y las partículas de polvo atrapadas hacia la faringe, punto en el cual se pueden deglutir o escupir, de manera que son eliminados del aparato respiratorio.

### ► PREGUNTAS DE REVISIÓN

1. ¿Qué funciones tienen en común los aparatos respiratorio y cardiovascular?
2. ¿Qué características estructurales y funcionales son diferentes en los aparatos respiratorios superior e inferior?
3. Comparar la estructura y las funciones de la nariz externa y la nariz interna.

## Faringe

La **faringe**, o garganta, es un conducto con forma de embudo de unos 13 cm de largo que comienza en las fosas nasales internas y se extiende hasta el nivel del cartilago cricoides, el más inferior de la laringe (fig. 23-4). Es posterior a las cavidades bucal y nasal, y anterior a la columna cervical. Su pared está formada por músculo esquelético y revestida por una membrana mucosa. Constituye un conducto para el paso del aire y los alimentos, provee una cámara de resonancia para los sonidos del habla, y alberga a las amígdalas, que participan en las reacciones inmunitarias contra los invasores externos.

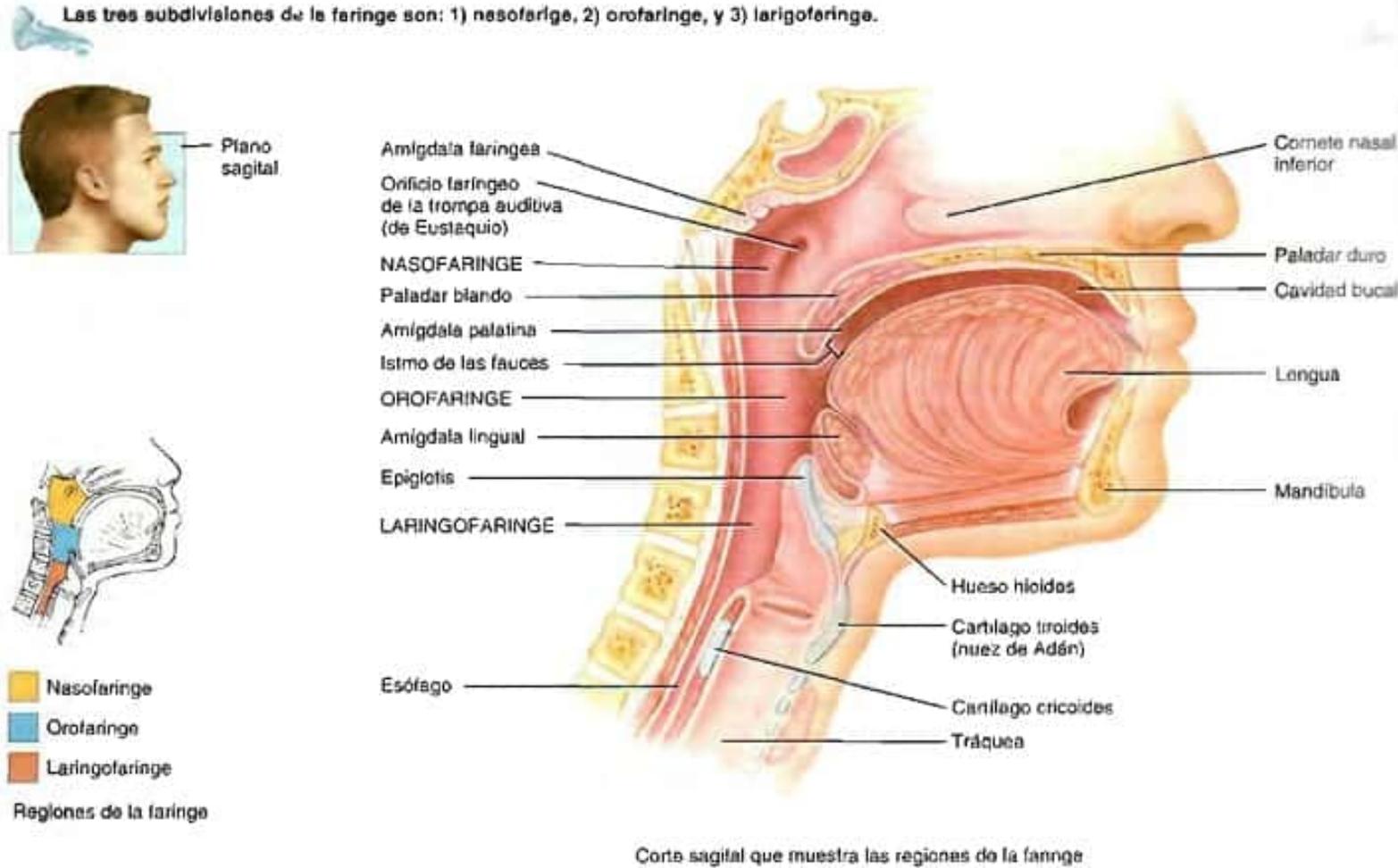
La faringe se puede dividir en tres regiones anatómicas: 1) la nasofaringe, 2) la orofaringe, y 3) la laringofaringe (véase el esquema inferior de la figura 23-4). Los músculos de toda la faringe están dispuestos en dos capas, una capa externa circular y una capa interna longitudinal.

La porción superior de la faringe, llamada **nasofaringe**, se encuentra por detrás de la cavidad nasal y se extiende hasta el paladar blando. Su pared tiene cinco aberturas: dos fosas nasales internas, dos orificios que se comunican con las trompas auditivas (faringo-timpánicas) conocidas como trompas de Eustaquio y la abertura hacia la orofaringe. La pared posterior también contiene a la **amígdala faríngea**. A través de las fosas nasales internas, la nasofaringe recibe el aire desde la cavidad nasal junto con grumos de moco cargados de polvo. La nasofaringe está cubierta con epitelio cilíndrico pseudoestratificado ciliado, y los cilios mueven el moco hacia la parte más baja de la faringe. La nasofaringe también intercambia pequeñas cantidades del aire con las trompas auditivas para equilibrar la presión de aire entre la faringe y el oído medio.

La porción intermedia de la faringe, la **orofaringe**, yace por detrás de la cavidad bucal y se extiende desde el paladar blando en dirección inferior hasta el nivel del hueso hioides. Tiene una sola abertura, el istmo de las fauces, que es el paso desde la boca. Esta

Fig. 23-4 Laringe.

Las tres subdivisiones de la faringe son: 1) nasofaringe, 2) orofaringe, y 3) laringofaringe.



¿Cuáles son los bordes superior e inferior de la faringe?

porción de la faringe ejerce tanto funciones respiratorias como digestivas, y sirve como un pasaje común para el aire, los alimentos y los líquidos. Puesto que la orofaringe es susceptible a la abrasión por las partículas alimenticias, está revestida de epitelio plano estratificado no queratinizado. En la orofaringe se encuentran dos pares de amígdalas, las **palatinas** y las **linguales**.

La porción inferior de la faringe, la **laringofaringe** o **hipofaringe**, comienza a nivel del hueso hioides. Se abre hacia el esófago (conducto alimenticio) en su parte posterior y hacia la laringe en su parte anterior. Como la orofaringe, la laringofaringe es una vía tanto respiratoria como digestiva y está revestida de epitelio pavimentoso estratificado no queratinizado.

## Laringe

La **laringe**, es un pasaje corto que conecta la laringofaringe con la tráquea. Se encuentra en la línea media del cuello por delante del esófago y las vértebras cervicales cuarta a sexta (CIV-CVI).

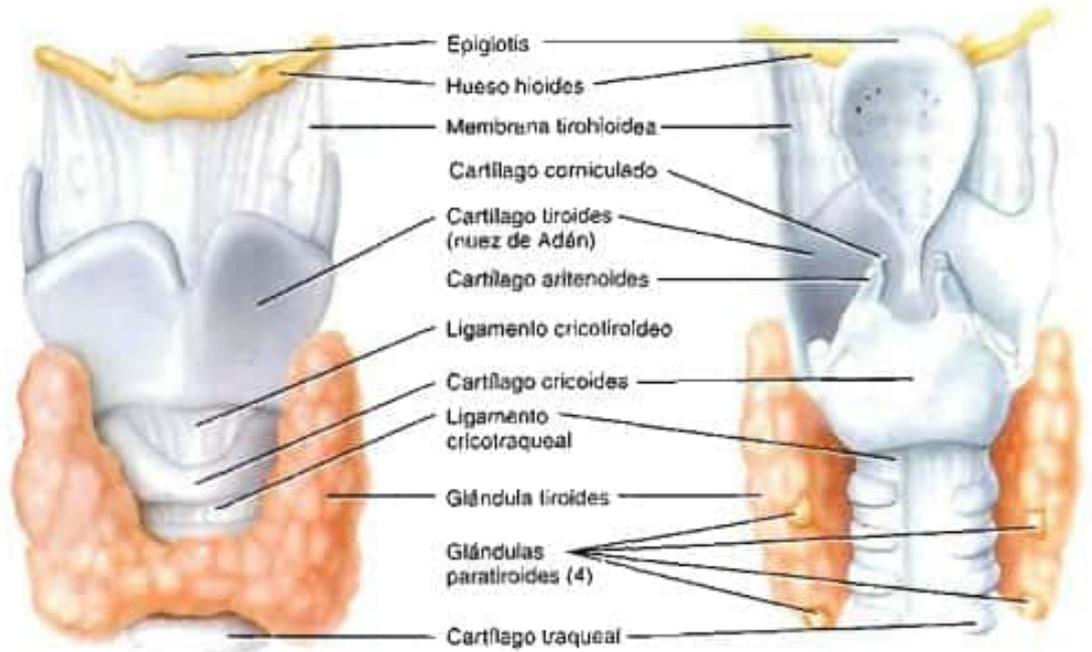
La pared de la laringe está compuesta por nueve piezas de cartilago (fig. 23-5). Tres son impares (cartilago tiroides, epiglotis y cartilago cricoides) y tres son pares (cartilagos aritenoides, cuneiformes y corniculados). De los cartilagos pares, los aritenoides son los más importantes porque influyen en los cambios de posición y la tensión de los pliegues vocales (cuerdas vocales verdaderas del habla). Los músculos extrínsecos de la laringe conectan a los cartilagos con otras estructuras en la tráquea; los músculos intrínsecos unen a los cartilagos entre sí.

El **cartilago tiroides (nuez de Adán)** consta de dos láminas de cartilago hialino fusionadas que forman la pared anterior de la laringe y le dan una forma triangular. Está presente tanto en los hombres como en las mujeres, pero por lo general es más grande en los hombres por la influencia de las hormonas sexuales masculinas durante la pubertad. El ligamento que une al cartilago tiroides con el hueso hioides se llama **membrana tirohioides**.

La **epiglotis** (de *-epi*, sobre, y *-glotis*, de *glōssa*, lengua) es un cartilago elástico grande, con forma de hoja, cubierto de epitelio

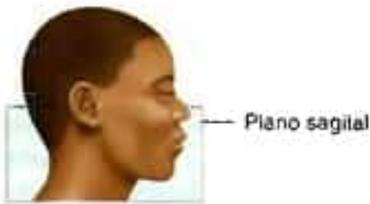
Fig. 23-5 Laringe.

La laringe está compuesta por nueve piezas cartilagosas.



(a) Vista anterior

(b) Vista posterior



(c) Corte sagital

¿Cómo evita la epiglotis la aspiración de alimentos y líquidos?

(véase también **fig. 23-4**). El "tallo" de la epiglotis es un adelgazamiento de la porción inferior que está unido al borde anterior del cartílago tiroideo y al hueso hioides. La parte superior de la "hoja" de la epiglotis es libre y puede moverse hacia arriba y hacia abajo como una puerta trampa. Al tragar, la faringe y la laringe ascienden. La elevación de la faringe la ensancha para recibir al alimento o la bebida; la elevación de la laringe hace que la epiglotis se mueva hacia abajo y cubra como una tapa a la glotis, cerrándola. La **glotis** consiste en un par de pliegues de membrana mucosa, los pliegues vocales (cuerdas vocales verdaderas) en la laringe, y el espacio entre éstas llamado la **rima** o **hendidura glótica**. El cierre de la laringe de esta manera durante la deglución dirige los líquidos y el alimento hacia el esófago y los mantiene fuera de la laringe y las vías aéreas. Cuando pequeñas partículas de polvo, humo, comida o líquidos pasan a la laringe, se produce un reflejo rúfgeno, que por lo general expulsa el material.

El **cartílago cricoides** es un anillo de cartílago hialino que forma la pared inferior de la laringe. Está unido al primer anillo cartilaginoso de la tráquea por el **ligamento cricotraqueal**. El cartílago tiroideo está unido al cartílago cricoides por el **ligamento cricotiroideo**. El cartílago cricoides es la referencia para obtener una vía aérea de emergencia.

Los **cartílagos aritenoides pares** (*aritenoides* = tipo cucharón) son dos piezas triangulares de cartílago predominantemente hialino localizados en el borde posterior superior del cartílago cricoides. Se unen a los pliegues vocales y a los músculos faríngeos intrínsecos. Sostenidos por los cartílagos aritenoides, los músculos faríngeos intrínsecos contraen y mueven a los pliegues vocales para producir sonidos.

Los **cartílagos corniculados** son dos piezas con forma de cuerno de cartílago elástico, situados en el vértice de cada cartílago aritenoides. Representan estructuras de sostén para la epiglotis.

Los **cartílagos cuneiformes**, también pares, son cartílagos elásticos con forma de cuña o de maza localizados por delante de los cartílagos corniculados, que sostienen a los pliegues vocales y las caras laterales de la epiglotis.

El revestimiento de la laringe superior hasta las cuerdas vocales está formado por epitelio plano o pavimentoso estratificado no queratinizado. El de la laringe inferior hasta las cuerdas vocales es epitelio cilíndrico pseudoestratificado ciliado que presenta células cilíndricas ciliadas, células caliciformes y células basales. El moco que producen las células caliciformes ayuda a atrapar el polvo no eliminado en los conductos anteriores. Los cilios en el tracto respiratorio superior mueven el moco y las partículas atrapadas *hacia abajo*, hacia la faringe; los cilios en el tracto respiratorio inferior lo desplazan *hacia arriba*, hacia la faringe.

## Las estructuras que generan la voz

La mucosa de la laringe forma dos pares de pliegues (**fig. 23-5c**): un par superior llamado **pliegues vestibulares** (**cuerdas vocales falsas**) y un par inferior llamado **pliegues vocales** (**cuerdas vocales verdaderas**). El espacio entre los pliegues vestibulares es conocido como la **rima** o **hendidura vestibular** o hendidura del vestibulo de la laringe. El **ventrículo laríngeo** o (**seno laríngeo**) es una expansión lateral de la porción media de la cavidad laríngea por de-

bajo de los pliegues vestibulares y por arriba de los pliegues vocales (véase **fig. 23-2b**).

Cuando los pliegues vestibulares se juntan, permiten contener la respiración en contra de la presión en la cavidad torácica, como cuando se trata de levantar un objeto pesado. Profundamente con respecto a la mucosa de los pliegues vocales, que está tapizada por epitelio pavimentoso estratificado no queratinizado, se encuentran bandas de ligamentos elásticos que se encuentran estirados entre piezas de cartílago rígido como las cuerdas de una guitarra. Los músculos intrínsecos de la laringe se insertan en el cartílago rígido como a los pliegues vocales. Cuando los músculos se contraen, tensan los ligamentos elásticos y llevan a las cuerdas vocales hacia la vía aérea de manera que la hendidura glótica se estrecha. Si se dirige el aire contra los pliegues vocales, éstos vibran y producen sonidos (fonación) y forman ondas en la columna de aire de la faringe, la nariz y la boca. Cuanto mayor es la presión del aire, más fuerte es el sonido.

Cuando los músculos intrínsecos de la laringe se contraen, traccionan de los cartílagos aritenoides, lo cual hace que pivoten. La contracción de los músculos cricoaritenoides posteriores, por ejemplo, separa a los pliegues vocales (abducción) abriendo así la rima glótica (**fig. 23-6a**). En contraste, la contracción de los músculos cricoaritenoides laterales aproxima a los pliegues vocales (aducción) y cierra así la rima glótica (**fig. 23-6b**). Otros músculos intrínsecos pueden alargar (y provocar tensión) o acortar (y relajar) los pliegues vocales.

La tensión de los pliegues vocales controla el tono del sonido. Al ser tensados por los músculos, vibran más rápido y producen un tono más alto. La disminución de la tensión muscular sobre los pliegues vocales hace que vibren más lentamente y produzcan sonidos de un tono más bajo. Como resultado de la influencia de los andrógenos (hormonas sexuales masculinas), los pliegues vocales son por lo general más gruesos y más largos en los hombres que en las mujeres, y por lo tanto vibran con menor frecuencia. De ahí que la voz de un hombre tiene por lo general un tono más grave que el de la mujer.

El sonido se origina por la vibración de los pliegues vocales, pero se requieren otras estructuras para convertir el sonido en un lenguaje reconocible. La faringe, la boca, la cavidad nasal y los senos paranasales actúan como cámaras de resonancia que le dan a la voz su calidad humana e individual. Nosotros producimos los sonidos de las vocales contrayendo y relajando los músculos de la pared de la faringe. Los músculos de la cara, la lengua y los labios ayudan a pronunciar las palabras.

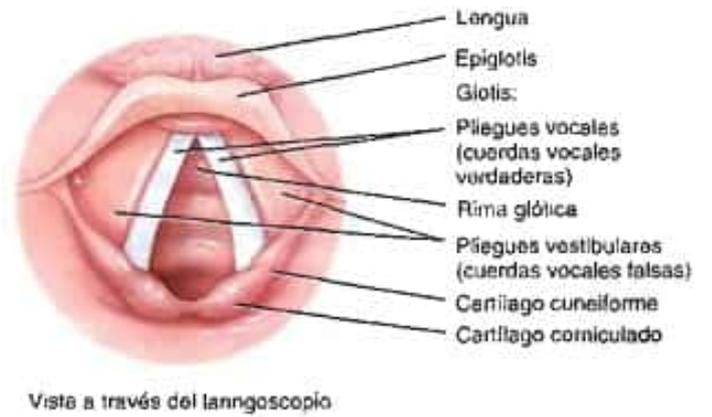
Los susurros se logran cerrando toda la rima glótica excepto su porción posterior. Como los pliegues vocales no vibran durante el susurro, esta forma de habla no tiene tono. Sin embargo, podemos producir habla inteligible mientras susurramos cambiando la forma de la cavidad bucal a medida que pronunciamos las palabras. Como el tamaño de la cavidad bucal se modifica, sus cualidades de resonancia cambian, y ello imparte un tono de tipo de vocal al aire que se dirige rápidamente hacia los labios.

## Laringitis y cáncer de laringe

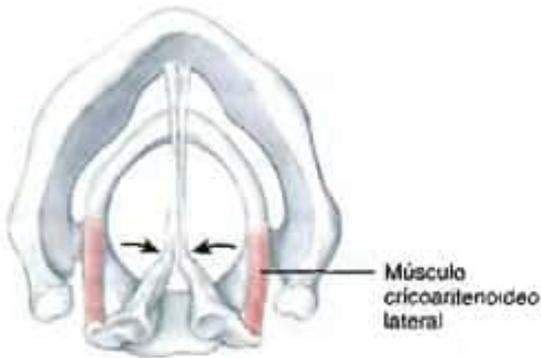
La **laringitis** es una inflamación de la laringe causada a menudo por una infección respiratoria o por irritantes como el humo del

**Fig. 23-6** Movimiento de las cuerdas vocales.

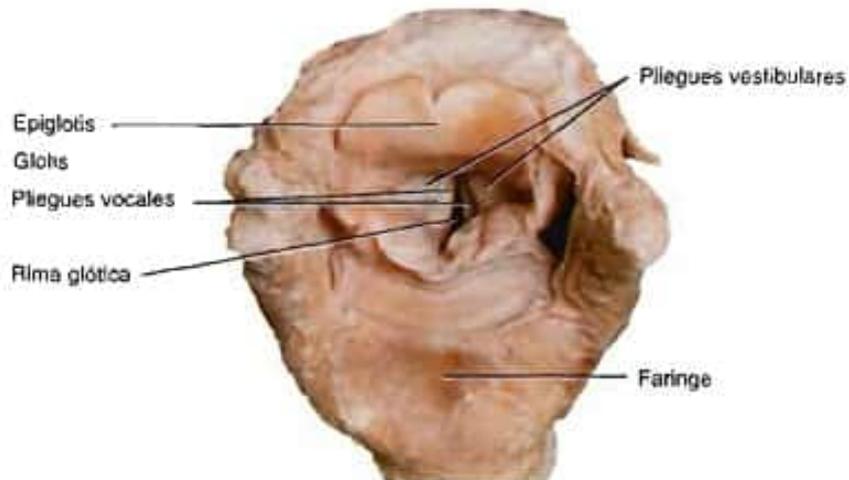
La glotis consiste en un par de repliegues mucosos en la laringe (las cuerdas vocales) y el espacio entre éstas.



(a) Movimiento de las cuerdas vocales hacia afuera (abducción)



(b) Movimiento de las cuerdas vocales hacia adentro (aducción)



(c) Vista superior

¿Cuál es la función principal de los pliegues vocales?

cigarrillo. La inflamación de los pliegues vocales provoca ronquera o pérdida de la voz porque dificulta la contracción de los pliegues vocales o causa la tumefacción de éstos hasta el punto de que no pueden vibrar libremente. Muchos fumadores de larga data adquieren ronquera permanente por el daño que ocasiona la inflamación crónica. El **cáncer de laringe** se presenta casi exclusivamente en los fumadores. Se caracteriza por ronquera, odinofagia (dolor al tragar) o dolor que se irradia al oído. El tratamiento consiste en radioterapia y/o cirugía. ■

## Tráquea

La **tráquea** es un conducto aéreo tubular que mide aproximadamente 12 cm de largo y 2.5 cm de diámetro. Se localiza por delante del esófago (fig. 23-7) y se extiende desde la laringe hasta el borde superior de la quinta vértebra torácica, donde se divide en los bronquios primarios derecho e izquierdo (fig. 23-8).

La pared de la tráquea está compuesta por las capas siguientes, de la más profunda a la más superficial: 1) mucosa; 2) submucosa; 3) cartilago hialino y 4) adventicia (formada por tejido conectivo). La mucosa de la tráquea consiste en una capa de epitelio cilíndrico ciliado pseudoestratificado y una capa subyacente de lámina propia que contiene fibras elásticas y reticulares. El epitelio cilíndrico ciliado

pseudoestratificado presenta células cilíndricas ciliadas y células caliciformes que llegan a la superficie luminal, además de células basales, que no lo hacen (**cuadro 4-1e**); provee la misma protección contra el polvo atmosférico que la membrana de revestimiento de la cavidad nasal y la laringe. La submucosa está constituida por tejido conectivo areolar que contiene glándulas seromucosas y sus conductos.

Los 16 a 20 anillos incompletos, de cartilago hialino se parecen a la letra C y se hallan superpuestos. Se pueden percibir a través de la piel por debajo de la laringe. La parte abierta de cada anillo cartilaginoso mira al esófago (fig. 23-7), disposición que permite dar cabida a la ligera expansión del esófago en la tráquea durante la deglución. Las fibras musculares lisas transversales, llamadas **músculo traqueal**, y el tejido conectivo elástico estabilizan los extremos abiertos de los anillos cartilaginosos. Éstas representan un soporte semirrígido de manera que la pared traqueal no puede colapsarse hacia adentro (especialmente durante la inspiración) y obstruir el paso del aire. La adventicia consiste en tejido conectivo que une la tráquea a los tejidos circundantes.

## Traqueotomía e intubación

En algunas situaciones la obstrucción de la tráquea dificulta o impide el flujo aéreo. Por ejemplo, los anillos cartilaginosos que

Fig. 23-7 Localización de la tráquea en relación con el esófago.

La tráquea está por delante del esófago y se extiende desde la laringe hasta el borde superior de la quinta vértebra torácica.



Corte transversal de la tráquea y el esófago

¿Cuál es el beneficio de que no haya cartilago entre la tráquea y el esófago?

sostienen la tráquea pueden ser colapsados por un traumatismo cerrado del tórax; la inflamación de la mucosa puede determinar que ésta se ponga tan tumefacta que la vía aérea se cierra; el vómito o un objeto extraño puede ser aspirado hacia la vía aérea o un tumor canceroso puede hacer protrusión en su interior. Se usan dos métodos para restablecer el flujo de aire después de una obstrucción traqueal. Si la obstrucción es superior al nivel de la laringe, se puede realizar una **traqueotomía** (tráquea- + -tomía, de *tomé*, cortar), operación para crear una apertura en la tráquea. En este procedimiento, también llamado **traqueostomía** (-ostomía, de *stóma*, boca), se hace una incisión en la piel seguida de una incisión longitudinal pequeña en la tráquea por debajo del cartílago cricoides. El paciente puede entonces ventilar a través de un tubo traqueal metálico o de plástico in-

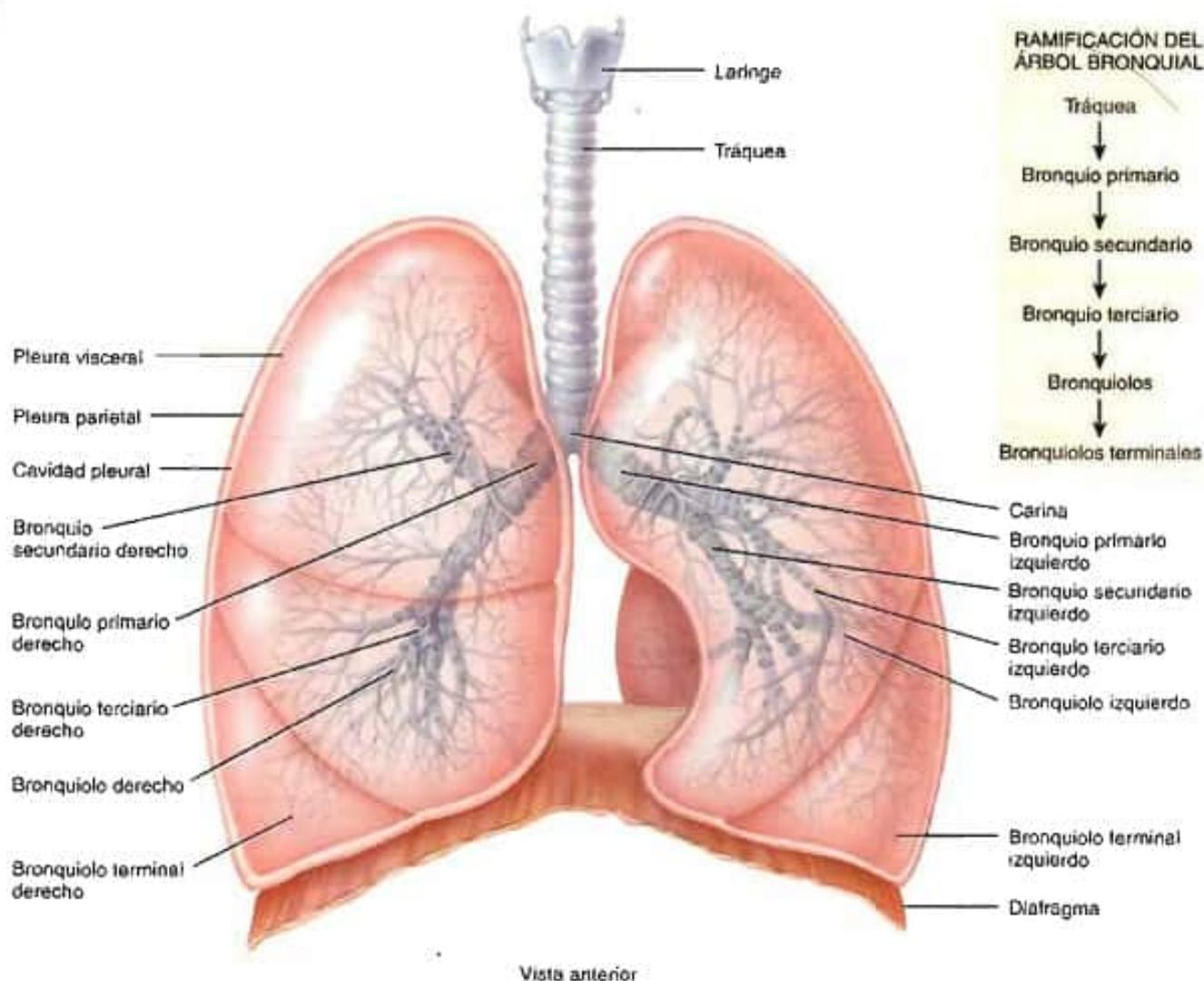
sertado a nivel de la incisión. El segundo método es la **intubación**, en el cual se coloca un tubo en la boca o la nariz y se pasa hacia abajo a través de la laringe y la tráquea. La pared firme del tubo rectifica cualquier flexión que produzca obstrucción, y su luz hace posible el flujo de aire; cualquier mucosidad que obstruya la tráquea puede ser aspirada por el tubo. ■

## Bronquios

En el borde superior de la quinta vértebra torácica, la tráquea se divide en un **bronquio primario derecho**, que va hacia el pulmón derecho, y un **bronquio primario izquierdo**, que va hacia el pulmón izquierdo (fig. 23-8). El bronquio primario derecho es más ver-

**Fig. 23-8** Ramificación de las vías aéreas desde la tráquea: el árbol bronquial.

El árbol bronquial comienza en la tráquea y finaliza en los bronquiolos terminales.



¿Cuántos lóbulos y bronquios secundarios están presentes en cada pulmón?

tial, más corto y más ancho que el izquierdo. A causa de ello es más fácil que un cuerpo extraño aspirado entre y se aloje en el bronquio primario derecho. Al igual que la tráquea, los bronquios primarios tienen anillos incompletos de cartilago y están cubiertos por epitelio cilíndrico ciliado pseudoestratificado.

En el punto en el que la tráquea se divide en los bronquios primarios derecho e izquierdo se forma una cresta interna llamada la **carina** (de *carina*, quilla) por una proyección posterior e inferior del último cartilago traqueal. La mucosa de la carina es una de las áreas más sensibles de toda la laringe y la tráquea para desencadenar el reflejo de la tos. El ensanchamiento y la distorsión de la carina es un signo serio porque por lo general indica un carcinoma de los ganglios linfáticos que rodean la región donde se divide la tráquea.

En la entrada de los pulmones, los bronquios primarios se dividen para formar bronquios más pequeños, los **bronquios secundarios (lobulares)**, uno para cada lóbulo del pulmón (el pulmón derecho tiene tres lóbulos y el pulmón izquierdo tiene dos). Los bronquios secundarios continúan ramificándose y dan lugar a bronquios aún más pequeños, llamados **bronquios segmentarios**, que se dividen en **bronquiolos**. Los bronquiolos, a su vez, se ramifican repetidamente, y los más pequeños se ramifican en tubos todavía de menor calibre, denominados **bronquiolos terminales**. Esta ramificación extensa a partir de la tráquea se asemeja a un árbol invertido y comúnmente recibe el nombre de **árbol bronquial**.

A medida que la ramificación se hace más extensa en el árbol bronquial, se pueden advertir diversos cambios estructurales:

1. En la mucosa del árbol bronquial, el epitelio cilíndrico ciliado pseudoestratificado en los bronquios primarios, secundarios y segmentarios se transforma en epitelio cilíndrico simple ciliado con algunas células caliciformes en los bronquiolos más grandes, en epitelio principalmente cúbico simple no ciliado sin células caliciformes en los bronquiolos más pequeños, y en epitelio cúbico simple no ciliado en los bronquiolos terminales (en regiones en las que está presente el epitelio cúbico simple no ciliado, las partículas inhaladas son eliminadas por los macrófagos).

2. Placas de cartilago reemplazan gradualmente a los anillos incompletos de cartilago en los bronquios primarios y finalmente desaparecen en los bronquiolos distales.

3. A medida que la cantidad de cartilago disminuye, aumenta la cantidad de músculo liso. Como no hay cartilago de sostén, sin embargo, los espasmos musculares pueden obstruir las vías aéreas. Esto es lo que sucede durante un ataque de asma, situación susceptible de poner en riesgo la vida.

Durante el ejercicio aumenta la actividad en la división simpática del sistema nervioso autónomo (SNA) y la médula suprarrenal libera las hormonas adrenalina y noradrenalina; estos dos acontecimientos provocan relajación del músculo liso de los bronquiolos, lo cual dilata las vías aéreas. Dado que el aire llega a los alvéolos más rápidamente, la ventilación pulmonar mejora. El sistema parasimpático del SNA y los mediadores de las reacciones alérgicas como la histamina tienen el efecto opuesto: causan contracción del músculo liso bronquiolar, que produce la constricción de los bronquiolos distales.

## ► PREGUNTAS DE REVISIÓN

4. Enumere el papel de cada una de las tres regiones anatómicas de la faringe en la ventilación.
5. ¿Cómo funciona la laringe en la ventilación y en la producción de la voz?
6. Describa la localización, estructura y función de la tráquea.
7. Describa la estructura del árbol bronquial.

## Pulmones

Los **pulmones** (de *pulmo*, liviano, porque flotan) son órganos pares, de forma cónica, situados en la cavidad torácica. Están separados uno del otro por el corazón y otras estructuras del mediastino, que divide a la cavidad torácica en dos compartimientos anatómicamente diferenciados. Por ello, si un traumatismo causa el colapso de un pulmón, el otro puede permanecer expandido. Dos capas de serosa, llamadas en conjunto **membrana pleural** (pleur-de *pleurós*, lado), encierran y protegen a cada pulmón. La capa superficial, la **pleura parietal**, tapiza la pared de la cavidad torácica; la capa profunda, la **pleura visceral**, reviste a los pulmones (fig. 23-9). Entre la pleura visceral y la parietal hay un pequeño espacio, la **cavidad pleural**, que contiene un escaso volumen de líquido lubricante secretado por las membranas. Este líquido pleural reduce la fricción entre las membranas y permite que se deslicen suavemente una sobre la otra durante la respiración. El líquido pleural también hace que las dos membranas se adhieran entre sí como una película de agua entre dos placas de vidrio, fenómeno llamado **tensión superficial**. Cavidades pleurales separadas rodean a los pulmones derecho e izquierdo. La inflamación de la membrana pleural, llamada **pleuritis**, puede causar dolor en sus estadios tempranos por la fricción entre las capas parietal y visceral de la pleura. Si la inflamación persiste, el exceso de líquido se acumula en el espacio pleural, estado conocido como **derrame pleural**.

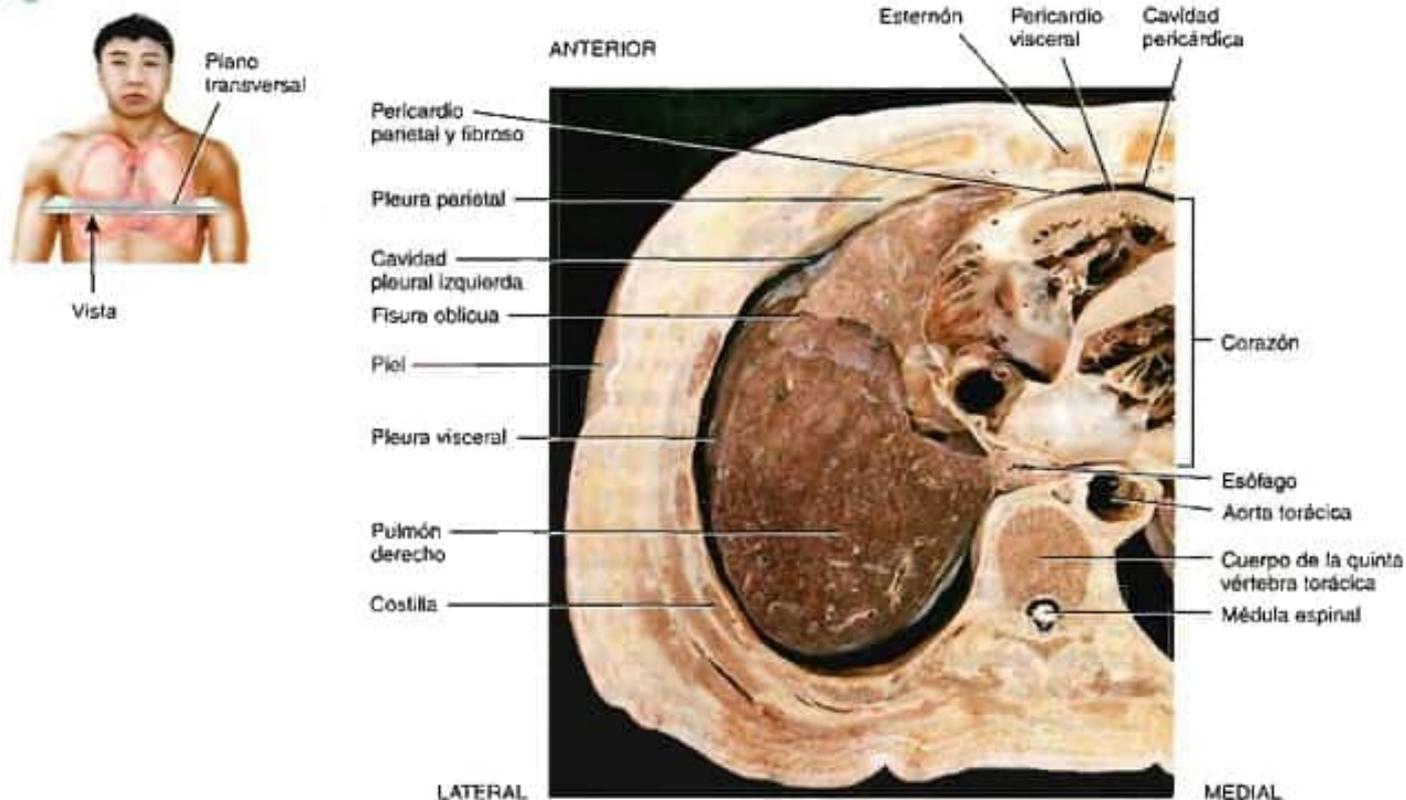
## Neumotórax y hemotórax

En condiciones patológicas, las cavidades pleurales se pueden llenar de aire (**neumotórax**, de *pnéuma*, aire o respiración), sangre (**hemotórax**) o pus (**piotórax**, de *pyon*, pus). El aire en las cavidades pleurales, que más comúnmente se introduce por la apertura quirúrgica del tórax o como resultado de una herida de arma blanca o de arma de fuego, puede provocar el colapso de una parte del pulmón, o en raras ocasiones de todo el pulmón, se llama **atelectasia** (de *áteles*, incompleto; *éxtasis*, expansión). El objetivo del tratamiento es la evacuación del aire (o sangre) del espacio pleural, lo cual permite que el pulmón vuelva a expandirse. Un neumotórax pequeño puede resolverse solo, pero a menudo es necesario insertar un tubo pleural para contribuir a la evacuación. ■

Los pulmones se extienden desde el diafragma hasta ligeramente por encima de las clavículas y se apoyan en las costillas hacia adelante y hacia atrás (fig. 23-10a). La porción ancha inferior del pul-

**Fig. 23-9** Relación de las membranas pleurales con los pulmones. La flecha indica la dirección desde la cual se ven los pulmones (inferior).

La pleura parietal reviste la cavidad torácica, mientras que la pleura visceral tapiza los pulmones.



Vista inferior de un corte transversal a través de la cavidad torácica que muestra la cavidad pleural y las membranas pleurales

¿Qué tipo de membrana es la membrana pleural?

món, la **base**, es cóncava y se amolda a la superficie convexa del diafragma. La porción angosta superior del pulmón es el **vértice**. La cara del pulmón que toma contacto con las costillas, la **cara costal**, concuerda con la curvatura redondeada de éstas. La **cara mediastínica (medial)** de cada pulmón contiene un región, el **hilio**, a través del cual el bronquio, los vasos sanguíneos pulmonares, los vasos linfáticos y los nervios entran y salen del órgano (fig. 23-10e). Estas estructuras se mantienen unidas por la pleura y el tejido conectivo y constituyen la **raíz del pulmón**. En su cara medial o interna, el pulmón izquierdo también presenta una concavidad, la **incisura o escotadura cardíaca**, en la que descansa el corazón. Como consecuencia del espacio ocupado por el corazón, el pulmón izquierdo es un 10% más pequeño que el pulmón derecho. A pesar de que el pulmón derecho es más grueso y más ancho, es también un poco más corto que el pulmón izquierdo porque el diafragma es más alto en el lado derecho, para dar cabida al hígado que yace por debajo.

Los pulmones llenan casi por completo el tórax (fig. 23-10a). El vértice pulmonar excede por arriba el tercio interno de las clavículas, y es la única área donde pueden ser palpados. Las caras anterior, late-

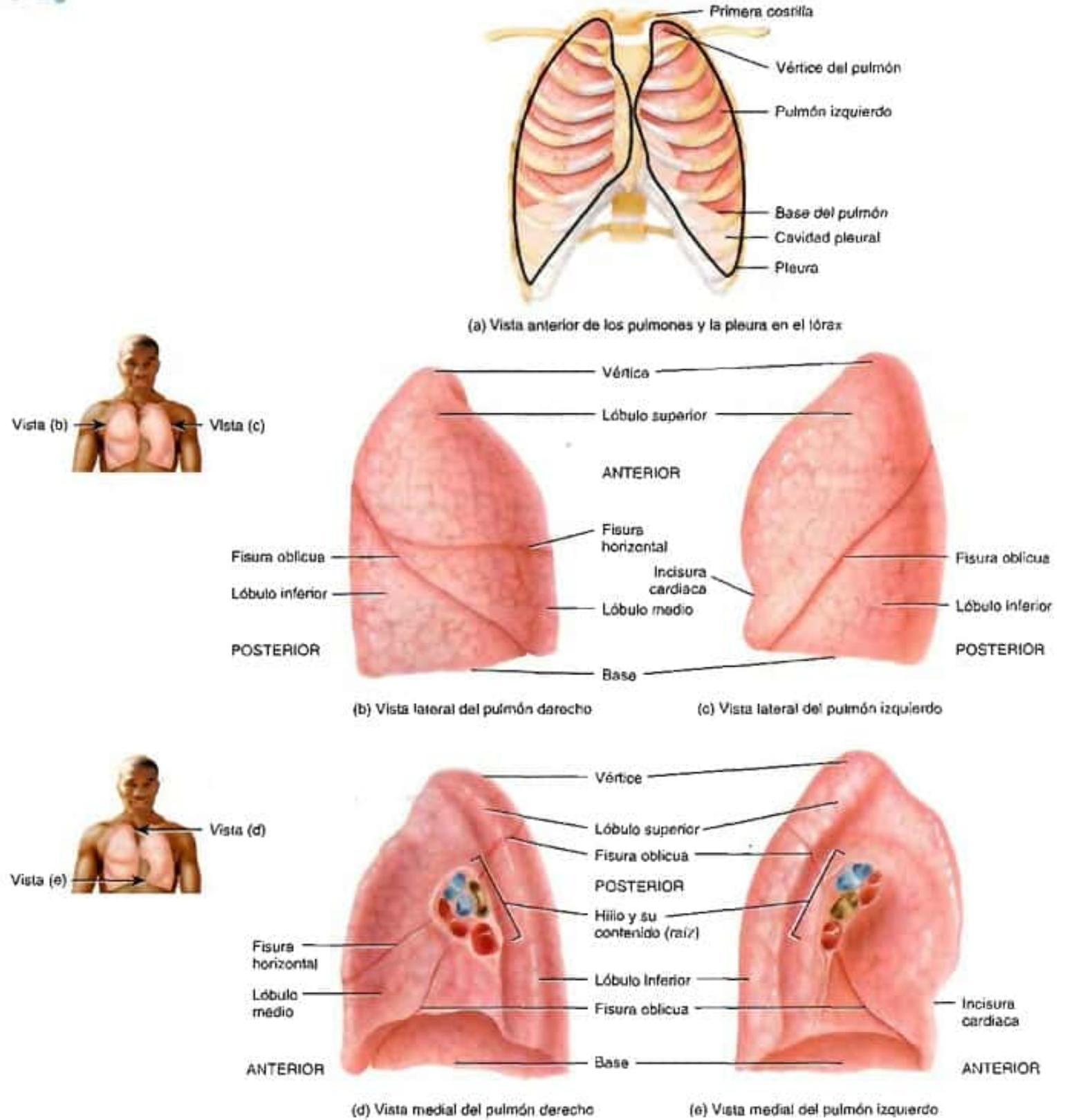
ral y posterior de los pulmones descansan sobre las costillas. La base de los pulmones se extiende desde el sexto cartílago costal por delante hasta la apófisis espinosa de la décima vértebra torácica por detrás. La pleura se extiende cerca de 5 cm por debajo de la base, desde el sexto cartílago costal anteriormente hasta la duodécima costilla posteriormente. Los pulmones, por lo tanto, no ocupan por completo la cavidad pleural en esta zona. La evacuación del exceso de líquido en la cavidad pleural puede lograrse sin dañar el tejido pulmonar insertando una aguja hacia atrás, a través del séptimo espacio intercostal, procedimiento llamado **toracocentesis** (de *kenteesis*, punción). La aguja se introduce por el borde superior de la costilla inferior para evitar la lesión de los nervios intercostales y los vasos sanguíneos. Por debajo del séptimo espacio intercostal hay peligro de atravesar el diafragma.

### Lóbulos y fisuras

Una o dos fisuras dividen a cada pulmón en lóbulos (figs. 23-10b-e). Ambos pulmones tienen una **fisura oblicua**, que se extiende inferior y anteriormente; el pulmón derecho también tiene una fisu-

**Fig. 23-10 Anatomía superficial de los pulmones.**

La fisura oblicua divide al pulmón izquierdo en dos lóbulos. Las fisuras oblicua y horizontal dividen al pulmón derecho en tres lóbulos.



¿Por qué los pulmones derecho e izquierdo presentan pequeñas diferencias en cuanto a su tamaño y su forma?

ra horizontal. La fisura oblicua del pulmón izquierdo separa al **lóbulo superior** del **lóbulo inferior**. En el pulmón derecho, la parte superior de la fisura oblicua separa al **lóbulo superior** del **lóbulo inferior**; la parte inferior de la fisura oblicua separa al **lóbulo inferior** del **lóbulo medio**, que está rodeado en su parte superior por la fisura horizontal.

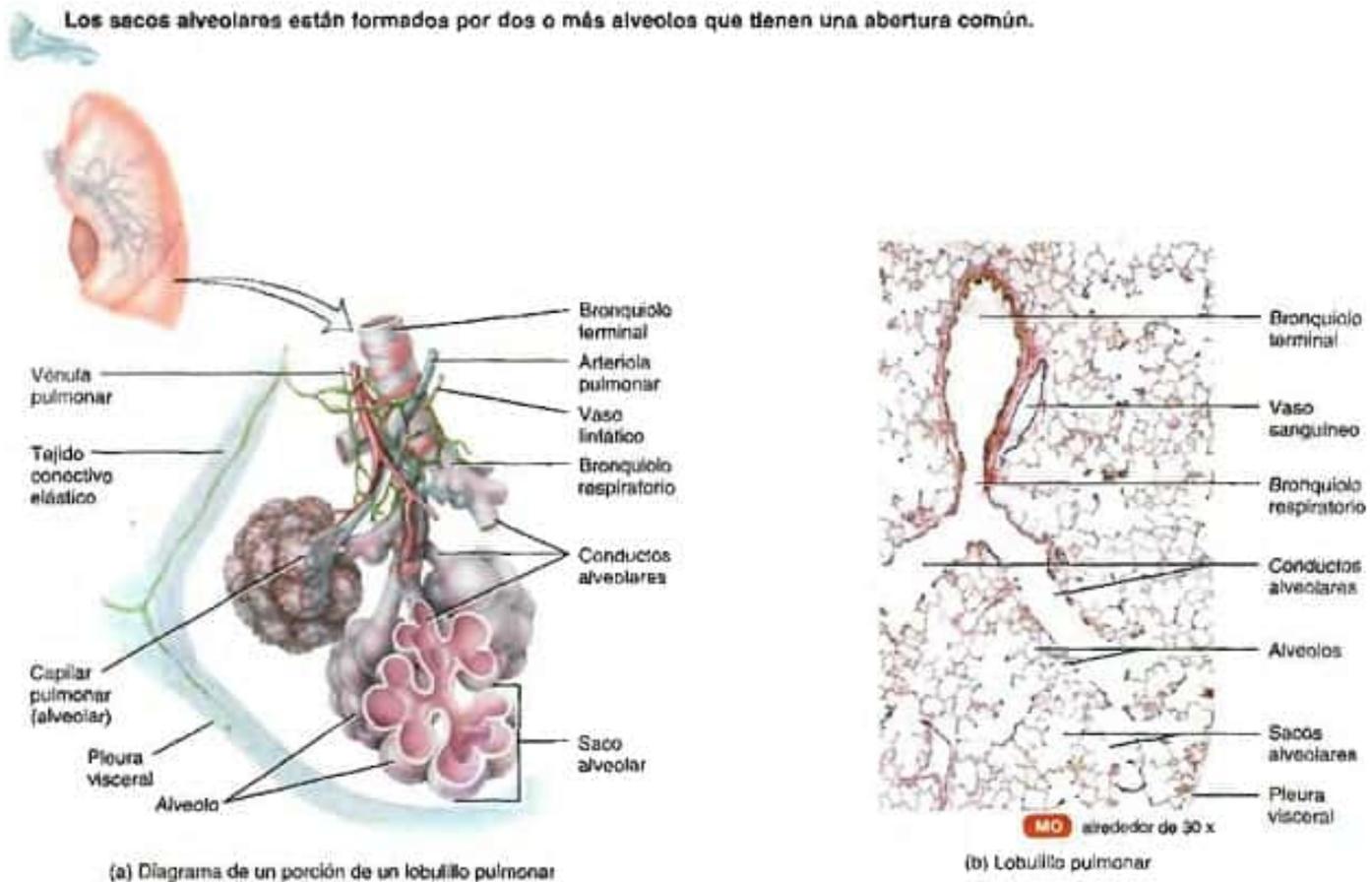
Cada lóbulo recibe su propio bronquio secundario (lobular). De tal modo, el bronquio primario derecho da origen a tres bronquios secundarios (lobulares) llamados **bronquios secundarios (lobulares) superior, medio e inferior**, y el bronquio primario izquierdo da origen a los **bronquios secundarios (lobulares) superior e inferior**. Dentro del pulmón, a partir de los bronquios secundarios se forman los **bronquios terciarios (segmentarios)**, que son iguales tanto en su origen como en su distribución; hay 10 bronquios terciarios en cada pulmón. El segmento de tejido pulmonar al cual abastece cada bronquio terciario se llama **segmento broncopulmonar**. Las lesiones bronquiales y pulmonares (como los tumores y los abscesos) que se localizan en un segmento broncopulmonar pueden ser eliminadas quirúrgicamente sin una alteración seria del tejido pulmonar circundante.

Cada segmento broncopulmonar tiene muchos compartimientos pequeños llamados **lóbulillos**; cada lóbulillo está envuelto en tejido conectivo elástico y contiene un vaso linfático, una arteriola, una vénula y una rama de un bronquiolo terminal (fig. 23-11a). Los bronquiolos terminales se subdividen en ramas microscópicas llamadas **bronquiolos respiratorios** (fig. 23-11b). A medida que éstos penetran más profundamente en los pulmones, el revestimiento epitelial cambia de cúbico simple a pavimentoso simple. Los bronquiolos respiratorios, a su vez, se subdividen en varios (2-11) **conductos alveolares**. Las vías aéreas desde la tráquea hasta los conductos alveolares presentan alrededor de 25 órdenes de ramificación: la ramificación de la tráquea en los bronquios primarios se llama ramificación de primer orden; la de los bronquios primarios en bronquios secundarios se llama ramificación de segundo orden, y así sucesivamente hasta los conductos alveolares.

### Alveolos

Alrededor de la circunferencia de los conductos alveolares se encuentran numerosos alveolos y sacos alveolares. Un **alveolo** (di-

Fig. 23-11 Histología de un lóbulo pulmonar.



¿Qué tipos de células forman la pared del alveolo?

minutivo de *alveus*, cavidad) es una especie de celdilla con forma de copa recubierta por epitelio pavimentoso simple y sostenida por una membrana basal elástica fina; un **saco alveolar** consiste en dos o más alveolos que comparten una abertura común (figs. 23-11a y b). Las paredes de los alveolos tienen dos tipos de células epiteliales alveolares (fig. 23-12). Las más numerosas son las **células alveolares (neumonocitos) de tipo I**, células epiteliales pavimentosas simples que la forman un revestimiento casi continuo a la pared alveolar. Las **células alveolares de tipo II**, también llamadas **células septales**, son más escasas en número y se disponen entre las células alveolares de tipo I. Las delgadas células alveolares de tipo I son el sitio principal de intercambio gaseoso. Las células alveolares de tipo II, rodeadas por células epiteliales cúbicas cuyas superficies libres contienen microvellosidades, secretan líquido alveolar, que mantiene húmeda la superficie entre las células y el aire. Incluido en el líquido alveolar se

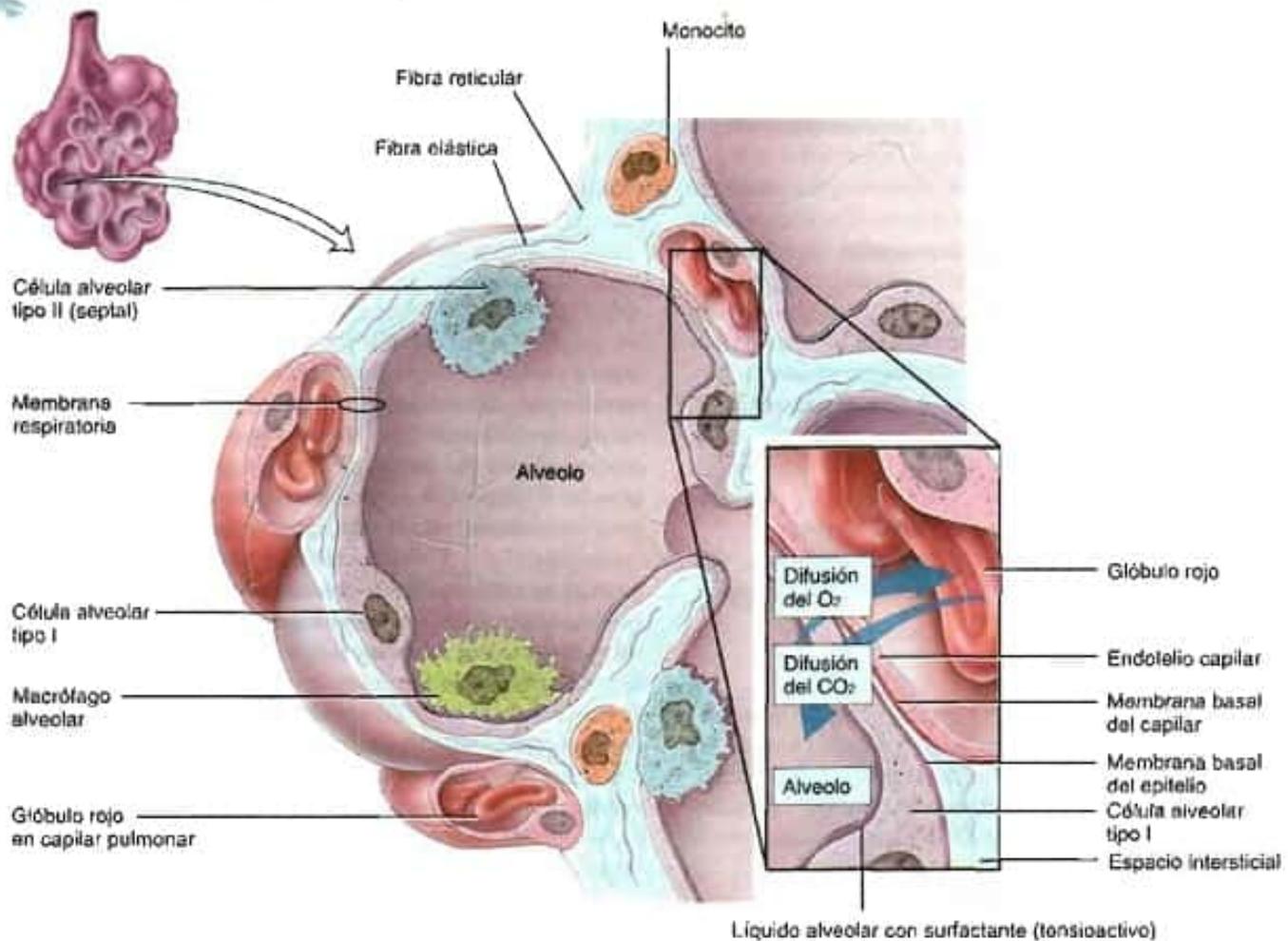
encuentra el **surfactante** (agente tensioactivo), una mezcla compleja de fosfolípidos y lipoproteínas. El surfactante o tensioactivo disminuye la tensión superficial del líquido alveolar, lo cual reduce la tendencia de los alveolos a colapsarse (véase más adelante).

Los **macrófagos alveolares (células de polvo)**, asociados con la pared alveolar, son fagocitos que eliminan las finas partículas de polvo y otros detritos de los espacios alveolares. También están presentes fibroblastos que producen fibras elásticas y reticulares. Por debajo de la capa de las células alveolares de tipo I hay una membrana basal elástica. En la superficie externa de los alveolos, las arteriolas y las vénulas alveolares se dispersan en una red de capilares sanguíneos (véase fig. 23-11a) compuestos por una sola capa de células endoteliales y membrana basal.

El intercambio de  $O_2$  y  $CO_2$  entre los espacios aéreos en los pulmones y la sangre tiene lugar por difusión a través de las paredes al-

**Fig. 23-12** Componentes estructurales de un alveolo. La membrana respiratoria consiste en una capa de células alveolares de tipo I y tipo II, la membrana basal del epitelio, la membrana basal del capilar y el endotelio capilar.

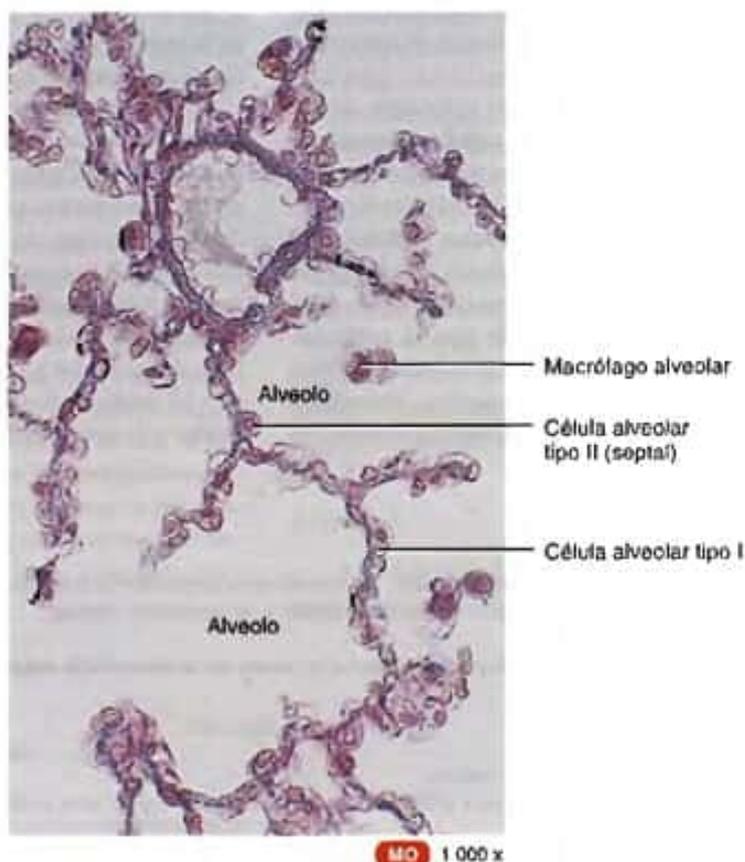
El intercambio de gases respiratorios se produce por difusión a través de la membrana respiratoria.



(a) Corte a través de un alveolo que muestra sus componentes celulares

(b) Detalles de la membrana respiratoria

Fig. 23-12 (continuación).



(c) Detalles de varios alveolos

¿Cuál es el espesor de la membrana respiratoria?

veolar y capilar, que juntas forman la **membrana respiratoria**. Extendiéndose desde el espacio aéreo alveolar al plasma sanguíneo, la membrana respiratoria consta de cuatro capas (fig. 23-12b):

1. Una capa de células alveolares de tipo I y tipo II y macrófagos alveolares asociados que constituyen la **pared alveolar**.
2. La **membrana basal epitelial** por debajo de aquella.
3. Una **membrana basal capilar** que a menudo está fusionada con la membrana basal epitelial.
4. El **endotelio capilar**.

A pesar de tener diversas capas, la membrana respiratoria es muy fina—sólo  $0.5\ \mu\text{m}$  de espesor, alrededor de  $1/16$  del diámetro de un glóbulo rojo— para permitir la rápida difusión de gases. Se ha estimado que los pulmones contienen 300 millones de alveolos, los cuales proporcionan una inmensa superficie de  $70\ \text{m}^2$ , aproximadamente el tamaño de una cancha de tenis, para el intercambio gaseoso.

### Circulación pulmonar

Los pulmones reciben sangre a través de dos grupos de arterias: las arterias pulmonares y las arterias bronquiales. La sangre desoxi-

genada pasa a través del tronco pulmonar, que se divide en una arteria pulmonar izquierda que entra en el pulmón izquierdo y una arteria pulmonar derecha que entra en el pulmón derecho (las arterias pulmonares son las únicas del organismo que llevan sangre desoxigenada). El regreso de la sangre oxigenada al corazón se cumple por las cuatro venas pulmonares, que drenan en la aurícula izquierda (véase fig. 21-29). Una característica particular de los vasos pulmonares es su contracción en respuesta a la hipoxia (bajo nivel de  $\text{O}_2$ ) localizada. En todos los demás tejidos del organismo, la hipoxia provoca dilatación de los vasos sanguíneos en el intento de aumentar el flujo sanguíneo. En los pulmones, sin embargo, la vasoconstricción en respuesta a la hipoxia desvía a la sangre arterial pulmonar desde las áreas mal ventiladas de los pulmones a las regiones bien ventiladas. Este fenómeno es conocido como **acoplamiento o relación ventilación-perfusión** porque la perfusión (flujo sanguíneo) de cada área de los pulmones se vincula con el grado de ventilación (flujo de aire) de los alveolos en esa área.

Las arterias bronquiales, que son ramas de la aorta, suministran al pulmón sangre oxigenada. Esta sangre perfunde principalmente las paredes de los bronquios y los bronquiolos. Sin embargo, existen conexiones entre las ramas de las arterias bronquiales y las ramas de la pulmonar, aunque la mayor parte de la sangre retorna al corazón