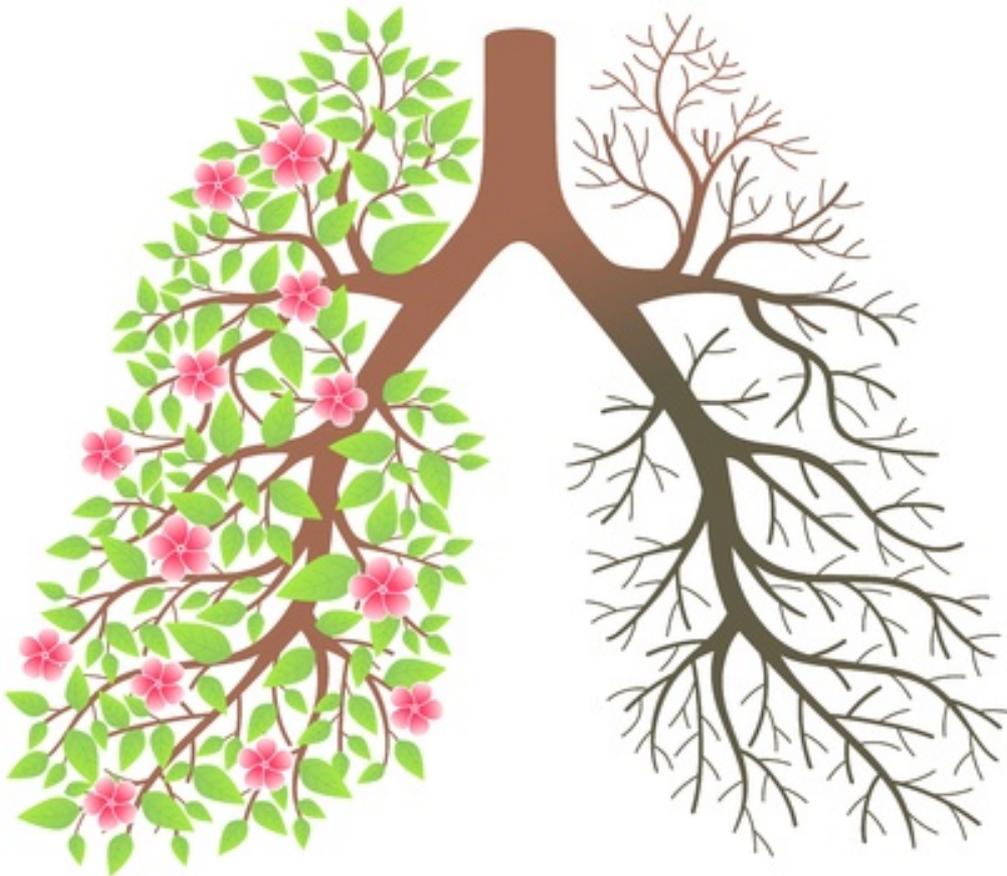


# Unidad 6

# APARATO RESPIRATORIO



Carmen Ruiz Pérez

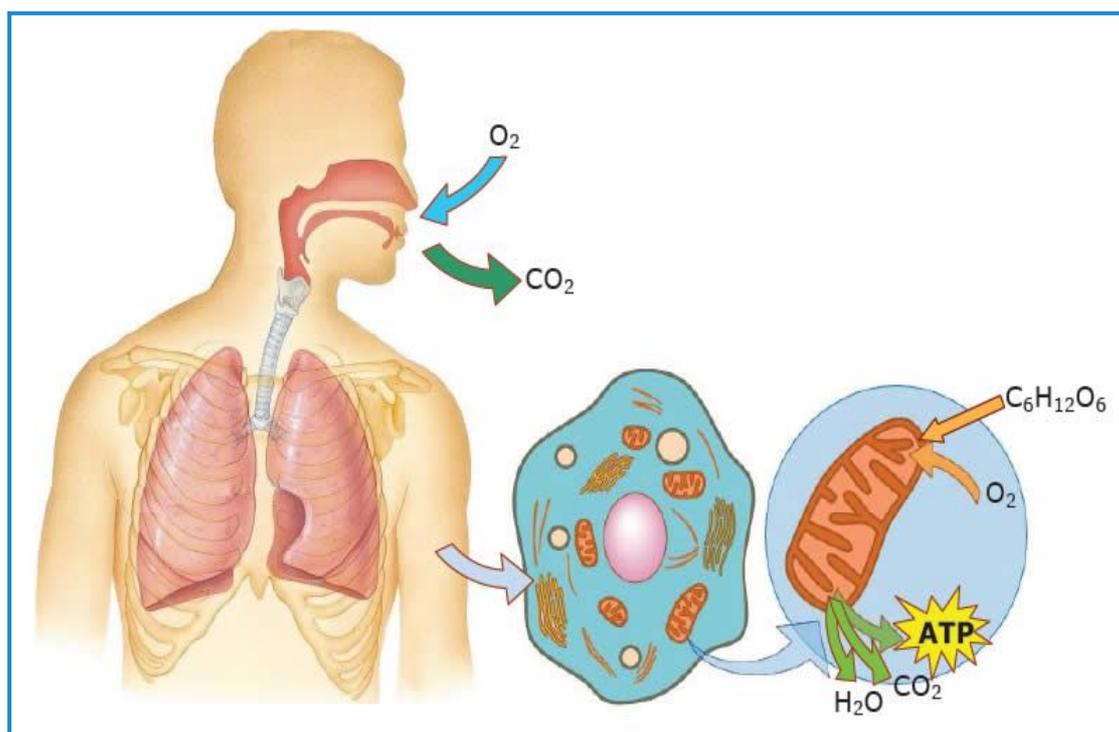
Anatomía Aplicada, 1º Bachillerato

IES Margarita Salas

# 1. Introducción

Cada una de los trillones de células de nuestro cuerpo requiere un abundante y continuo aporte de oxígeno para llevar a cabo sus funciones vitales. No es posible vivir mucho tiempo sin oxígeno, pues es un componente imprescindible como los nutrientes o al agua. Además, cuando las células utilizan el oxígeno se forma dióxido de carbono, que es un producto de desecho que debe desprenderse del cuerpo y ser expulsado al exterior.

Las células necesitan el  $O_2$  para obtener ATP (energía) a través de un proceso metabólico llamado respiración aeróbica que consiste en la destrucción total, podemos decir también oxidación o combustión, de nutrientes (tipo glucosa o similar) que se han obtenidos en la digestión. Por tanto, una de las fases fundamentales de la nutrición celular es la respiración aeróbica. En ausencia de oxígeno, la célula realiza un proceso anaeróbico y se obtiene bastante menos energía.



Los sistemas cardiovascular y respiratorio son los encargados de aportar dicho oxígeno a las células y a la vez de eliminar el dióxido de carbono. Los órganos del aparato respiratorio colaboran en el intercambio gaseoso que se produce entre la sangre y el medio ambiente. Al utilizar la sangre como fluido de transporte, el sistema cardiovascular es el encargado de transportar los gases respiratorios entre los pulmones y los tejidos. Por

otra parte, la formación de  $\text{CO}_2$  es fruto de la utilización del  $\text{O}_2$ ; y es un gas que debe ser eliminado, pues modifica el pH sanguíneo y resulta tóxico en altas concentraciones.

Para obtener oxígeno, que es un gas abundante en el aire, los animales han desarrollado extensas superficies respiratorias que en definitiva son tejidos epiteliales dotados de amplias superficies por las que difunde el oxígeno del exterior hacia el interior del organismo. En el cuerpo humano, para evitar que se sequen estas superficies son internas y se encuentran formando parte de un órgano llamado pulmón. Secundariamente, el sistema respiratorio se encarga de deshacerse del gas residual, que es el  $\text{CO}_2$ .

En resumen, el aparato respiratorio es el encargado de realizar la función de intercambio de gases en colaboración con el aparato circulatorio. Por tanto, la respiración a nivel celular se realiza en las mitocondrias de las células y el aparato respiratorio aporta oxígeno a la sangre para que sea llevado a todas las células que necesiten consumirlo. Finalmente, el  $\text{CO}_2$  es un gas residual de la respiración celular, que se elimina también a través del aparato respiratorio.

## 2. Funciones del Aparato Respiratorio

El aparato respiratorio controla la calidad del aire que entra en el cuerpo y lo conduce a los pulmones. Las funciones principales son:

- Control de la limpieza del aire: sin impurezas.
- Control de la calidad del aire: temperatura y humedad adecuadas.
- Conducción de los gases desde el exterior a la zona de intercambio con la sangre.
- Renovación del aire: Ventilación pulmonar.
- Intercambio de gases: aportar  $\text{O}_2$  a la sangre y recoger  $\text{CO}_2$ .

Además, realiza otras funciones que no están estrictamente relacionadas con la respiración como:

- Ayuda a regular el pH de líquidos corporales.
- Participa en la vocalización.
- Ayuda en la detección de olores.

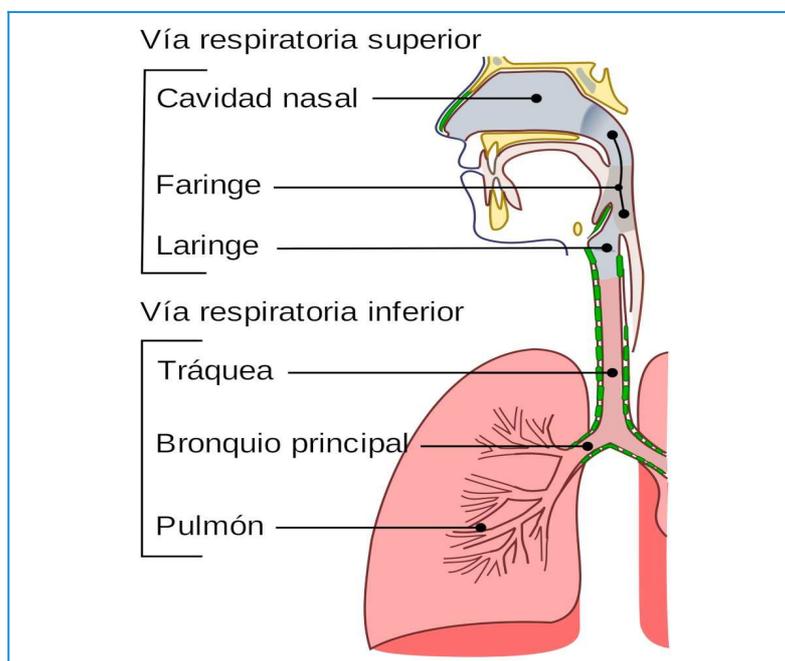
### 3. Anatomía del Aparato Respiratorio

El aparato respiratorio humano consta de las **vías respiratorias** y los **pulmones**. Puede entenderse de una forma simple como una serie de tubos (vías respiratorias) que conectan el exterior con una gran bolsa cerrada carente de musculatura propia (pulmones).

Los tubos o VÍAS RESPIRATORIAS son: nariz y senos paranasales, faringe, laringe, tráquea, bronquios y bronquiolos.

Se suelen dividir las vías respiratorias en dos partes: vía aérea o tracto respiratorio superior y vía aérea o tracto respiratorio inferior. La vía aérea superior comprende los orificios nasales, la cavidad nasal y la faringe y laringe. La vía aérea inferior está formada por órganos dentro de la cavidad torácica: la tráquea, y el árbol bronquial.

La gran bolsa o PULMÓN está constituida por los acinos respiratorios, en esta zona es donde se produce el intercambio gaseoso. Está formada por los bronquiolos respiratorios, conductos alveolares y los sacos aéreos con los alvéolos.



En resumen, las vías respiratorias son los tubos que conducen el aire hacia los acinos respiratorios. Es importante recordar, que además de conducirlo tienen otra función muy importante, ya que purifican, humedecen y calientan el aire entrante.

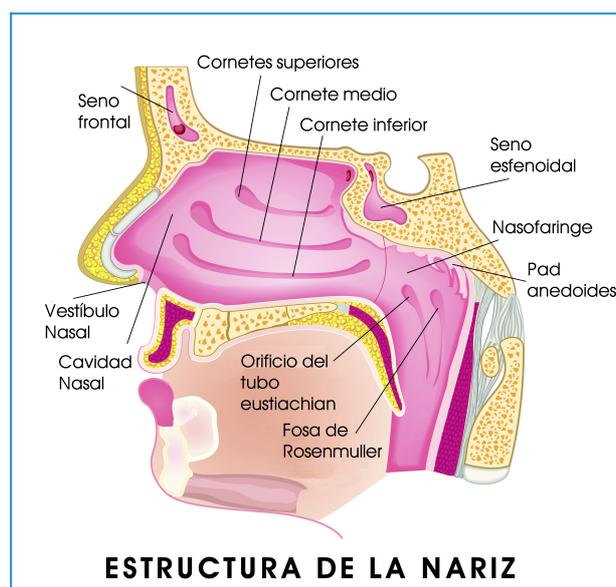
## 4. Vías respiratorias superiores

### 4.1. Nariz y cavidad nasal

El aire puede entrar por las fosas nasales o por la boca. La vía habitual son las fosas nasales que permanece siempre abierta, pues así se prepara mejor, se calienta, filtra, etc. Pero ante ciertas demandas de aire u obstrucción podemos hacerlo por la boca. La cavidad nasal contiene una serie de partes y órganos con funciones específicas:

**Orificios nasales.** El aire entra en la nariz a través de los orificios nasales o narinis. En su interior hay pelos cortos para impedir la entrada de agentes extraños de gran tamaño.

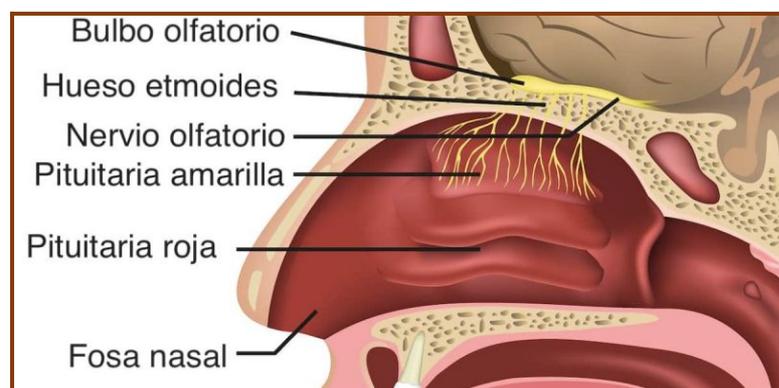
El interior de la nariz consta de la **cavidad nasal**, dividida en dos por la línea media del tabique nasal óseo y cubierto por epitelio ciliado. Tiene los cornetes óseos que separan el aire en varias corrientes y aumentan en cierta medida la superficie de mucosa en contacto con el aire. Los cornetes también incrementan la turbulencia del aire en la cavidad nasal. Mientras el aire avanza haciendo remolinos a través de un trayecto sinuoso, las partículas inhaladas se depositan en la cubierta mucosa, donde quedan atrapadas, y los enzimas del moco las destruyen mediante un proceso químico, evitando que penetren en el árbol respiratorio.



Las células ciliadas de la mucosa nasal crean una corriente que mueve la capa de moco contaminado en sentido retrógrado hacia la garganta (faringe), de donde pasa al estómago para ser digerida por los jugos

gástricos. Normalmente no somos conscientes de esta importante acción ciliar, pero cuando la temperatura externa es extremadamente fría, la acción de estos cilios se ralentiza, permitiendo al moco acumularse en la cavidad nasal y escaparse a través de los orificios nasales. Esto ayuda a explicar por qué se produce rinorrea en los días de duro invierno.

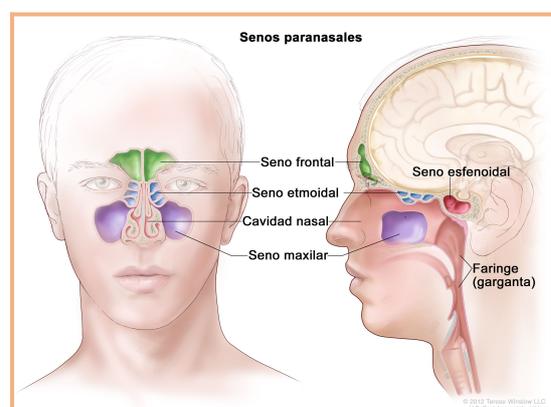
La capa de la mucosa nasal, llamada mucosa respiratoria o pituitaria roja, descansa sobre una densa red de vénulas que calientan el aire a su paso, ya que la temperatura de la sangre es de 37°C y también lo humedecen. De este modo, el aire que alcanza los pulmones tiene bajo contenido en sustancias irritantes, como polvo o bacterias, respecto al aire que entró en el sistema; además, este aire es más cálido y más húmedo. Debido a la localización tan superficial de estos vasos sanguíneos, las hemorragias nasales son comunes y a menudo muy abundantes.



En la parte superior de la cavidad nasal (justo debajo del hueso etmoides) la mucosa está menos irrigada (pituitaria amarilla), y ahí se encuentran células sensitivas que funcionan como receptores olfatorios en

conexión con el bulbo olfativo. Estos receptores controlan la composición química de las sustancias que se encuentran en el aire y son capaces de detectar decenas o cientos de sustancias químicas diferentes. Nuestro sistema respiratorio es insensible al oxígeno y al dióxido de carbono.

En la parte posterior de la cavidad nasal se encuentra la nasofaringe, que se comunica a través de unos orificios llamados coanas.



Los **senos paranasales** son cuatro pares de cavidades que rodean la cavidad nasal y están localizados en los huesos frontal, esfenoidal, etmoidal y maxilar. Están llenas de aire, lo que aligeran el peso del cráneo y actúan como una caja de resonancia para el habla. Dichas cavidades están tapizadas con un epitelio mucoso, similar al de la cavidad nasal, que

también producen moco, drenando a la cavidad nasal. El efecto de succión que se produce al sonarse la nariz ayuda a drenar los senos. El conducto nasolagrimal, que recoge las lágrimas procedentes de los ojos, también vacía su contenido en la cavidad nasal.

El **paladar** se sitúa entre la cavidad nasal y la oral. La parte posterior es ósea, forma parte del hueso maxilar, y la anterior tiene tejidos blandos acabando en la úvula o campanilla.

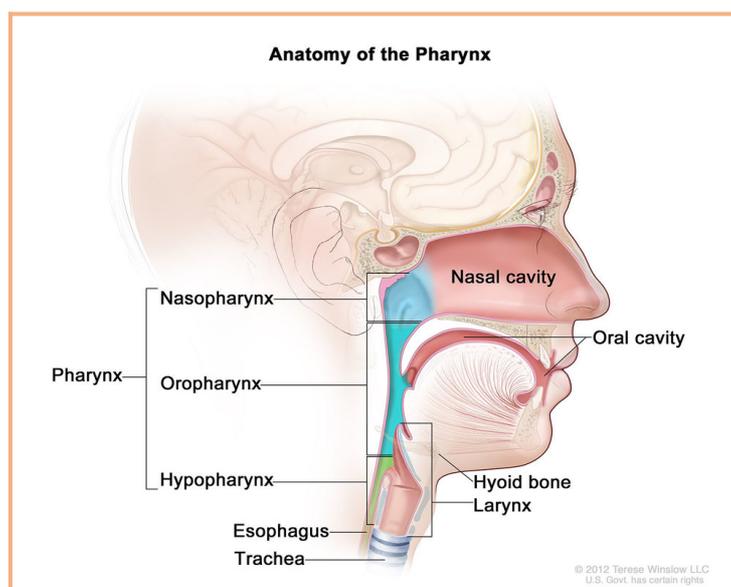
## 4.2. Faringe

La faringe es un conducto muscular de unos 11 a 13 cm de longitud, que es común al aparato digestivo y al respiratorio, en concreto comunica la cavidad nasal y bucal con esófago y laringe. Se extiende desde la base externa del cráneo hasta la 6ª o 7ª vértebra cervical. En su cara interna lleva un epitelio escamoso estratificado con abundantes glándulas.

Cuando pasa aire, va desde la cavidad nasal o bucal hacia la laringe y la tráquea, y si se produce el paso del bolo alimentario se dirige desde la boca hacia el esófago (deglución).

A modo de defensa, tiene en las paredes un importante anillo de defensa inmunitaria; son las amígdalas (adenoides, palatinas y linguales), que sirven para evitar infecciones en la boca, cavidad nasal, esófago y tráquea.

Dependiendo de los órganos con que se relaciona, se distinguen tres partes en la faringe: nasofaringe, orofaringe y laringofaringe.



La **nasofringe** es la parte más alta de la faringe por encima de la cavidad oral, situada en el espacio entre los orificios nasales internos y el paladar blando. Aquí se abren las trompas de Eustaquio, que conectan con el oído medio. La apertura y cierre de las trompas de Eustaquio sirve para igualar la presión entre el oído medio y la atmósfera. Las mucosas de ambas regiones presentan solución de continuidad, por lo que las infecciones de oído, como la otitis media, pueden ser secundarias a un dolor de garganta u otras infecciones faríngeas.

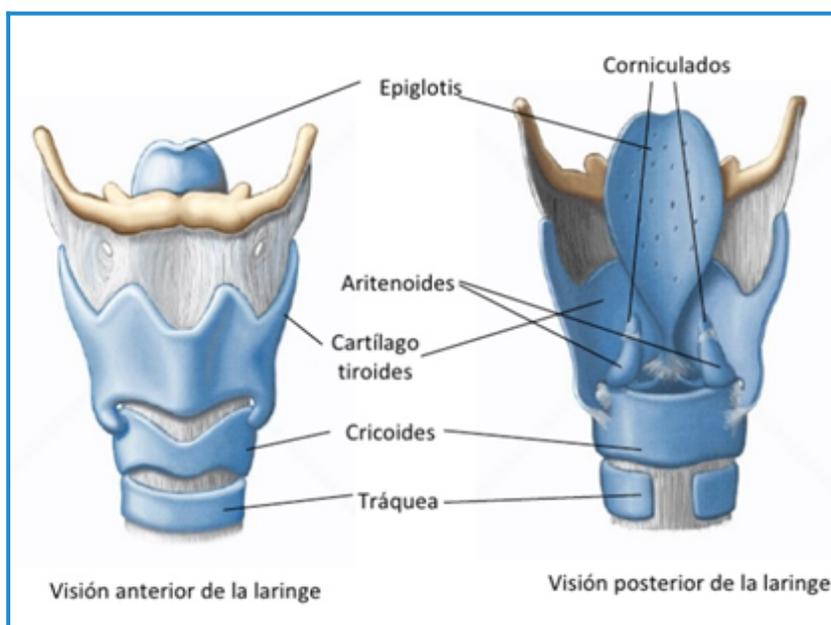
La **orofaringe** ocupa la parte media, por detrás de la cavidad oral, extendiéndose desde la úvula (paladar blando) hasta la altura del hueso hioides. La comunicación con la boca puede cerrarse al desplazarse el paladar blando en procesos de salivación, succión y producción de determinados sonidos.

La **laringofaringe** es la parte más distal de la faringe, se extiende desde la epiglotis hasta la altura de la tráquea y conecta con el esófago y laringe.

### 4.3. Laringe

Por debajo de la faringe se encuentra un tubo corto que es la laringe, cuyas paredes están constituidas por nueve cartílagos articulados.

En concreto son ocho cartílagos hialinos rígidos revestidos de mucosa y movidos por la musculatura, siendo el noveno una solapa en forma de cuchara compuesta por un cartílago elástico, llamado epiglotis. El cartílago hialino más grande es el tiroides, que tiene forma de escudo y se proyecta hacia delante, es conocido como nuez de Adán. Otro cartílago importante que rodea la laringe es el cricoides.



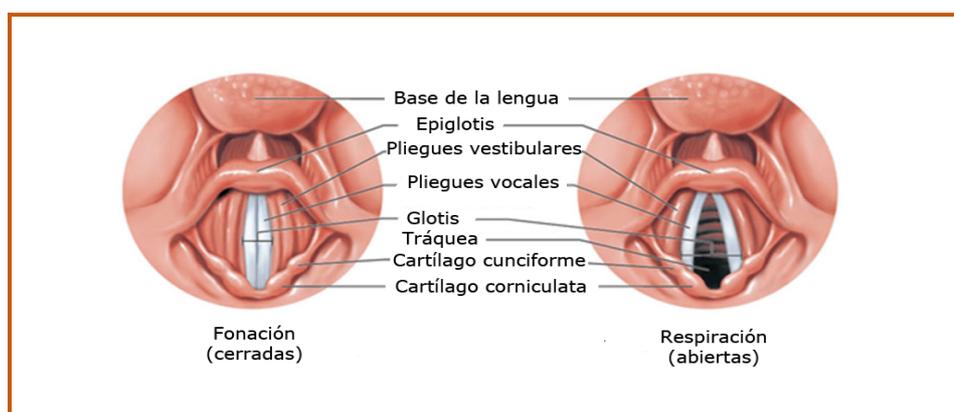


A veces se hace referencia a la epiglotis como el guardián de la vía aérea, ya que ésta protege la apertura superior de la laringe. En posición normal, cuando no tragamos, la epiglotis permite el paso de aire hacia las vías aéreas inferiores. Sin embargo, cuando ingerimos alimentos o líquidos, la situación cambia por completo: la laringe asciende y la epiglotis se hace puntiaguda, tapando la apertura laríngea. Esto impulsa el alimento hacia el esófago y el tubo digestivo, situados en posición posterior.

Si entra en la laringe otro elemento que no sea aire, se dispara el reflejo de la tos para expeler la sustancia y evitar que llegue a los pulmones. Debido a que este reflejo no funciona cuando perdemos la conciencia, nunca se deben administrar líquidos a una persona inconsciente a la que se intenta reanimar.

La laringe es el órgano de la voz, ya que en ella se encuentran las cuerdas vocales. Aunque se llaman cuerdas, presentan el aspecto de dos cintillas membranosas o pliegues laterales internos. En realidad, hay dos pliegues o cuerdas a cada lado: las superiores son falsas cuerdas vocales y las inferiores son las cuerdas vocales verdaderas; la hendidura anteroposterior que hay entre las cuerdas vocales es la glotis. Las llamadas cuerdas vocales superiores son los pliegues vestibulares y no participan en la producción de sonidos, mientras que las inferiores son las responsables de producir sonidos.

Las cuerdas vocales verdaderas contienen tanto músculo esquelético como un ligamento elástico (ligamento



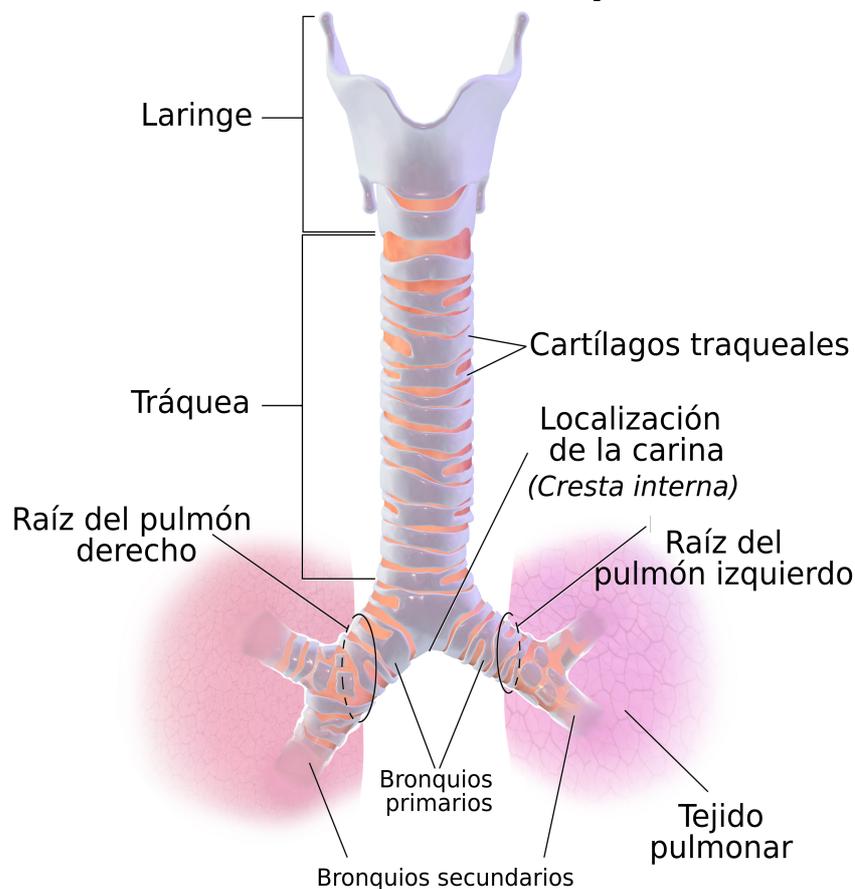
vocal), cuando los 10 músculos intrínsecos de la laringe se contraen, se mueven los cartílagos y se estiran las cuerdas vocales, apretándolas. El aire que pasa a través de las cuerdas apretadas las hace vibrar y se produce el sonido. Cuantas más gruesas son las cuerdas vocales, por ej. en el hombre, se produce un sonido de tono más grave y cuanto más se apriete el ligamento, más agudo es el tono. Si se quiere aumentar el volumen del sonido, hay que empujar o impulsar el aire con más fuerza.

## 5. Vías respiratorias inferiores

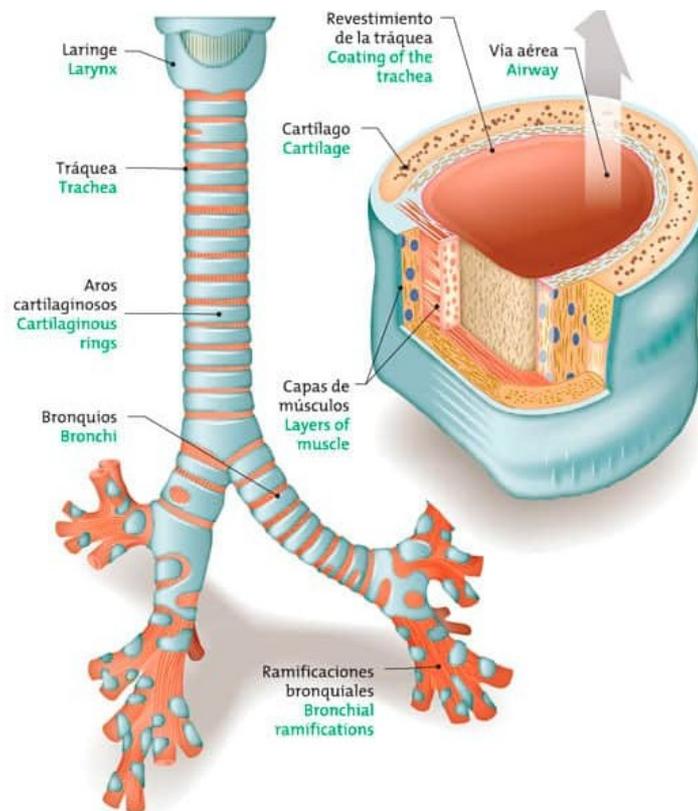
### 5.1. Tráquea

La tráquea es un cilindro constantemente abierto que comunica la laringe con los bronquios, conduciendo el aire a los pulmones. La tráquea alcanza hasta el nivel de la quinta vértebra torácica, situado a la mitad del pecho. En una persona adulta mide entre 10 y 11 cm de longitud por 2 - 2,5 cm de diámetro, según el estado de contracción de la musculatura lisa.

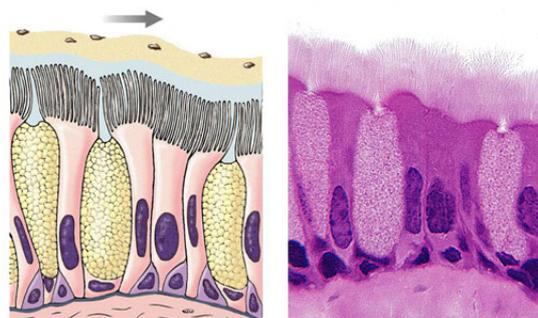
#### Anatomía de la tráquea



A lo largo del tubo, que desciende paralelamente al esófago, se encuentran unos veinte anillos de cartílago en forma de herradura, cuya parte anterior es de cartílago y la parte posterior es de músculo liso. Estos anillos mantienen constantemente abierta la tráquea tanto en inspiraciones como en espiraciones e impiden su colapso, pese a los cambios de presión que acontecen durante la respiración. La parte elástica permite la dilatación del esófago cuando pasa el bolo alimenticio.



La tráquea está tapizada internamente por un epitelio ciliado que tiene intercaladas células secretoras de mucus, que atrapa las partículas de polvo antes de llegar a los pulmones. Los cilios de la tráquea, bronquios y bronquiolos baten continuamente, empujando el moco y las partículas extrañas atrapadas hacia la faringe, donde son tragados.



## 5.2. Bronquios y bronquiolos

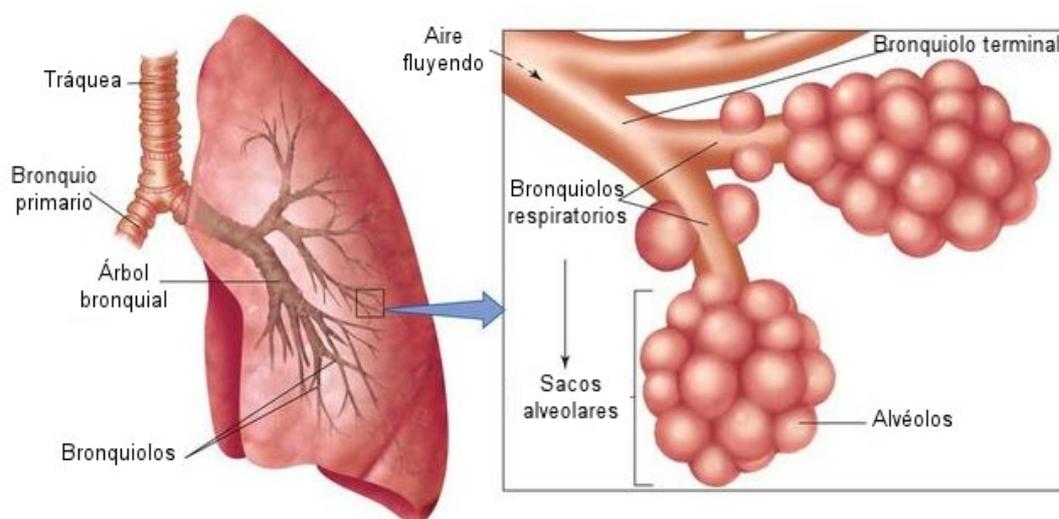
Los bronquios se originan por la bifurcación de la tráquea, pero no son simétricos, quedando el bronquio izquierdo, que es más largo, con una luz menor, de unos 1,5 cm de diámetro, mientras que el bronquio derecho,

que es más ancho (unos 2 cm), es algo más corto. Los bronquios están formados por anillos cartilagosos íntegramente cerrados.

Cada bronquio con todas sus ramificaciones constituye un árbol bronquial. El derecho se introduce en el pulmón derecho de forma bastante vertical y como es más ancho, es más probable que en este lado acaben alojándose los cuerpos extraños inhalados. El izquierdo penetra en el pulmón izquierdo con mayor ángulo de inclinación, casi en horizontal, ya que está el corazón en este lado y por tanto no puede descender tanto.

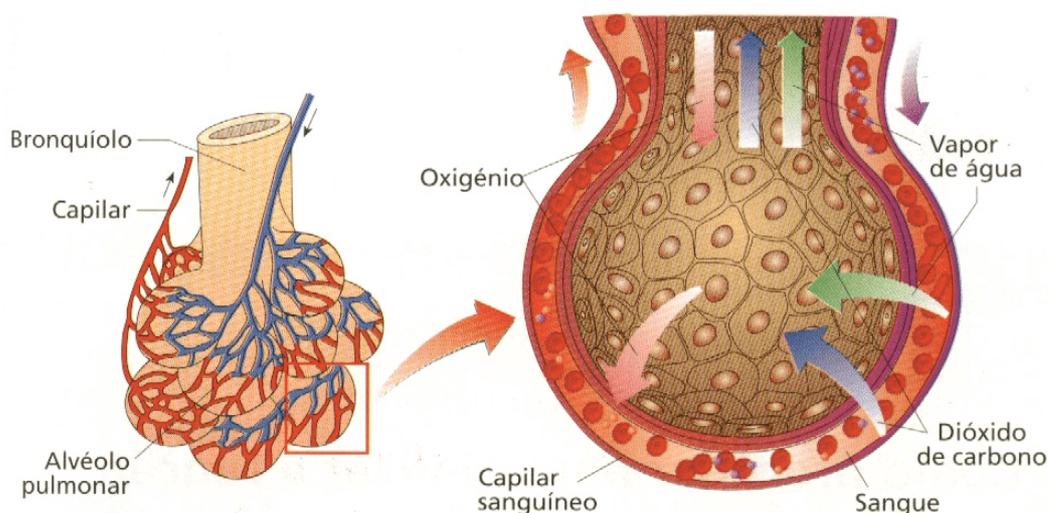
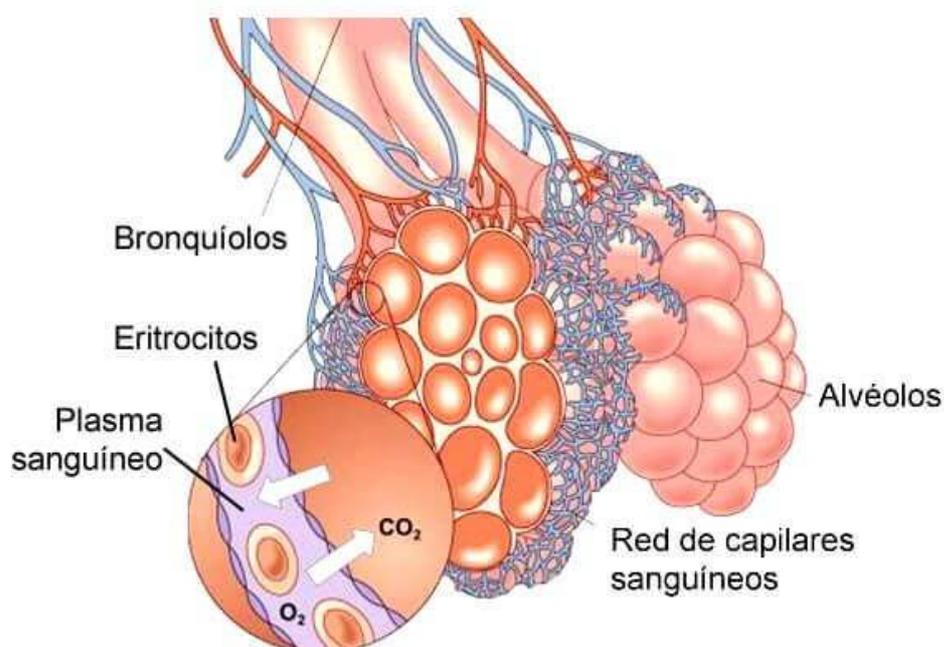
Los bronquios principales son histológicamente muy similares a la tráquea. Después de entrar en los pulmones, los bronquios principales se subdividen en bronquios cada vez más pequeños (bronquios secundarios, terciarios, y así sucesivamente), terminando en las vías conductoras más pequeñas, los bronquiolos formando el árbol respiratorio o bronquial. A excepción de las ramas menores (bronquiolos), todas las ramas tienen su pared reforzada con cartílago. Tanto los bronquios como los bronquiolos están rodeados por capas delgadas de músculo liso. La contracción y relajación de este músculo se halla bajo control del sistema nervioso autónomo, que ajusta el flujo de aire según las demandas metabólicas.

Para diferenciar bronquios de bronquiolos conviene fijarse en el diámetro. Los bronquios son más gruesos, como mínimo tiene un diámetro de 1mm, además contienen el anillo de cartílago y glándulas mucosas en la pared, de modo similar al de la tráquea. Los bronquiolos son más finos, el diámetro es menor de 1mm, no contienen cartílago ni glándulas en la pared y la capa muscular es algo más gruesa, de ahí que el broncoespasmo afecte predominantemente a estas ramas más finas del árbol bronquial.



### 5.3. Alvéolos: superficie respiratoria

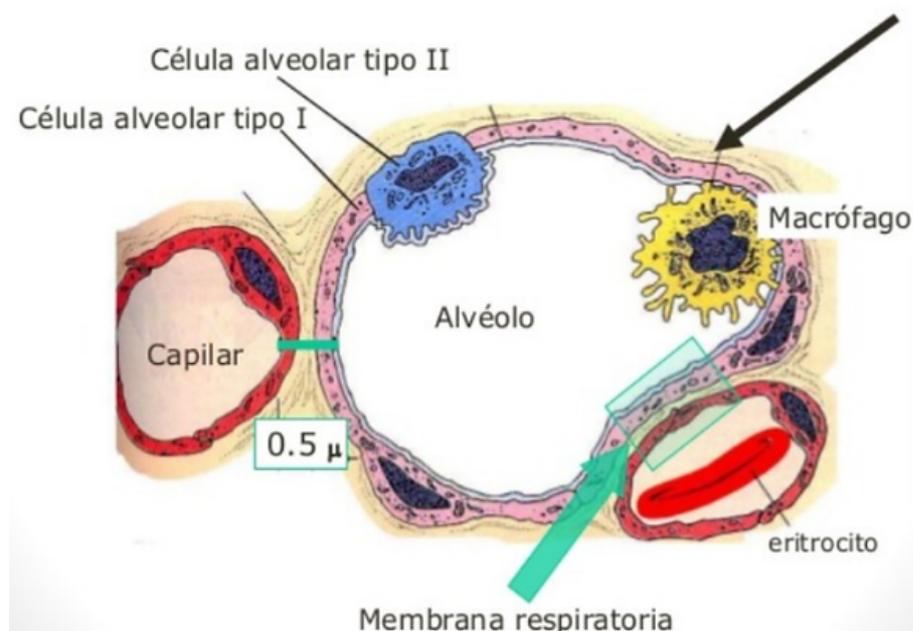
En el interior de los pulmones los bronquiolos más finos o bronquiolos respiratorios, se ramifican y terminan en estructuras más o menos esféricas llamados sacos aéreos que contienen cámaras vacías llamadas alvéolos pulmonares. El conjunto de estas últimas ramas de los bronquiolos, junto con los conductos y sacos alveolares constituyen el acino respiratorio. Aquí es donde se produce el intercambio gaseoso, pues en su cara externa los sacos aéreos y los conductos están cubiertos por una densa red de capilares.



Hay unos 600 millones de alveolos que aportan una superficie total de unos 100-140 m<sup>2</sup>, entre ambos pulmones, esta área es de tamaño suficientemente grande como para garantizar los intercambios con toda eficacia, siendo unas 40 veces mayor que la superficie de la piel de una persona.

El alveolo tiene la cara interna cubierta de líquido, en ella encontramos tres tipos de células:

1. Células tipo I, son de tejido epitelial monoestratificado pavimentoso, muy fino, de unos 100 μ de espesor, son células más importantes y abundantes, son las que realizan el intercambio de gases.
2. Células tipo II, son un poco más pequeñas y más gruesas, y tienen microvellosidades. Son células secretoras, producen un agente tensoactivo (surfactante) que disminuye la tensión superficial y facilita que las moléculas de aire se disuelvan en agua, lo que resulta muy importante para el funcionamiento pulmonar.
3. Los macrófagos alveolares o “células del polvo” tienen función defensiva. Recorren el camino dentro y fuera del alvéolo eliminando bacterias, partículas de carbón y otros agentes nocivos.

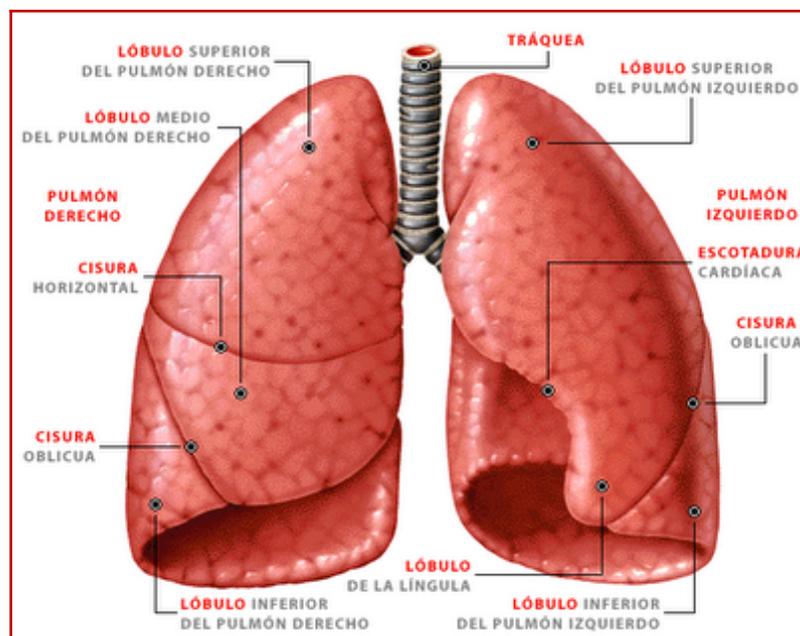


La superficie respiratoria está formada principalmente por las membranas de las células tipo I situadas en los alvéolos junto con las membranas de las células que forman las paredes de los capilares, que son endotelios. El intercambio gaseoso se realiza por difusión simple: el oxígeno pasa del aire situado en el alveolo, atraviesa primero la membrana de la célula del alveolo, luego la de la célula del capilar y entra en la luz del capilar,

siendo a continuación captado por la hemoglobina. Por el contrario, el dióxido de carbono realiza el viaje inverso, abandona la sangre para entrar en el alvéolo lleno de aire.

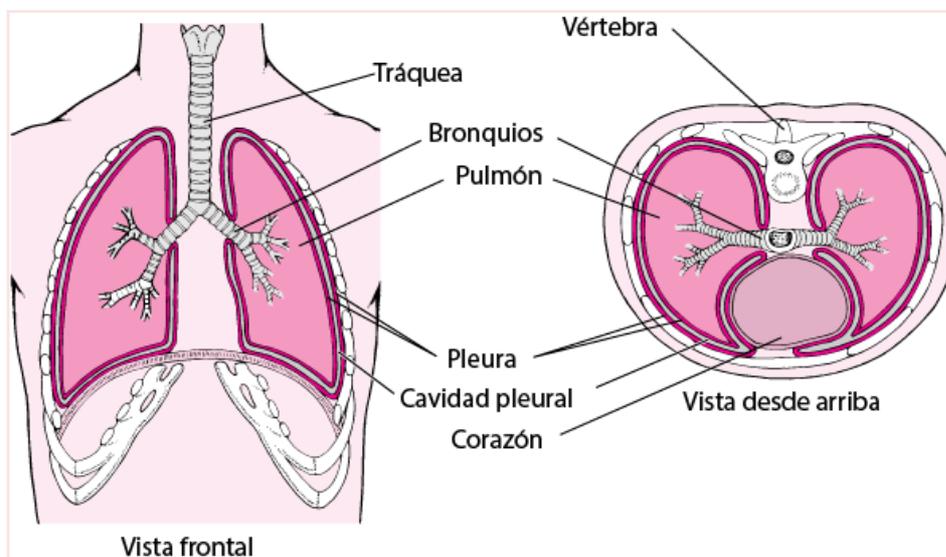
## 5.4. Pulmones

Los pulmones son órganos de gran tamaño que ocupan toda la cavidad torácica excepto la porción central donde está el corazón, llamada mediastino. Son dos masas de color rosado con forma de saco; la porción superior de los pulmones, más puntiaguda, constituye el ápex o ápice y está justo debajo de la clavícula. La base, que descansa sobre el diafragma, es más ancha. El pulmón derecho está más desarrollado y se divide en tres lóbulos, mientras que el izquierdo sólo posee dos, para dejar espacio al corazón.



Los pulmones están formados por el árbol bronquial, incluidos los acinos respiratorios y toda la red sanguínea junto con tejido conjuntivo, blando y elástico, que le sirve de protección. Este tejido conjuntivo engloba el conjunto de bronquios, bronquiolos y alveolos que están llenos de aire, y rellena huecos entre venas, arteria y capilares sanguíneos. Es este tejido conectivo elástico el que permite a los pulmones retraerse pasivamente en la espiración. Por tanto, y a pesar de su relativo gran tamaño, los pulmones solo pesan alrededor de 1,5 kg y son suaves y esponjosos.

Los pulmones externamente están recubiertos por la pleura, es una doble membrana de tejido conjuntivo que evita el roce con la caja torácica. La pleura parietal o externa se adhiere al diafragma y a la cara interior de la caja torácica, y la pleura visceral recubre el exterior de los pulmones, introduciéndose en sus lóbulos a través de las cisuras. Entre las dos membranas se encuentra el líquido pleural (unos 15 cc), cuya inflamación produce una dolencia llamada pleuresía. Este líquido actúa como lubricante, permite a los pulmones deslizarse sobre la pared torácica durante los movimientos respiratorios, y mantiene las dos capas pleurales unidas.



## 6. Ventilación pulmonar

La ventilación pulmonar es el proceso por el cual se renueva el aire que llena los pulmones. Se produce mediante los movimientos de inspiración y espiración. Los cambios en el volumen de la cavidad torácica generan una variación de presión en los pulmones.

Dado que los pulmones carecen de musculatura propia, para que el aire se renueve se recurre a la ampliación o reducción de la caja torácica con movimientos de músculos externos. Estos movimientos de la caja torácica son producidos por el diafragma, músculo situado bajo la caja, y por los movimientos de los músculos intercostales situados entre las costillas. En menor medida también colaboran otros músculos torácicos y abdominales.

El diafragma se sitúa bajo los pulmones, separado de ellos por la pleura. En reposo tiene forma acampanada, mientras que los músculos intercostales, se sitúan entre las costillas y al contraerse hace que estas asciendan. En los movimientos respiratorios normales la inspiración es

activa en el sentido de que se contraen los músculos, mientras que la espiración es pasiva.

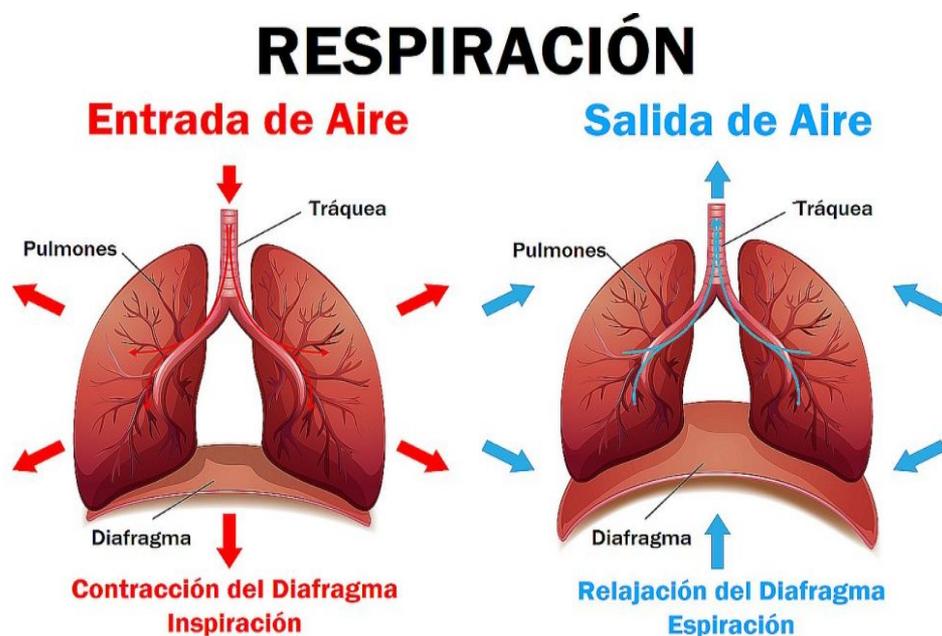
En la inspiración el diafragma desciende y las costillas se levantan, con lo que aumenta el volumen de la cavidad torácica. En detalle lo que ocurre es que el diafragma, en forma de cúpula, se contrae y al contraerse se mueve hacia abajo y se aplana, a la vez también se contraen los músculos

intercostales que elevan las costillas y tiran del esternón hacia arriba. El resultado de ambos procesos es que la caja torácica se expande. Como los pulmones están fuertemente adheridos a la pared torácica, debido al efecto adhesivo del líquido pleural, se expanden de manera acorde con el nuevo y mayor tamaño del tórax. Como resultado de la expansión, la presión del aire en los pulmones es inferior a la presión atmosférica, y por tanto entra aire a las vías respiratorias. El aire continúa moviéndose hacia los pulmones hasta que la presión se equipara con la atmosférica. La inspiración (inhalación) es, por tanto, un proceso activo.

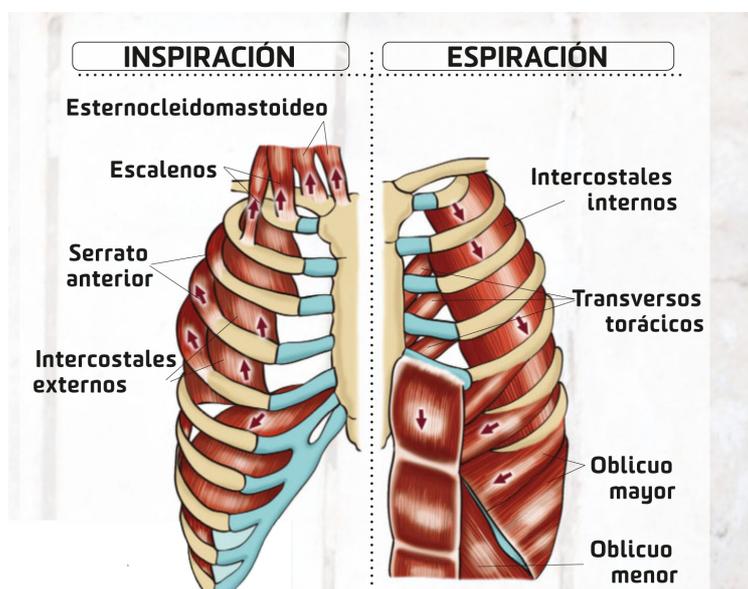
Durante la inhalación forzada, también se utilizan los músculos accesorios de la inspiración (esternocleidomastoideos, escalenos y pectoral menor, e incluso abdominales).

En la espiración el diafragma y las costillas vuelven a su posición normal y la caja torácica disminuye de volumen. Durante la espiración los músculos intercostales se relajan, las costillas y el diafragma vuelven a su posición inicial. Ello fuerza a los gases que están en el pulmón a juntarse, de modo que la presión pulmonar crece hasta superar a la atmosférica. En consecuencia, los gases tienden a salir y disminuye el volumen de la caja torácica. El pulmón se desinfla para igualar la presión dentro y fuera de los pulmones.

Pueden realizarse espiraciones forzadas para expulsar más aire que el de la posición de reposo. En ellas intervienen los músculos abdominales que,



al contraerse empujan las vísceras contra el diafragma lo que obliga a contraer todavía más los pulmones.



## 7. Intercambio gaseoso

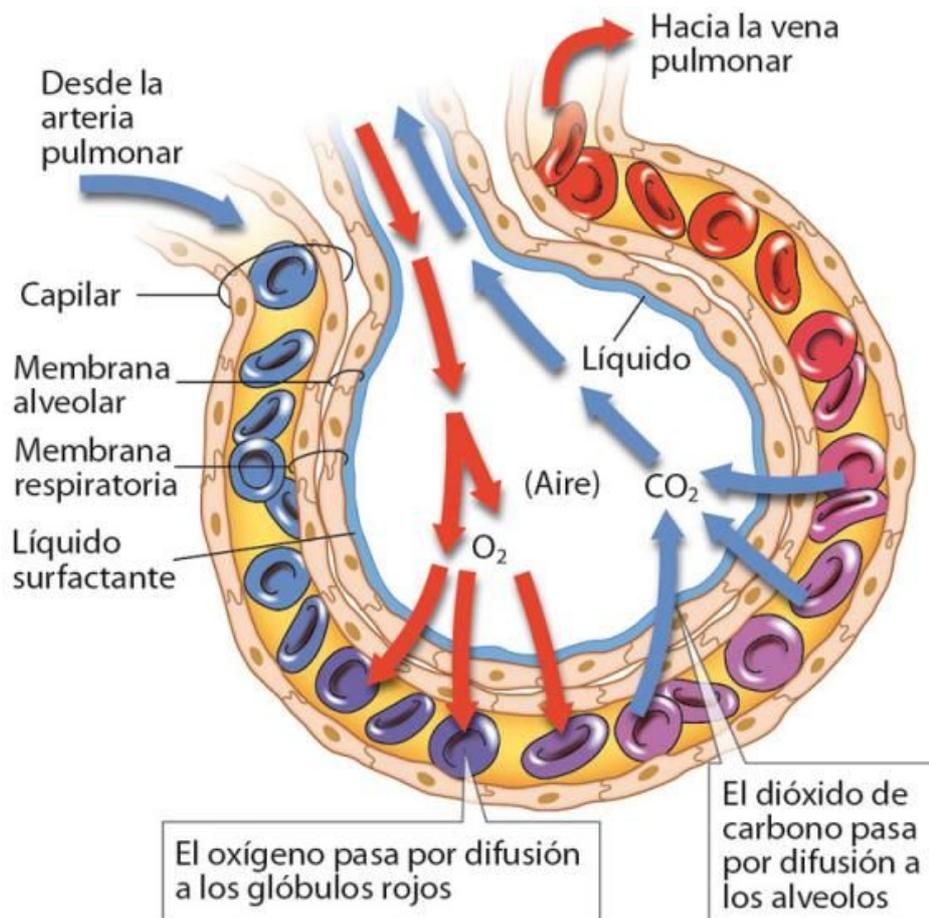
El intercambio real de gases ocurre por difusión en los alvéolos (como consecuencia de diferentes presiones parciales de  $O_2$  y  $CO_2$ ) rodeados por capilares. El endotelio de los capilares y las células epiteliales planas de los alvéolos constituyen la barrera de difusión entre el aire contenido en un alvéolo y la sangre de sus capilares.

La entrada de  $O_2$  en el organismo es debida a la diferente concentración de este gas, debido a un proceso de difusión pasivo. Lo mismo sucede para la salida de  $CO_2$ .

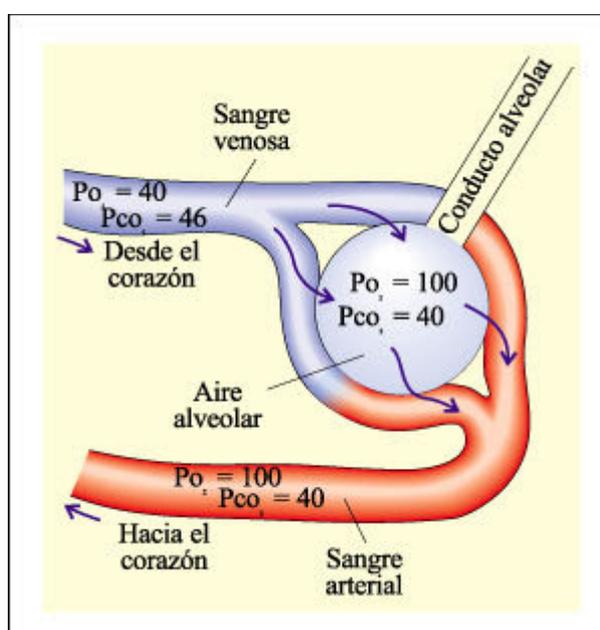
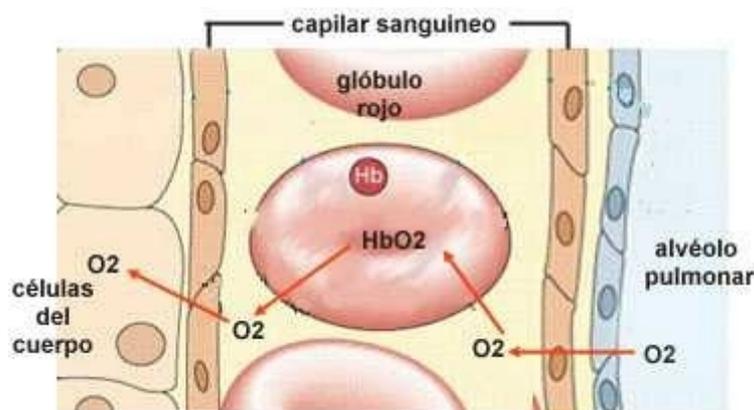
	AIRE INSPIRADO		AIRE ALVEOLAR $\Sigma$ aire inspirado + volumen residual		AIRE ESPIRADO S aire alveolar + espacio muerto	
$O_2$	20,48%	159	13,15%	100	15,26%	116
$CO_2$	0,04%	0,3	5,27%	40	3,42%	26
$N_2$	78,62%	597	75,39%	573	75,13%	571
$H_2O$	0,5%	3,7	6,19 %	47	6,19%	47

El oxígeno es relativamente insoluble en el plasma sanguíneo, de forma que solo una pequeña cantidad de oxígeno se transporta disuelto en el plasma y la mayoría se une a una proteína llamada hemoglobina ( $Hb-O_2$ ).

En los vertebrados, para incrementar la capacidad de transporte de  $O_2$  y disminuir la viscosidad la hemoglobina está empaquetada dentro de los glóbulos rojos. La hemoglobina tiene cuatro subunidades, cada una de las cuales puede combinarse con una molécula de oxígeno. La adición de cada molécula de oxígeno incrementa la afinidad de la molécula por la siguiente molécula de oxígeno. Recíprocamente, la pérdida de cada molécula de oxígeno facilita la pérdida de la molécula siguiente.



Cuando la presión parcial de oxígeno se eleva, la hemoglobina incorpora oxígeno. Cuando la presión de oxígeno alcanza 100 mm Hg, que es la presión presente habitualmente en el pulmón humano, la hemoglobina se satura casi completamente con oxígeno. Cuando la  $PO_2$  cae, el oxígeno se disocia de la hemoglobina. Por lo tanto, cuando la sangre portadora de oxígeno alcanza los capilares, donde la presión es sólo de 40 mm Hg o menos, libera parte de su oxígeno (aproximadamente un 30 %) en los tejidos.



El dióxido de carbono es más soluble que el oxígeno en la sangre y se encuentra en la sangre en tres formas diferentes:

1. Como  $\text{CO}_2$  disuelto en el plasma (10 %).
2. Como ion bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) un 60 -70 %, desempeñando un papel muy importante como tampón o control de pH sanguíneo. El bicarbonato se forma en la sangre mediante la secuencia siguiente:

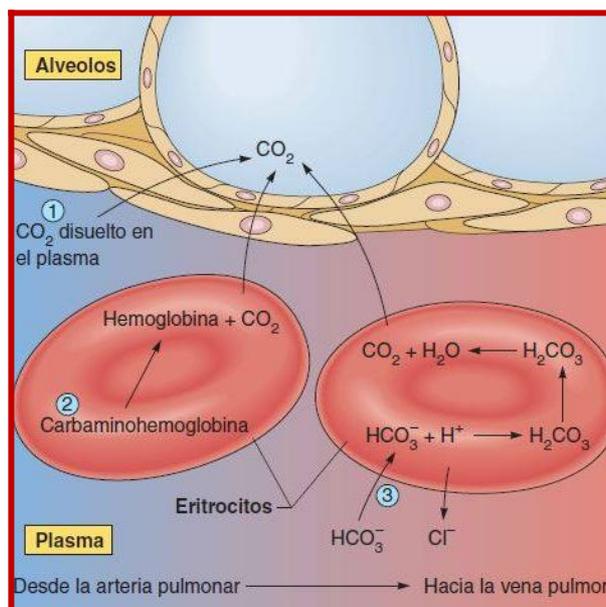
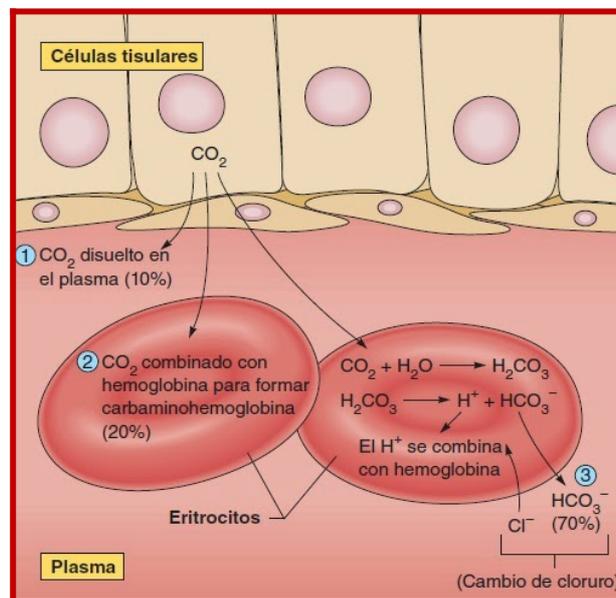


La primera reacción es muy lenta en el plasma, pero muy rápida dentro del glóbulo rojo gracias a los enzimas celulares. La segunda reacción que es la disociación iónica del ácido carbónico, se produce con rapidez sin necesidad de enzimas. Cuando la concentración de

estos iones asciende dentro del glóbulo rojo el  $\text{HCO}_3^-$  difunde hacia el exterior

3. Como carbaminohemoglobina, es decir unido a la Hb (20 - 30%), pero como se une a la hemoglobina en un lugar diferente al que lo hace el oxígeno, no interfiere en modo alguno en el transporte de oxígeno.

Una vez que se ha liberado en el plasma, el  $\text{CO}_2$  difunde a los alvéolos y fluye del pulmón con el aire exhalado.



## 8. Ritmo y volumen respiratorio

El ritmo y el volumen respiratorio están ajustados para proporcionar suficiente  $O_2$  al cuerpo y eliminar el  $CO_2$ .

Las capacidades respiratorias se miden con un espirómetro. Mientras el paciente respira, los volúmenes de aire espirado se leen en un indicador según cambia el volumen aéreo dentro del aparato. La espirometría es muy útil para evaluar pérdidas de la función respiratoria y para el seguimiento de algunas enfermedades del aparato respiratorio.

Hay muchos factores que afectan a la capacidad respiratoria, por ejemplo, la talla, el sexo, la edad y la condición física de una persona. La capacidad pulmonar de una persona adulta es de 4 a 5 litros, siendo esta capacidad respiratoria la capacidad vital (VC). De esta capacidad pulmonar solo se emplea de modo habitual en la respiración normal medio litro de aire en cada ciclo. Este volumen respiratorio se denomina volumen normal o tidal (TV). Además, hay que tener en cuenta que una persona puede inspirar mucho más aire que el volumen corriente, dicha cantidad de aire que se inspira de manera forzada se denomina volumen de reserva inspiratorio (IRV), y representa unos 2.100 - 3.200 ml. De manera similar, tras una inspiración normal se puede expulsar más aire extra, de manera forzada, es el volumen de reserva espiratorio (ERV), que se aproxima a los 1.200 ml.

La capacidad vital (VC) es la suma de  $TV + IRV + ERV$ .

Aunque se fuerce mucho la espiración siempre queda un volumen residual, alrededor de 1.200 ml que no puede ser expulsado de forma voluntaria. Éste es el volumen residual (RV) y es importante porque permite continuar el intercambio gaseoso incluso entre ciclos respiratorios, ayudando a mantener abiertos los alvéolos.

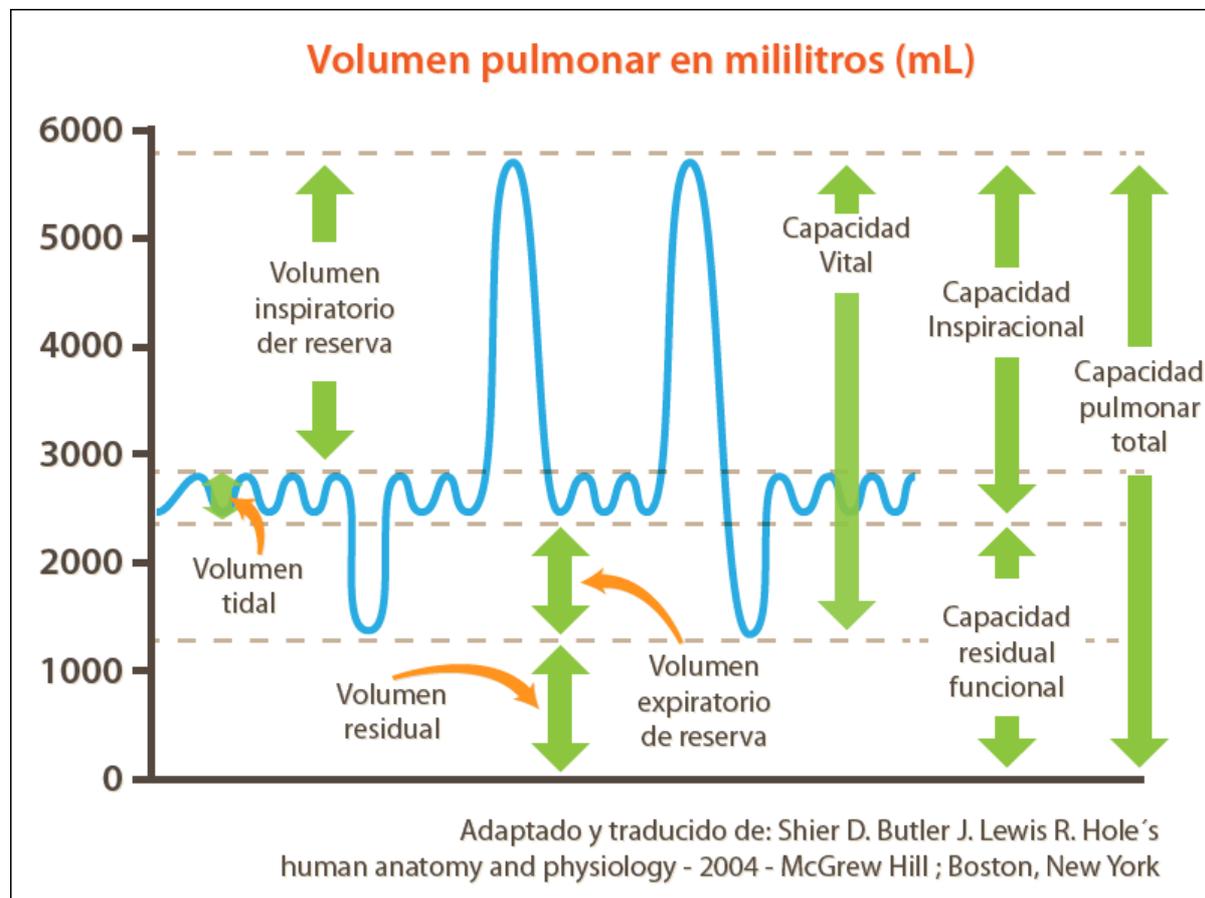
La capacidad pulmonar total es  $VC + RV$

El ritmo respiratorio en reposo es de unas 17 veces por minuto. Esto supone que pasan por nuestros pulmones unos 14.000 litros de aire diarios

### **VOLÚMENES DE AIRE EN LOS PULMONES**

- Ventilación normal 500 cc
- Reserva inspiratoria 2.500 cc
- Reserva espiratoria 1.000 cc

- Capacidad vital 4.500 cc
- Aire residual 1.500 cc
- Volumen pulmonar total 6.000 cc



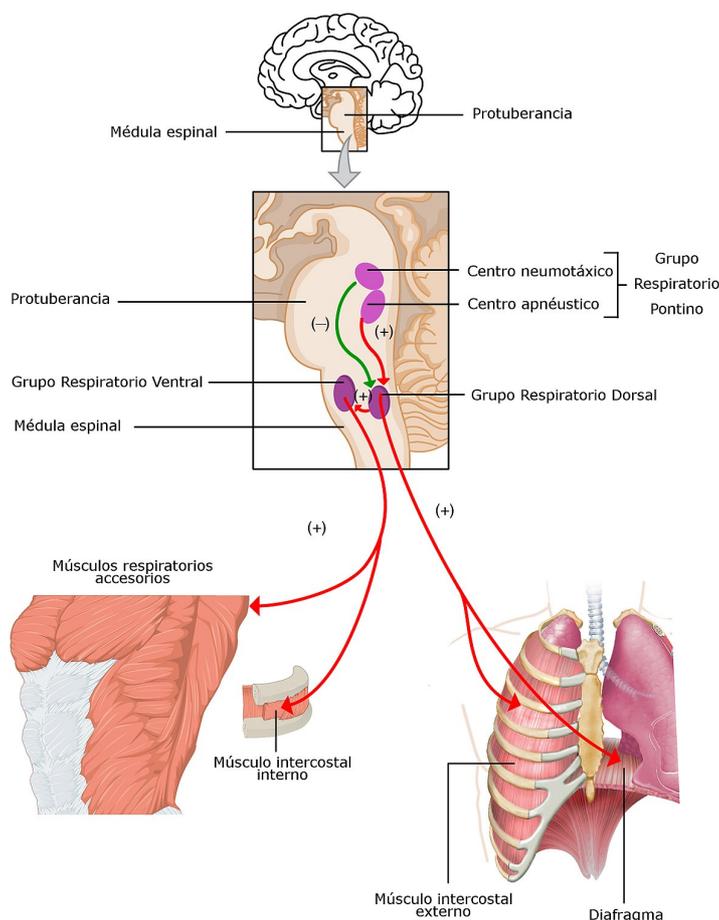
## 9. El control de la respiración

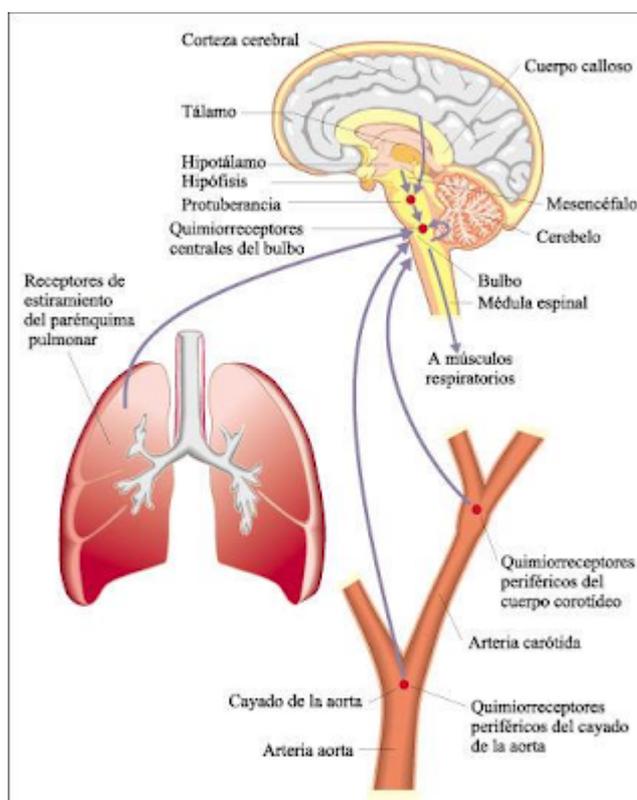
El sistema nervioso central controla la ventilación, ajustando la frecuencia y la amplitud de los movimientos de inspiración y espiración de acuerdo con las demandas del organismo.

La actividad de los músculos respiratorios se regula a través de impulsos nerviosos transmitidos desde el cerebro por el nervio frénico (diafragma) y los nervios intercostales (intercostales). Para que se mantengan las presiones de oxígeno y dióxido de carbono en la sangre se realiza un ajuste constante gracias a neuronas del centro respiratorio bulbar (situadas en el bulbo raquídeo) y también en el puente de Varolio, ambas son formaciones del tronco cerebral, y controlan la respiración normal, que es rítmica y automática. Los cambios en las concentraciones de  $\text{CO}_2$  en la sangre se controlan directamente en los centros nerviosos del bulbo

raquídeo, influenciados por el pH del líquido cefalorraquídeo. En cambio, las variaciones en las concentraciones de  $O_2$  en sangre se detectan a través de quimiorreceptores periféricos situados cerca del cayado de la aorta y en la bifurcación de la arteria carótida común y cuando caen los niveles de  $O_2$  en la sangre envían impulsos al bulbo.

En ocasiones particulares, ej. durante el canto, o nadar bajo el agua, el control de la respiración es muy importante, y con bastante frecuencia se corta la respiración durante cortos periodos de tiempo. Sin embargo, este control voluntario de la respiración es limitado, y cuando el aporte de  $O_2$  en la sangre baja y el pH sanguíneo desciende los centros respiratorios del tronco cerebral simplemente ignoraran mensajes del córtex (deseos). Incluso si conscientemente dejamos de respirar, nuestro cuerpo reacciona ante la falta de  $O_2$ ; se produce un desmayo para evitar lesiones cerebrales, y la respiración es activada automáticamente.





## 9.1. Acidosis y alcalosis

El control respiratorio mantiene el equilibrio homeostático en un individuo sano. Cuando la capacidad tampón de la sangre se supera; el resultado es acidosis o alcalosis. El exceso o la falta de  $\text{CO}_2$  en la sangre, respectivamente, son detectados por el cerebro, que de inmediato intentará poner remedio a esta situación. El ácido carbónico, formado a partir del exceso de  $\text{CO}_2$ , aumenta considerablemente durante la hipoventilación y desciende de forma sustancial durante la hiperventilación. En la acidosis, el pH sanguíneo baja porque el  $\text{CO}_2$  se comienza a acumular en la sangre y se forma  $\text{HCO}_3^-$ .

En un ataque de ansiedad, un individuo que hiperventila mucho corre el peligro de bajar demasiado rápido su volumen de  $\text{CO}_2$ , para prevenirlo se debe respirar durante unos minutos colocando una bolsa de papel sobre la boca y nariz, de esta forma se inspira una parte del  $\text{CO}_2$  que ya se había espirado.

Finalmente, el control de la musculatura lisa de bronquios y bronquiolos es debida al sistema nervioso autónomo y a hormonas (adrenalina y noradrenalina).