

UNIDAD 1: REVISIÓN DE LA ANATOMÍA Y FISIOLÓGÍA PULMONAR

A. El sistema respiratorio.

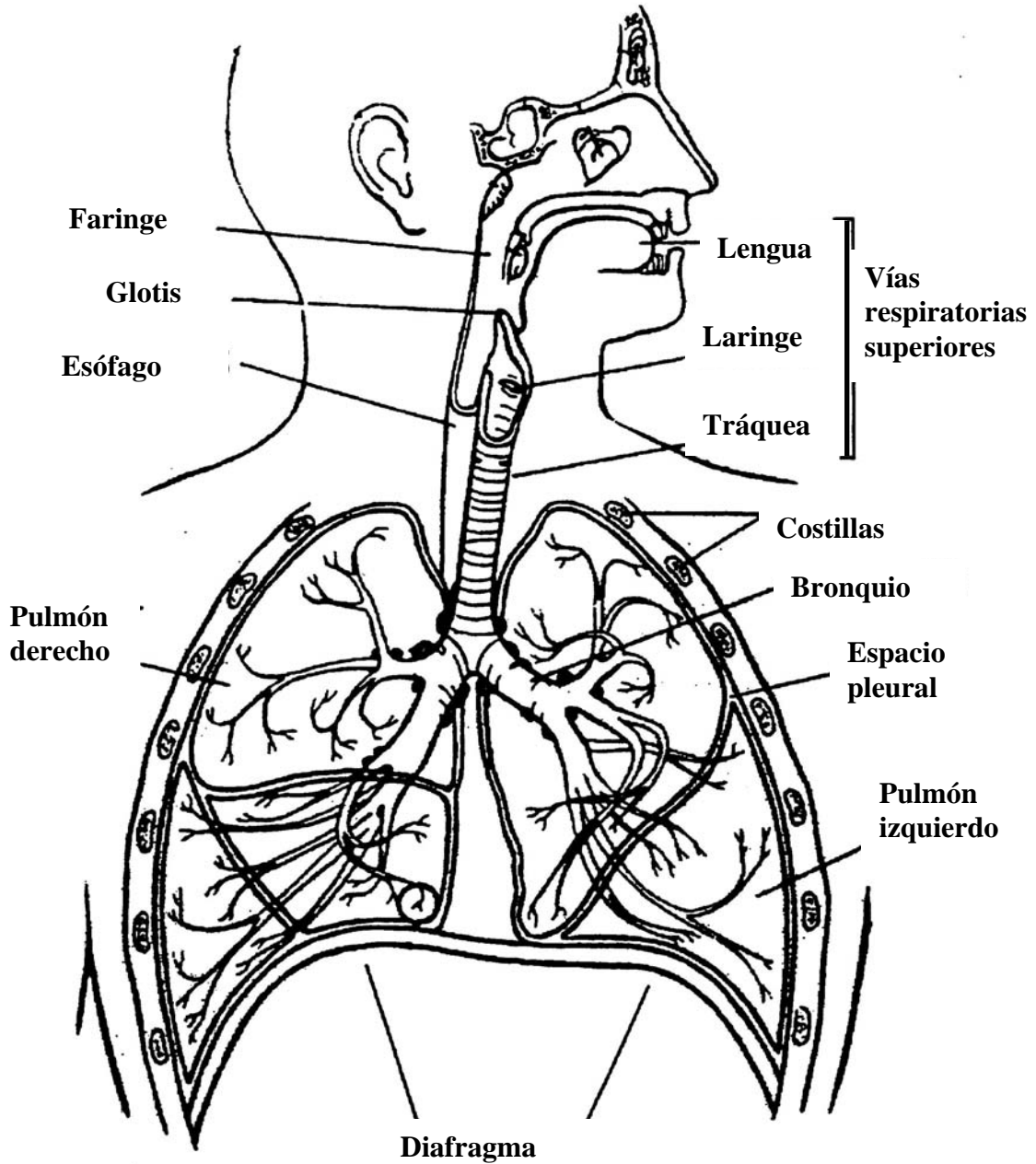
Una persona puede vivir por varias semanas sin alimento y varios días sin agua, pero solamente unos pocos minutos sin oxígeno. Cada célula en el cuerpo necesita un suministro continuo de oxígeno para producir energía y crecer, repararse o reconstituirse, así como para mantener las funciones vitales. El oxígeno debe estar disponible para las células de manera que ellas lo puedan utilizar. Deber ser incorporado dentro del cuerpo como aire purificado, enfriado o calentado, humidificado y entregado en las cantidades adecuada.

El sistema respiratorio es el vínculo para esta fuente vital de oxígeno. Incluye el diafragma y los músculos del tórax, la nariz y la boca, la faringe y la tráquea, el árbol bronquial y los pulmones. Cada uno de estos elementos será tratado más adelante. (Véase **figura 1-1. El sistema respiratorio**). También se encuentran involucrados el torrente sanguíneo, el corazón y el cerebro. El torrente sanguíneo capta el oxígeno de los pulmones para distribuirlo al resto del cuerpo y regresa el dióxido de carbono hacia ellos para su remoción. El corazón crea la fuerza para desplazar la sangre a la presión y velocidad adecuada a través de todo el cuerpo. El fino funcionamiento del sistema completo es regulado por el cerebro y el sistema nervioso autónomo.

Una persona en reposo respira alrededor de 6 litros de aire por minuto. El ejercicio intenso puede incrementar esta cantidad hasta cerca de 75 litros por minuto (3). Durante un período de trabajo de 8 horas, con actividad moderada, la cantidad de aire respirado puede estar alrededor de los 8.5 m³ (300 pies cúbicos). Habitualmente se piensa que la piel, con su área de superficie de 1.9 m² (20 pies cuadrados), presenta la mayor exposición al aire que cualquier otra parte del cuerpo. Sin embargo, son en realidad los pulmones quienes tienen la máxima exposición, con un área de superficie expuesta al aire de 28 m² (300 pies cuadrados) durante la fase de reposo, y de hasta 93 m² (1,000 pies cuadrados) durante una respiración profunda (4).

El sistema respiratorio es susceptible al daño causado por materiales tóxicos inhalados e irritantes, debido a que el área de superficie de los pulmones expuesta al aire es sumamente grande y a que el cuerpo tiene una gran necesidad de recibir oxígeno. La capacidad del sistema respiratorio de funcionar de manera apropiada tiene un gran impacto en el organismo. Las enfermedades de cada una de sus partes pueden conducir a una enfermedad o dañar otros órganos vitales. Por ejemplo, la enfermedad pulmonar ocupacional puede llevar a una cardiopatía.

Figura 1-1- EL SISTEMA RESPIRATORIO



Tomado de la obra: Una introducción a las enfermedades pulmonares ocupacionales, de la Asociación Americana del Pulmón (American Lung Association). Nueva York, NY. Macmillan. 1979: pp 10. (5).

B. Mecanismo de la respiración

El aire que contiene el oxígeno entra al cuerpo a través de la nariz y la boca. De ahí, atraviesa la faringe o garganta en su camino hacia la tráquea. La tráquea se divide en dos vías aéreas principales llamadas bronquios, los cuales llegan a los pulmones; uno al pulmón derecho y otro al pulmón izquierdo. Los bronquios se subdividen o se ramifican en varias ocasiones formando bronquios más pequeños, quienes a su vez se vuelven a ramificar en varias ocasiones formando bronquiolos. Estos bronquios y bronquiolos se denominan el árbol bronquial debido a que las subdivisiones o ramificaciones que sufren se parecen a las ramificaciones de un árbol, sólo que en una posición inversa. Después de alrededor de 23 divisiones, los bronquiolos terminan en los conductos alveolares. Al final de cada conducto alveolar, se encuentran cúmulos de alvéolos (sacos alveolares). El oxígeno transportado a través del sistema respiratorio es finalmente transportado al torrente sanguíneo a nivel de los alvéolos (Véase **figura 1-2. Diagrama esquemático de la vía aérea**).

La tráquea, los bronquios principales y aproximadamente la primera docena de divisiones de los bronquios más pequeños tienen ya sea anillos o placas de cartílago en sus paredes que les evitan colapsarse o que bloqueen el flujo de aire. El resto de los bronquiolos y los alvéolos no tienen cartílagos y son muy elásticos. Esto permite que respondan a cambios en la presión conforme los pulmones se expanden y se contraen.

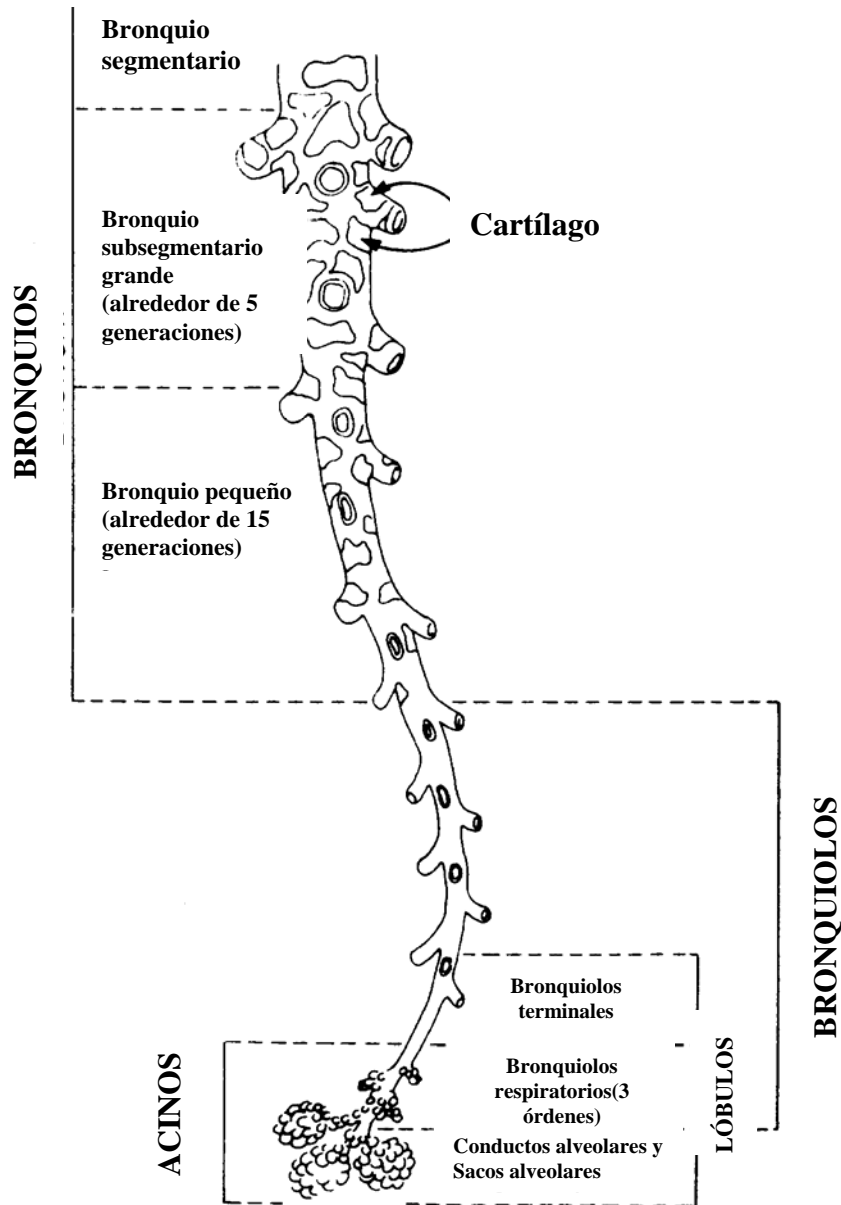
Los vasos sanguíneos del sistema de la arteria pulmonar acompañan a los bronquios y a los bronquiolos. Estos vasos sanguíneos también se ramifican en unidades cada vez más pequeñas hasta terminar en capilares, los cuales se encuentran en contacto directo con los alvéolos. El intercambio gaseoso sucede a través de esta membrana alveolar-capilar cuando el oxígeno se desplaza hacia adentro y el dióxido se desplaza hacia fuera del torrente sanguíneo (Véase **figura 1-3. Imagen ampliada de los alvéolos y los capilares**). Aunque los 300 millones de alvéolos que se encuentran en el pulmón son microscópicos, representan en su conjunto un área de superficie equivalente a las dimensiones de una cancha de tenis (6).

La capacidad de difusión mide la facilidad con la cual el intercambio gaseoso se lleva a cabo entre los alvéolos y los capilares. Ciertas enfermedades pulmonares que afectan a los alvéolos y a la pared de los capilares, pueden interferir con la difusión y reducir la cantidad de oxígeno que llega al torrente sanguíneo. La espirometría no mide la capacidad de difusión, sin embargo, esta se puede medir con una prueba de laboratorio donde se utiliza un instrumento con un costo aproximado entre \$20,000 y \$40,000.

Este movimiento de aire hacia adentro y hacia fuera es lo que denominamos ventilación. La contracción de los músculos inspiratorios (el principal músculo inspiratorio es el **diafragma**) hace que se expanda la cavidad torácica, generando una presión negativa. El flujo de aire resultante que se dirige hacia los pulmones se denomina inspiración. Durante una inspiración máxima, el diafragma se contrae forzando al contenido dentro del abdomen a desplazarse hacia abajo y hacia fuera (Véase figura 1-1). También intervienen los músculos intercostales externos, que se encuentran entre las costillas. Estos músculos se contraen y elevan a las costillas durante la inspiración, incrementando de esa manera el diámetro de la cavidad torácica. Además de estos músculos, los músculos escalenos y esternomastoideos del cuello pueden utilizarse durante ventilaciones extremas o en condiciones de insuficiencia respiratoria.

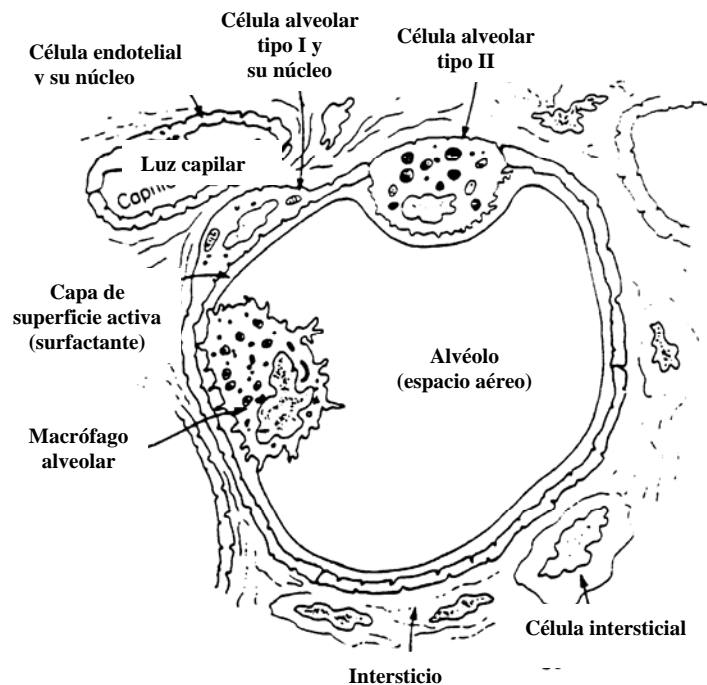
FIGURA 1-2. DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE LAS VÍAS AÉREAS

Diagrama esquemático de las vías aéreas. Subdivisión progresiva del árbol traqueo-



bronquial, donde se ilustran las vías aéreas de conducción y las unidades respiratorias. Tomado de E.P. Horvath Jr., S.M. Brooks, y J-L- Hankinson [1981]. Manual de Espirometría en Medicina Ocupacional. Departamento de Salud y Servicios Humanos de los Estados Unidos. p.5 (6).

FIGURA 1-3. IMAGEN DE ACERCAMIENTO DE ALVÉOLOS Y CAPILARES



Tomado de E.P. Horvath Jr., S.M. Brooks, y J-L- Hankinson [1981]. Manual de Espirometría en Medicina Ocupacional. Departamento de Salud y Servicios Humanos de los Estados Unidos. P. 9(6).

La espiración normal es un proceso pasivo y es resultado de la elasticidad natural tanto del pulmón expandido como de la pared torácica. (Sin embargo, cuando la respiración es rápida, los músculos intercostales internos y los músculos abdominales se contraen ayudando a sacar el aire de los pulmones de una manera más rápida y completa). Se puede pensar al pulmón como lo opuesto a una esponja. Cuando una esponja es exprimida y liberada, su elasticidad hace que regrese a su tamaño original. Al final de una inspiración, la elasticidad del pulmón causa que regrese a sus dimensiones más pequeñas, lo cual ocurre entre respiración y respiración. La capacidad del pulmón para lograr esto se le denomina elasticidad o **rebote elástico**.

El grado de rigidez o de **distensibilidad** del tejido pulmonar va a afectar la cantidad de presión necesaria para aumentar o disminuir el volumen del pulmón. La distensibilidad pulmonar puede afectar a la elasticidad. Conforme aumenta la rigidez, el pulmón pierde cada vez más la capacidad de regresar a su tamaño normal durante la espiración. Las enfermedades pulmonares se discuten más adelante en esta unidad.

La magnitud de la **resistencia** al flujo del aire también puede afectar a los volúmenes pulmonares. La resistencia es una medida de la facilidad con la cual el aire pasa a través de las vías aéreas. Esta resistencia está determinada por el número, la longitud y el diámetro de las vías

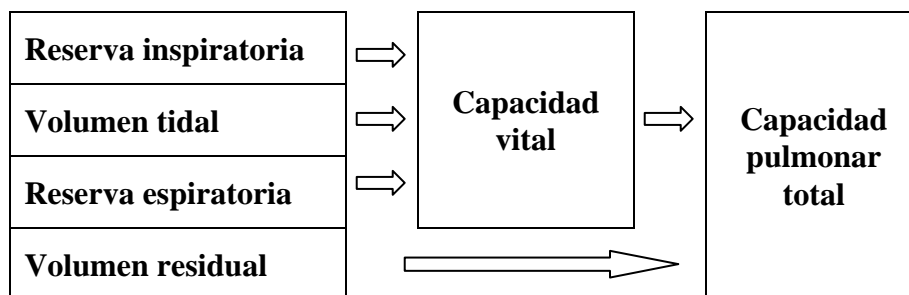
aéreas. Un individuo con un alto grado de resistencia puede no ser capaz de exhalar de manera completa, quedando de esa manera el aire atrapado en los pulmones.

La capacidad total de los pulmones resulta en ocasiones útil para comprender la patología pulmonar. Una estimación razonable de la capacidad pulmonar total se puede obtener al combinar varios parámetros volumétricos. (Véase **figura 1-4. Volúmenes pulmonares**). Los parámetros más comunes son:

1. **Volumen corriente** (también conocido como volumen tidal o VT, volumen en marea, en inglés: *Tidal Volumen*): es, durante una respiración tranquila y relajada, el volumen de aire que es inhalado o exhalado con cada respiración.
2. **Volumen de reserva espiratoria o VRE** (*Expiratory Reserve Volume*): es la máxima cantidad de aire que es exhalada de manera forzada después de una inspiración normal y una espiración normal. La cantidad de aire exhalado será mayor que la que había sido inhalada inmediatamente antes.
3. **Volumen de reserva inspiratoria o VRI** (*Inspiratory Reserve Volume*): es la máxima cantidad de aire que puede ser inhalada de manera forzada después de una inhalación normal.
4. **Volumen residual o VR** (*Residual Volume*): es la cantidad de aire que permanece en los pulmones después de la espiración máxima.
5. **Capacidad vital o CV** (*Vital Capacity*): es la máxima cantidad de aire que puede ser exhalada después de una inhalación máxima. La capacidad vital es la suma del volumen tidal, del volumen de reserva inspiratorio y del volumen de reserva espiratorio. (La cantidad de aire que puede ser exhalada con un esfuerzo máximo después de una inhalación máxima se denomina **capacidad vital forzada** [*Forced Vital Capacity* o CVF]). La CVF es el volumen que es medido en la espirometría y se discutirá con mayor detalle más adelante.
6. **Capacidad pulmonar total o TPT** (*Total Lung Capacity, TLC*): es la suma de la capacidad vital y del volumen residual.

(El lector puede encontrar de utilidad referirse al **apéndice A. Glosario de términos frecuentemente usados en espirometría**, cuando se lea esta y otras unidades subsecuentes.)

Figura 1-4. VOLÚMENES PULMONARES.



C. Mecanismos para proteger a los pulmones de los riesgos que son transportados por el aire.

Los contaminantes del aire pueden estar en forma de gases (vapores), líquidos o sólidos (humos y polvos). (Véase el **apéndice B, una revisión de los riesgos ocupacionales para el pulmón** para una discusión sobre los tipos más frecuentes de riesgos pulmonares que se observan en el ámbito ocupacional.) Diferentes tóxicos químicos o materiales irritantes que son inhalados pueden lesionar al árbol traqueo-bronquial o los pulmones. Estas sustancias pueden también causar daño en otras partes del cuerpo debido a que los pulmones ofrecen una vía importante de exposición.

Para que una sustancia peligrosa afecte los pulmones, debe primero pasar a lo largo del árbol traqueo-bronquial y alcanzar los alvéolos. Los mecanismos de defensa del organismo previenen que alcancen el pulmón todas las partículas excepto aquellas más pequeñas. En términos generales, una persona puede ver a simple vista partículas tan pequeñas como aquellas de 50 micras de diámetro (el símbolo “ μm ” es la abreviación de la palabra micra). Para poner esto en perspectiva diremos que hay 25,400 micras en una pulgada o 10,000 micras en un centímetro. Algunas partículas más pequeñas pueden ser en ocasiones vistas si una fuerte luz es reflejada en ellas (tales como las manchas que pueden ser vistas cuando la luz del sol pasa a través de una ventana). Las partículas de un tamaño respirable son menores a 10 micras y no pueden detectarse sin un microscopio.

El tamaño, la forma y la masa de las partículas determinan el lugar dentro del sistema respiratorio donde son depositadas. Las partículas mayores de 5 micras, habitualmente no permanecen flotando en el aire lo suficiente como para ser inhaladas o atrapadas por la nariz. Las partículas más pesadas se eliminan rápidamente si es que son inhaladas. Es más probable que las partículas de tamaño intermedio (1-5 micras) se depositen en la traquea y en los bronquios. Las partículas más pequeñas (0.01-1 micras) alcanzan con mayor probabilidad los bronquiolos, los conductos alveolares y los alvéolos. Las partículas fibrosas o de forma irregular tienden a quedar atrapadas a nivel de los bronquiolos o a nivel de sus encrucijadas. Sin embargo, algunas fibras y partículas pequeñas viajan fácilmente a los alvéolos debido a sus propiedades aerodinámicas.

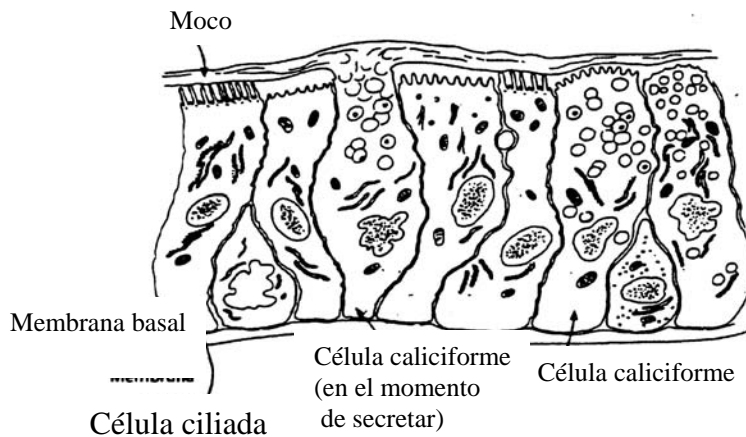
Los pulmones tienen varios mecanismos para protegerse de la contaminación por partículas y por

agentes infecciosos. Los finos vellos de la nariz ofrecen la primera línea de barrera para filtrar grandes partículas de polvo y de otros materiales. Sin embargo, cuando el individuo hace ejercicio o trabaja intensamente, necesita respirar a través de la boca y de esa manera queda superado el filtro nasal.

El reflejo de la tos limpia a la traquea y a los bronquios principales de los materiales extraños . En cualquier momento que los materiales irritantes toquen las paredes de las vías aéreas, el tórax y los pulmones contraatacan rápidamente. Como resultado de esto, el aire es forzado a salir rápidamente de los pulmones, con lo que habitualmente se expele al irritante.

La traquea, los bronquios y los bronquiolos mayores están tapizados con finas células ciliares que tienen estructuras filiformes. Estas células se encuentran cubiertas por una delgada capa de moco que atrapa el material extraño. Los cilios van a oscilar rítmicamente, moviendo el material atrapado hacia la garganta donde se puede tragar o escupir y de esa manera se puede eliminar del cuerpo. Este proceso se denomina escalador mucociliar (véase **figura 1-5. Escalador mucociliar**).

FIGURA 1-5. ESCALADOR MUCOCILIAR



El recubrimiento traqueal donde se encuentran las células ciliadas y las células caliciformes así como la recubierta de moco. Esto, en conjunto, se denomina “escalador mucociliar”.

Tomado de E.P. Horvath Jr., S.M. Brooks, y J.L. Hankinson [1981]. Manual de Espirometría en Medicina Ocupacional. Departamento de Salud y Servicios Humanos de los Estados Unidos. Cincinnati, p.9 (6).

Los macrófagos alveolares son células especializadas que se movilizan con el objeto de destruir bacterias y virus. En los pulmones sanos, la producción de macrófagos y de moco aumenta conforme es necesario para remover materiales extraños y después retorna a niveles normales. Al toser, inmediatamente se remueven las partículas irritantes y al escalador mucociliar puede tomarle unas cuantas horas expulsar el material extraño. Sin embargo, a las áreas más profundas

de los pulmones puede tomarles considerablemente más tiempo para quedar despejadas de las partículas (7). Los pulmones que reciben prolongadas o repetidas exposiciones a contaminantes del aire, eventualmente puede resultar sobrepasada su capacidad, debido al ritmo de depósito de materiales y a la constante irritación. Como resultado, los contaminantes se acumulan, contribuyendo al desarrollo de las enfermedades pulmonares ocupacionales.

D. El fumar y las enfermedades pulmonares ocupacionales

El fumar va a contribuir a las enfermedades pulmonares de varias maneras. Debido a la irritación que produce en las vías aéreas, se altera, en primer lugar, el mecanismo de defensa natural del pulmón y la actividad de los macrófagos y del escalador mucociliar. Por sí mismo, el hábito de fumar es la principal causa de enfermedades pulmonares y cardíacas graves y ciertos tipos de cáncer. Tiene también un efecto sinérgico con otros carcinógenos pulmonares como es el caso de los compuestos de asbesto, cromo y uranio así como el arsénico. El término sinergista significa que el efecto combinado de dos o más sustancias es mayor que la suma de sus efectos por separado. El hábito de fumar aumenta el riesgo de cáncer de pulmón en un 15%, la exposición crónica a asbestos, en un 4%, pero de manera conjunta, el riesgo aumenta hasta un 60% y no solamente se queda en un 19% (8). Como consecuencia de esto, aquellos fumadores que reciben una exposición ocupacional prolongada a otros contaminantes del aire, desarrollan enfermedades del corazón y del pulmón, así como cáncer, de manera mucho más frecuente que los sujetos no fumadores que tienen un grado de exposición comparable; asimismo, estas enfermedades progresan de una manera más rápida debido al daño adicional ocasionado por el fumar en los pulmones.

E. Enfermedades pulmonares ocupacionales

La espirometría es utilizada para detectar anomalías pulmonares que se expresan con patrones obstructivos y restrictivos, o con una combinación de ambas. (Véase **apéndice C. Revisión de la enfermedad pulmonar ocupacional** para encontrar una descripción de las enfermedades pulmonares ocupacionales mejor conocidas. Véase también el **apéndice D. Programas de vigilancia respiratoria**, para obtener información acerca de la espirometría en la vigilancia médica de la enfermedad pulmonar ocupacional). Las alteraciones o las enfermedades obstructivas interfieren con el paso del aire hacia adentro o hacia fuera de los pulmones. El proceso de la enfermedad subyacente altera frecuentemente el diámetro o la integridad de las vías aéreas, causando un aumento en la resistencia al flujo del aire debido a broncoespasmo, edema de la mucosa, así como un aumento en la producción de secreciones. El enfisema es una forma de enfermedad obstructiva. Cuando los individuos con enfisema exhalan (en particular si lo hacen de manera forzada) ocurre un mayor estrechamiento de la vía aérea o inclusive un colapso. El asma y la bronquitis crónica son enfermedades obstructivas frecuentes. Las enfermedades restrictivas tales como la asbestosis y la silicosis, son causadas por cambios en el tejido fibroso que reducen la capacidad de expandirse del pulmón (vgr. presentan una distensibilidad disminuida) pero que no necesariamente afectan al flujo del aire. Aquellos trastornos que afectan el funcionamiento neuromuscular de la pared torácica pueden producir también un patrón restrictivo. Otras enfermedades pulmonares, tales como la neumonía, pueden mostrar tanto patrones obstructivos como restrictivos.