Gleydiz Arboleda Amórtegui
Darys Osuna Julio
Ángela María Álvarez López
Mónica García Cardona

PRINCIPIOS DE CUIDADO RESPIRATORIO

AREANDINA
Fundación Universitaria del Área Andina

Principios de cuidado respiratorio

Gleydiz Arboleda Amórtegui

Darys Osuna Julio

Ángela María Álvarez López

Mónica García Cardona

Principios de cuidado respiratorio

Gleydiz Arboleda Amórtegui

Darys Osuna Julio

Ángela María Álvarez López

Mónica García Cardona

AREANDINA
Fundación Universitaria del Área Andina

Arboleda Amórtegui, Gleydiz / autor
Principios básicos de cuidado respiratorio -- / autor Gleydiz Arboleda Amórtegui, Darys Osuna Julio, Ángela María Álvarez López, Mónica García Cardona -- Bogotá: Fundación Universitaria del Área Andina, 2021.
ISBN (digital): 978-958-5139-40-4
119 páginas : ilustraciones , tablas ; 28 cm.
Incluye índice
1. Terapia respiratoria – Equipo
Catalogación en la fuente Biblioteca Fundación Universitaria del Área Andina (Bogotá)
658.82 – scdd22

PRINCIPIOS BÁSICOS DE CUIDADO RESPIRATORIO

© Fundación Universitaria del Área Andina.
Bogotá, septiembre de 2021

© Gleydiz Arboleda Amórtegui, Darys Osuna Julio, Ángela María Álvarez López, Mónica García Cardona

ISBN (digital): 978-958-5139-40-4

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA DEL ÁREA ANDINA

Calle 70 No. 12-55, Bogotá, Colombia

Tel: +57 (1) 7424218 Ext. 1231

Correo electrónico:
publicaciones@areandina.edu.co

PROCESO EDITORIAL

Dirección editorial:
Omar Eduardo Peña Reina

Coordinación editorial:
Camilo Andrés Cuéllar Mejía

Diseño de cubierta:
Luisa Fernanda González Walteros

Diagramación interior:
Proceditor Ltda.
Calle 1C No. 27A-01, Bogotá, Colombia
Tel.: 757 9200
Correo electrónico: proceditor@yahoo.es

Todos los derechos reservados. Queda prohibida la reproducción total o parcial de esta obra y su tratamiento o transmisión por cualquier medio o método sin autorización escrita de la Fundación Universitaria del Área Andina y sus autores.

BANDERA INSTITUCIONAL

Pablo Oliveros Marmolejo †
Gustavo Eastman Vélez
Miembros Fundadores

Diego Molano Vega
Presidente de la Asamblea General y Consejo Superior

José Leonardo Valencia Molano
Rector Nacional y Representante Legal

Martha Patricia Castellanos Saavedra
Vicerrectora Nacional Académica

Ana Karina Marín Quirós
Vicerrectora Nacional de Experiencia Areandina

Karol Milena Pérez Calderón
Vicerrectora Nacional de Crecimiento y Desarrollo

Erika Milena Ramírez Sánchez
Vicerrectora Nacional Administrativa y Financiera

Felipe Baena Botero
Rector - Seccional Pereira

Gelca Patricia Gutiérrez Barranco
Rectora - Sede Valledupar

María Angélica Pacheco Chica
Secretaria General

Omar Eduardo Peña Reina
Director Nacional de Investigaciones

Jackeline Marín Tapias
Decana Facultad de Ciencias de la Salud y del Deporte
Seccional Pereira

Adriana Jaramillo Roa
Director programa Terapia Respiratoria
Seccional Pereira

Camilo Andrés Cuéllar Mejía
Subdirector Nacional de Publicaciones

CONTENIDO

Semiología

Gleydiz Arboleda Amórtegui

13

Introducción 15
- Objetivo general 16
- Objetivos específicos 16
- Semiología 16

Historia clínica 17

Interrogatorio 18

Examen físico 21

Métodos semiológicos 21
- Inspección 21
- Inspección de cabeza y cuello 23
- Inspección del tórax 23
- Inspección de abdomen 25
- Inspección miembros superiores e inferiores 25
- Palpación 27
- Edema 28
- Signos vitales 29
- Auscultación 32

Referencias 34

Farmacología respiratoria

Darys Osuna Julio

37

Introducción 39

Aspectos generales de la farmacología respiratoria 39

Objetivos 40

Conceptos básicos de farmacología 40

Fases que gobiernan la actividad de los medicamentos 41

Broncodilatadores 43

Agonistas β2 adrenérgicos 43
- Medicamentos de alivio o de rescate 44
- Medicamentos de control o mantenimiento 44
- Mecanismo de acción 44

Anticolinérgicos 46

Metilxantina 48

Corticosteroides 49
- Modo de acción 49

Antileucotrienos 52

El papel y administración de los medicamentos en EPOC y asma 53
- Medicamentos en exacerbaciones del asma 54
- Medicamentos en exacerbaciones del EPOC 56

Terapia combinada 57

Mucolíticos y expectorantes 59

Referencias 61

Oxigenoterapia y aerosolterapia

Ángela María Álvarez López

65

Introducción 67
- Oxigenoterapia 68
- Aerosolterapia 80

Referencias 95

Fisiología respiratoria

Mónica García Cardona

97

Introducción 99

Aspectos generales 99

Objetivos 100

Estructura anatómica respiratoria 100

- Vía aérea 100
- Vía aérea superior (VAS) 100
- Vía aérea inferior (VAI) 101
- Unidad respiratoria terminal (URT) 103
- Segmentación pulmonar 105
- Circulación pulmonar 106
- Inervación pulmonar 107

Mecánica de la ventilación 107

- Volúmenes y capacidades 108
- Ventilación alveolar 109
- Factores mecánicos de la ventilación 110
- Músculos respiratorios 110
- Acción de la musculatura respiratoria 111
- Propiedades elásticas pulmonares 111
- Control de la ventilación pulmonar 112
- Elementos del sistema de control de la ventilación 112
- Control químico de la respiración 114
- Quimiorreceptores centrales 115
- Quimiorreceptores arteriales periféricos 115
- Receptores nerviosos pulmonares 115
- Receptores de distensión 115
- Receptores de irritación 116
- Receptores J o yuxtacapilares 116

Oxigenación y eliminación de dióxido de carbono 116

- La oxigenación 116
- Captación de oxígeno, presión parcial de oxígeno (PaO_2) 116
- Presión de dióxido de carbono ($PaCO_2$) 117
- Curva de disociación de la hemoglobina 117
- Saturación de la hemoglobina 117
- Transporte de anhidrido carbónico CO_2 118

Referencias 118

Lista de tablas

Semiología

Tabla 1. Normatividad hacia una historia clínica en Colombia 18
Tabla 2. Escala MRC 20
Tabla 3. Componentes del interrogatorio 20
Tabla 4. Condiciones generales 22
Tabla 5. Alteraciones frecuentes de la inspección 26
Tabla 6. Característica en la valoración del edema 28
Tabla 7. Signos vitales 30
Tabla 8. Alteraciones de los signos vitales 31
Tabla 9. Ruidos respiratorios normales 33
Tabla 10. Ruidos respiratorios patológicos 34

Farmacología respiratoria

Tabla 1. Receptores beta2 adrenérgicos y colinérgicos estimulados. 43
Tabla 2. Medicamentos beta2 adrenérgicos 45
Tabla 3. Acción de los agonistas $\beta 2$ según la vía de administración 46
Tabla 4. Medicamentos anticolinérgicos 48
Tabla 5. Medicamentos 49
Tabla 6. Corticoides inhalados y sistémicos 51
Tabla 7. Medicamentos 53
Tabla 8. Valoración clínica de la crisis asmática 55
Tabla 9. Medicamentos combinados 58
Tabla 10. Medicamentos 61

Oxigenoterapia y aerosolterapia

Tabla 1. Ventajas y desventajas de los cilindros de oxígeno 71
Tabla 2. Comparación del suministro de oxígeno a través de tuberías, cilindros y concentradores 73
Tabla 3. Valores de fracción inspiratoria de oxígeno en dispositivos de bajo flujo 74
Tabla 4. Ventajas y desventajas de los nebulizadores tipo jet 85
Tabla 5. Determinantes en la efectividad de la nebulización 86
Tabla 6. Ventajas y desventajas de los IDM 88
Tabla 7. Ventajas y desventajas de las cámaras de inhalación 90
Tabla 8. Ventajas y desventajas de los inhaladores de polvo seco 90

Lista de figuras

Semiología

Figura 1. Examen físico. 15
Figura 2. Registro de la Historia Clínica como documento legal. 17
Figura 3. Lugar de valoración adecuado. 19
Figura 4. Infografía escala de Glasgow. 22
Figura 5. Infografía de alteraciones del ritmo respiratorio. 23
Figura 6. Topografía de tórax. 24
Figura 7. Líneas imaginarias abdominales 25
Figura 8. Tórax anormales. 26
Figura 9. Palpación unimanual. 27
Figura 10. Palpación bimanual. 27
Figura 11. Expansibilidad anterior. 28
Figura 12. Expansibilidad posterior. 28
Figura 13. Monitoreo del paciente. 29
Figura 14. Auscultación. 32
Figura 15. Auscultación anterior. 33
Figura 16. Auscultación posterior. 33

Farmacología respiratoria

Figura 1. Principales efectos de los GC en la vía aérea 50
Figura 2. Esquema de tratamiento 54
Figura 3. Tratamiento farmacológico inicial 56
Figura 4. Estructura de las secreciones bronquiales 59

Oxigenoterapia y aerosolterapia

Figura 1. Concentrador de oxígeno 72
Figura 2. Cánula nasal pediátrica 75
Figura 3. Mascara con reservorio 76
Figura 4. Cámara cefálica 77
Figura 5. Equipo Venturi 78
Figura 6. Mecanismos de depósito de un aerosol 82
Figura 7. Nebulizador ultrasónico 84
Figura 8. Nebulizador de malla vibrante 84
Figura 9. Nebulizador tipo jet 84
Figura 10. Partes inhalador de dosis medida 87
Figura 11. Pasos para administrar IDM 89
Figura 12. Espaciador 89
Figura 13. Inhaladores de polvo seco 91
Figura 14. Pasos para administrar inhalador de polvo seco 92
Figura 15 Pasos para la administración del *diskhaler* 93

Fisiología respiratoria

Figura 1. Vía aérea superior 101
Figura 2. Generaciones bronquiales 103
Figura 3. Unidad respiratoria terminal (URT) 104
Figura 4. Segmentación pulmonar 105
Figura 5. Volúmenes y capacidades pulmonares 109

Prólogo

El cuidado respiratorio en todos los niveles de complejidad involucra al personal de salud. Este desde su perspectiva profesional debe tener bases sólidas en los contextos teórico y práctico, dado que interactúa en el restablecimiento de la función pulmonar de los pacientes con patologías cardiorrespiratorias, neuromusculares, agudas y crónicas.

El libro *Principios básicos de cuidado respiratorio*, está diseñado para dar respuesta a los interrogantes específicos que surgen en la práctica diaria durante la formación de los estudiantes de los programas de pregrado del área de la salud, de modo que unifica el conocimiento de las distintas asignaturas, brinda información académica en temas tales como: semiología, farmacología respiratoria, oxigenoterapia y aerosolterapia, así como en fisiología respiratoria. Por tanto, su finalidad es proporcionar una guía a los estudiantes con una formación básica en su quehacer específico, lo cual permitirá generar habilidades y destrezas en todos los niveles de atención.

La creciente problemática en salud cardiorrespiratoria nos hace responsable de ir cada día a la vanguardia en el desarrollo de procedimientos y tratamientos, en busca de fortalecer de forma continua la calidad de la formación que en estas áreas podemos brindar, al proporcionar un contexto globalizado y actualizado, así como dar a conocer los aspectos más importantes y coherentes del mundo actual en el ámbito del cuidado respiratorio.

El primer capítulo de este libro describe de manera asertiva el orden cronológico del examen físico a través de la semiología respiratoria, enfocada en la valoración del sistema respiratorio-. El segundo trata la farmacología respiratoria, una de las más importantes áreas en el cuidado y el manejo de los pacientes en razón a que es uno de los pilares fundamentales en el tratamiento, garantiza la estabilidad de la salud en los pacientes. El tercer capítulo se enfoca en conocer, identificar y diferenciar los sistemas de oxigenoterapia y aerosolterapia, dado que son fundamentales en la estabilidad de las personas en los procesos

agudos y crónicos de la enfermedad. Por último, en el cuarto capítulo, sobre fisiología respiratoria se describen los aspectos más importantes para el entendimiento de las patologías que afectan el sistema respiratorio.

La publicación de este libro tiene como propósito contribuir al conocimiento a través de una revisión actualizada, en cumplimiento de nuestro rol profesional, y con miras a ayudar a la toma de decisiones de todas aquellas personas que en su profesión se ocupan de la salud de las personas a nivel intra y extrahospitalario.

SEMIOLOGÍA

1

Gleydiz Arboleda Amórtegui

TR-Magíster en Salud Publica y Desarrollo Social, Facultad de Ciencias de la Salud y del Deporte, Programa Terapia Respiratoria, Fundación Universitaria del Área Andina, Seccional Pereira.

Introducción

El termino *semiología* se refiere al estudio de los signos y síntomas (ambos se han utilizado como complementos en el marco de la valoración clínica). El estudio y la práctica de esta disciplina permite observar las diversas manifestaciones de la enfermedad (esto es los síntomas y los síndromes, y las manifestaciones subjetivas, los signos físicos o las manifestaciones objetivas y los signos de laboratorio o exámenes complementarios)

Figura 1.
Examen físico.

Fuente: elaboración propia.

La sociedad actual demanda profesionales en terapia respiratoria cada día más competentes ante la contingencia de enfermedades transmisibles o crónicas, emergentes y reemergentes, así como de emergencias que, de alguna manera, afectan a la población, en general. En razón de lo anterior debe estar bien fundamentado en la asistencia y valoración de los pacientes que se presenten en el ejercicio de la profesión. Este capítulo se orienta a la formación de profesionales con competencias de análisis frente a los hallazgos encontrados (1).

Objetivo general

El objetivo general es indagar los signos y síntomas, teniendo en cuenta los métodos con un orden cronológico, mediante técnicas clínicas tales como inspección, percusión, palpación y auscultación.

Objetivos específicos

Los objetivos específicos se enlistan a continuación.

- Fortalecer conocimientos sobre la aplicación de los métodos semiológicos.
- Conocer la utilidad práctica de la metodología.
- Mantener y transmitir la esencia misma de la valoración clínica frente a los cambios.

Todo este proceso requiere de unas competencias generales en el profesional en salud, quien debe interpretar y proponer una hipótesis en función de los hallazgos clínicos encontrados. Esta técnica está estrechamente ligada al conocimiento científico de la enfermedad (2).

Semiología

Según lo descrito en la semiología constituye el pilar fundamental del método clínico. Es la ciencia del diagnóstico. Presenta un método de ordenamiento de los conocimientos"

El término *semiología* proviene de las palabras griegas *semeion* (signo) y *logos* (tratado, discurso, estudio). Esta disciplina abarca varias dimensiones del saber y del hacer en el marco de las competencias que debe tener un profesional en salud, de manera que contempla en una mirada biológica, psicológica y social al paciente y fortalece así la relación del terapeuta respiratorio con este. Lo anterior permite corroborar el diagnóstico, y dar lineamientos claros en el plan de tratamiento. En este sentido se entiende la antigua aserción "la semiología no es solo la gramática de la medicina, sino la medicina misma" (2). En resumen, la semiología es salud, lenguaje y metodología en la valoración del paciente llevados del pensamiento a la práctica.

La historia clínica es una herramienta esencial para el registro del acto médico y, en general, de todo el personal de salud. Si bien en la actualidad se cuenta como principal recurso con la historia clínica electrónica, tenerla requiere de recursos con una adecuada dotación (computadores, redes), como asegurar que, sin importar el lugar, tendrán acceso al suministro de la información. La historia clínica tiene un componente una finalidad específica y es la de suministrar toda la información del paciente en el contexto de su enfermedad (3).

Dado que es un documento legal, es importante conocer los avances normativos de la historia clínica electrónica en Colombia. La historia clínica contiene datos descritos de manera ordenada con los cuales se puede llegar a un diagnóstico y un plan de tratamiento. Este documento constituye dos partes: la anamnesis interrogatorio y el examen físico.

Es muy importante conocer el fundamento jurídico. También lo es tener bases jurídicas para el manejo de la información y el registro de los hallazgos encontrados en la valoración física, pues tener claridad de todos los procesos normativos es asumir una responsabilidad en el marco de la atención y el registro de todo lo encontrado en el paciente, y corroborarlo con los datos obtenidos de otros profesionales.

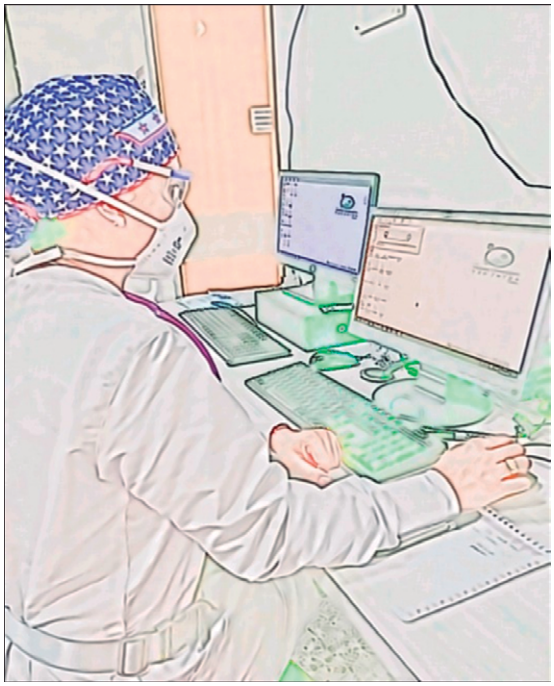


Figura 2.
Registro de la Historia Clínica como documento legal.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 1.

Normatividad hacia una historia clínica en Colombia

Norma	Relación con la historia clínica electrónica.
Resolución 1995 de 1999	Tal como lo expone en esta resolución la historia clínica es de carácter privado y es información reservada, donde en ella se evoluciona de manera ordenada el estado del paciente, el examen físico ejecutado por el profesional en salud, describe las características básicas de la historia clínica, su archivo y la posibilidad de usar medios físicos o automatizados para diligenciarla.
Resolución 3374 del 2000	Define los datos básicos que deben reportar los prestadores y administradores de salud, los registros individuales de prestación de servicios de salud, RIPS y los procesos informáticos.
Ley 1753 del 2015	En esta ley se define de manera clara el derecho fundamental de hábeas data, fijó según el Ministerio de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, en conjunto con las instituciones encargados de todos los procedimientos como trámites y servicios. Todo lo anterior con el fin de que los tomen y trabajen las entidades de salud que usan la historia clínica electrónica.
Resolución 839 de 2017	Establece el manejo, la custodia, el tiempo de retención, la conservación y la disposición final de los expedientes de las historias clínicas, así como reglamenta el procedimiento que deben adelantar las entidades del SGSSS para el manejo de estas en caso de liquidación.

Fuente (18)

La confidencialidad de la privacidad en los aspectos clínicos de cada paciente se relaciona, en gran parte, con el respeto del profesional durante la atención y el diligenciamiento de la historia clínica, con miras a los principios éticos de preservación de la información.

Así mismo con todo el respeto de todas las normas legales que determinan el secreto profesional, de manera que puede acarrear, en algunos casos, sanciones drásticas. Es, por tanto, importante para el profesional en salud, quien con frecuencia tiene la responsabilidad de diligenciar este documento, saber conocer los aspectos legales mencionados. También es importante tener en cuenta que las evoluciones en la historia clínica pueden representar un juicio subjetivo, de manera que deben anotarse con responsabilidad y considerar las consecuencias de lo soportado.

Interrogatorio

Es la parte del acto del profesional que conduce a un diálogo entre el entrevistador (profesional) y el entrevistado (paciente). Esta conversación ayuda a establecer aspectos importantes del contexto del paciente, y así como a proporcionar recomendaciones y puntos claves para la preservación de la salud. Es la parte más importante dentro de la valoración.

El profesional en salud debe tener respeto por su paciente, escuchar con atención y sin afanes, formular preguntas directas y prudentes de manera que no sea molesto para el paciente. Es necesario utilizar un lenguaje sencillo y de modo que se debe evitar términos técnicos del profesional tales como disnea o hiporexia, se recomienda, en cambio formular preguntas del tipo pregunta ¿siente dificultad para respirar?, o ¿no tiene apetito? Un aspecto importante es no sugerir respuestas y se debe preguntar con un razonamiento que vaya de lo general a lo especifico, por ejemplo: ¿a qué se parece su dolor de tórax?, ¿dónde lo percibe?, ¿persiste siempre ahí?, ¿o cambia de localización? (4)

Figura 3.
Lugar de valoración adecuado.

Fuente elaboración propia.

En cuanto al lugar donde se realiza el interrogatorio o la entrevista al paciente, por lo general, es un escenario médico, bien sea en consulta externa o bien intrahospitalaria. Debe ser un momento de total atención en el entrevistado; si toma nota o lo hace directamente en el computador no debe desviar la atención a las respuestas.

Se debe mostrar interés por todo lo que el paciente refiere, tener en cuenta que no se puede realizar un interrogatorio de prisa, debe ser un momento de total concentración y respeto hacia el paciente.

Debemos tener en cuenta la importancia de clasificar si es el caso en qué grado de dificultad respiratoria se encuentra el paciente. Para esto existe la escala de valoración MRC en la cual se relacionan una serie de preguntas clave dirigidas a identificar en qué grado se encuentra el paciente.

Tabla 2.

Escala MRC

0	La disnea se produce solo con un gran esfuerzo físico.
1	La disnea se produce al andar deprisa en llano o al subir una pendiente poco pronunciada.
2	La disnea imposibilita mantener el paso de otras personas de la misma edad caminando en llano u obliga a detenerse o descansar al andar en llano al propio paso.
3	Tiene que detenerse a descansar al andar ~100 m o a los pocos minutos de andar en llano.
4	La disnea impide al paciente salir de casa o aparece con actividades tales como vestirse o desvestirse.

Fuente: adaptado de la Escala de disnea MRC (modified Medical Research Council).

Tabla 3.

Componentes del interrogatorio

Componentes	Detalles
Datos personales	• Nombre y apellidos • Identificación • Edad • Fecha y hora de realización • Género • Profesión u oficio • Estado civil
Historia de la Enfermedad Actual	• Motivo de consulta • Establecer cuando iniciaron los • Síntomas • Descripción de síntomas
Antecedentes	• Personales • Familiares • Farmacológicos • Tabaquismo • Oxígeno domiciliario

Fuente elaboración propia.

Examen físico

El profesional en salud debe tener capacidad de análisis, que le permitan llevar a cabo un orden de inspección, palpación, percusión y auscultación. Si bien la inspección y la palpación se aplican a todo el cuerpo, la percusión es poco utilizada en la actualidad, aunque es importante mencionarla con el fin de enriquecer el conocimiento de cada lector, y permitir el libre desarrollo del criterio profesional. Además, la auscultación que es específica del tórax, en nuestro ejercicio. De aquí se derivan los aspectos más importantes dentro del que hacer de todo profesional en salud (2,5)

Métodos semiológicos

Inspección

El examen físico inicia con la exploración visual, sin importar que el paciente esté en una posición diferente. Se debe entonces observar de manera metodológica la descripción del paciente, en un orden cefalocaudal, así como iniciar una detallada observación de su contexto (6).

- Posición en la que se encuentra el paciente.
- Suministro de oxígeno (cuántos litros por minuto, medio de oxigenación).
- Características físicas relevantes.
- Tipo de tórax.
- Patrón respiratorio.
- Alteraciones de motricidad.
- Alteraciones de lenguaje.

El arte de observar es indispensable en la práctica médica. La inspección se inicia en el momento en que se tiene el primer contacto con el paciente, bien sea en la habitación hospitalaria, cuando ingresa al consultorio, o bien en el escenario que se encuentre y así sucesivamente en todos los métodos semiológicos. (7)

Tabla 4.

Condiciones generales

Condición	Detalle
Tipo constitucional o biotipo morfológico	Tipo de tórax: · Normolíneo tronco bien proporcionado o simétrico. · Brevilíneo tronco corto y grueso. · Longilíneo tronco largo y delgado.
Postura y posición	· Decúbito dorsal o supino · Decúbito lateral derecho e izquierdo · Decúbito ventral o prono.
Estado dinámico	· Capacidad dinámica o de realizar movimientos · Capacidad, intensidad de la voz. · Adinamia profunda
Facies	· Facie descompuesta: es una facie inanimada con mirada inmóvil · Facie dolorosa: expresión de un padecimiento doloroso. · Otras facies que se deben tener en cuenta son la: hipocrática, caquéxica, febril.
Estado de conciencia	· La evaluación consiste en observar la respuesta durante el interrogatorio y el estímulo coherente que da frente a las preguntas realizadas por el profesional.

Fuente: (7).

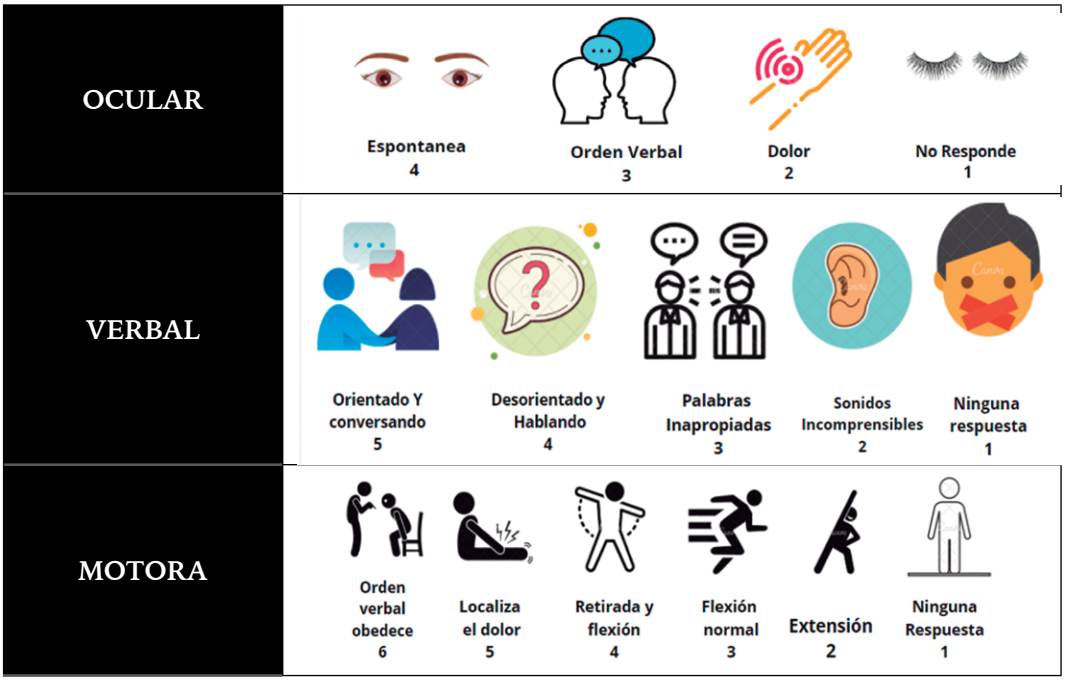


Figura 4.

Infografía escala de Glasgow.

Fuente: elaboración propia

Inspección de cabeza y cuello

En la inspección de cabeza se debe tener en cuenta la valoración del sistema nervioso, en la cual se evalúa el estado de conciencia, con la escala de Glasgow (véase la Infografía de la figura 4)

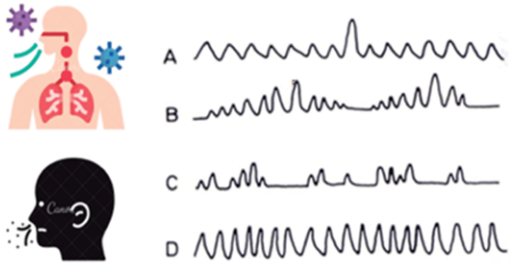
En esta inspección se observa movimientos del cuello, de acuerdo con el biotipo del paciente, su edad y sexo, si existen hallazgos específicos, simetría, flexibilidad en los movimientos del cuello en la flexión y extensión, rotación derecha e izquierda, ingurgitación yugular visible o no, adenopatías visibles o no. Normalmente, el cráneo es la mitad de la cabeza; si su tamaño es muy grande se denomina macrocefalia, si es muy pequeño se denomina microcefalia. También es importante medir el perímetro cefálico, así como incluir de manera profunda está valoración de cabeza y cuello, ya que se puede asociar con la patología de base o llevar a diagnosticar nuevos hallazgos (8)

Inspección del tórax

Se debe observar si existe un tórax normolíneo según su biotipo, simétrico, verificar posibles alteraciones según el tipo de tórax, así como observar, según la mecánica ventilatoria, el patrón respiratorio. Este puede ser:

- Costal superior.
- Toracoabdominal.
- Diafragmático.

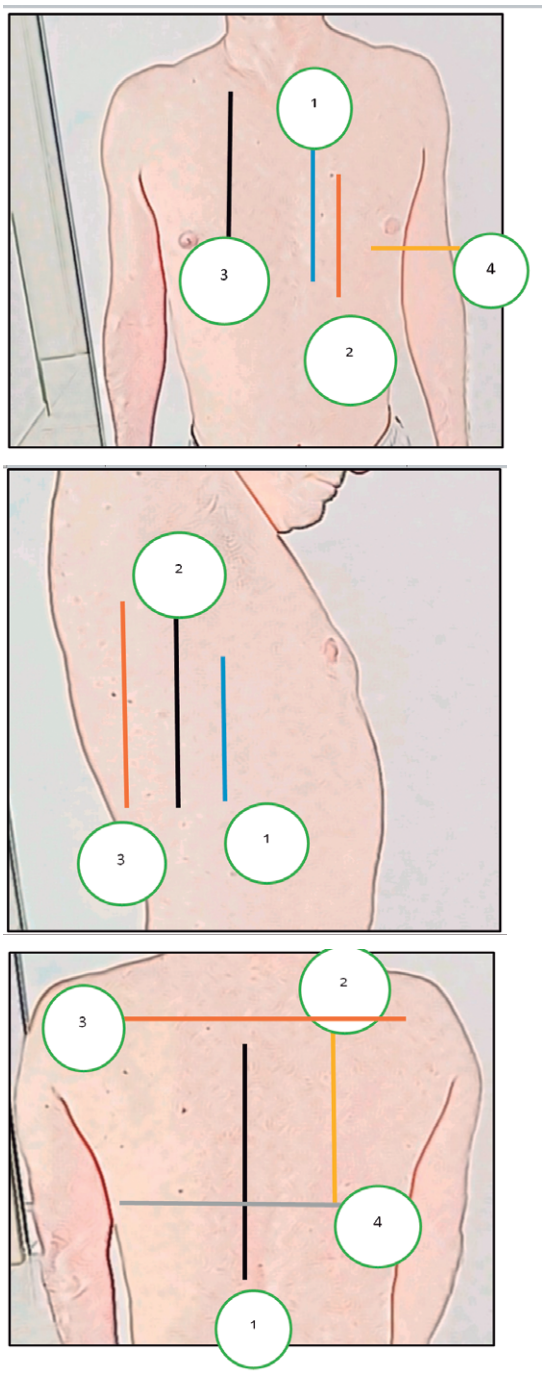
El proceso de respirar establece el ritmo o lo profundidad en la inspiración y espiración, de modo que, al determinar el estado de salud, sus causas y su clasificación, esto puede arrojar patrones, los cuales pueden ser tanto normales como anormales y tienen características específicas; se debe indagar sobre esa normalidad, la simetría torácica o no de manera general en el paciente que se observa en la infografía de la figura 5.



a- Respiración normal
b- Respiración Cheyne-Stokes
c- Respiración de Biot
d- Respiración Kussmaul

Figura 5.
Infografía de alteraciones del ritmo respiratorio.

Fuente: elaboración propia.



Tórax anterior
1-Línea medio esternal
2-Línea par esternal
3-Línea medio clavicular
4-Línea mamaria

Tórax lateral
1-Linea axilar anterior
2-Linea axilar media
3-Linea axilar posterior

Tórax posterior
1-Linea vertebral
2-Liinea escapular
3-Liinea escapulo espinal
4-Linea infraescapular

Figura 6.
Topografía de tórax.

Fuente: elaboración propia.

Inspección de abdomen

Se observa su forma, tamaño y simetría para estar en capacidad de apreciar si está distendido o globoso, además de hallazgos tales como cicatrices o heridas, y movilidad. Se debe tener en cuenta la división topográfica en cuatro cuadrantes imaginarios, lo que favorece la ubicación y el registro de hallazgos importantes dentro de la valoración física. Con el propósito de visualizar el estado del área abdominal. (9)

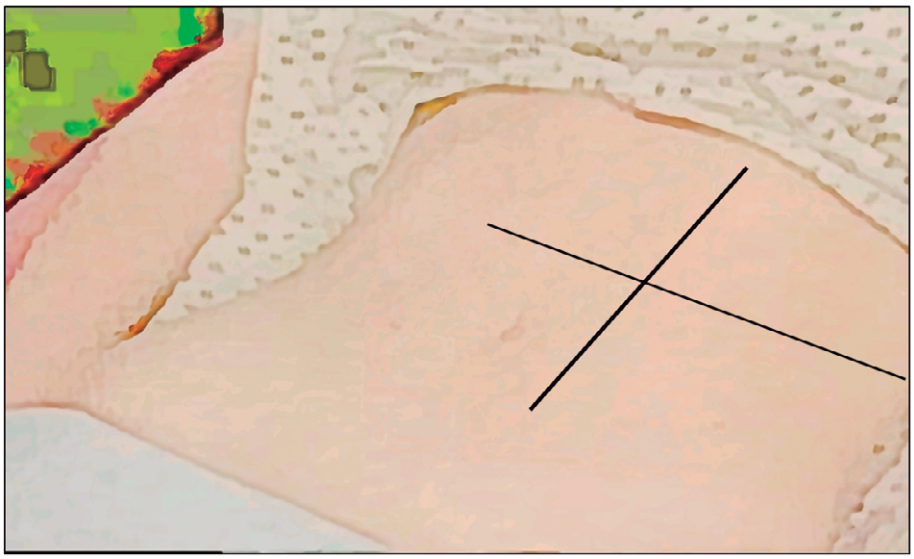


Figura 7.
Líneas imaginarias abdominales

Fuente: elaboración propia.

Inspección miembros superiores e inferiores

Se observan edemas, alteraciones visibles en las manos, faneras y la coloración de la piel. Tiene el valor agregado de aportar al examen físico la actividad motora del paciente y su estado dinámico.

Así mismo por medio de la valoración de estos miembros podemos determinar la posición del paciente, la cual puede ser bípeda, y lo lleva a un correcto desplazamiento, también se observa el tamaño, el aspecto de la piel, la simetría, la ausencia o presencia de patrones venosos, edemas, cicatrices, entre otros (10, 11).

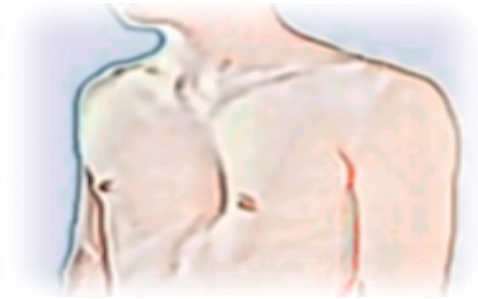
Tabla 5.

Alteraciones frecuentes de la inspección

Signos de dificultad respiratoria	Aleteo nasal Cianosis central y/o periférica Tirajes o retracciones
Alteraciones del ritmo respiratorio	Cheyne Stokes Biot Kussmaul
Tórax anormales	Tonel Excavatum Quilla o pecho paloma Cifoescoliótico
Patrón respiratorio	Paradójico

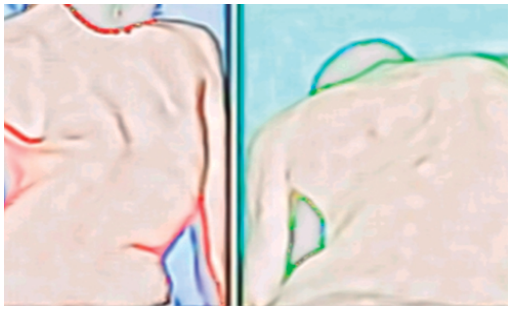
Fuente (5)

Tórax en Tonel.: Aumento del diamentro anteroposterior.



Tórax Pectum Excavatum: Unidmiento del pecho en el area del esternón

Tórax en Quilla o pecho paloma: caracterizado por prominencia en el esternón



Tórax Cifoescolietico: desviación de la columna

Figura 8.

Tórax anormales.

Fuente: elaboración propia.

Palpación

Es la apreciación que realiza el profesional de la salud de manera manual y directa en el paciente, con un orden cronológico igual de la inspección de miembros superiores e inferiores, a fin de verificar sensibilidad al tacto, el estado térmico(t°) la forma y el movimiento del area a explorar, es importante tener en cuenta que al ser el momento en el que se tiene más contacto con el paciente se deben tomar los signos vitales (12)

La palpación puede realizarse con una mano y se denomina "unimanual" este método se lleva a cabo utilizando una mano activa (mano derecha) para realizar una depresión de la estructura explorada.

En la palpación podemos usar una técnica bimanual utilizando la mano izquierda como la pasiva que actúa haciendo resistencia y la derecha de forma activa.

Figura 9.
Palpación unimanual.

Fuente: elaboración propia.

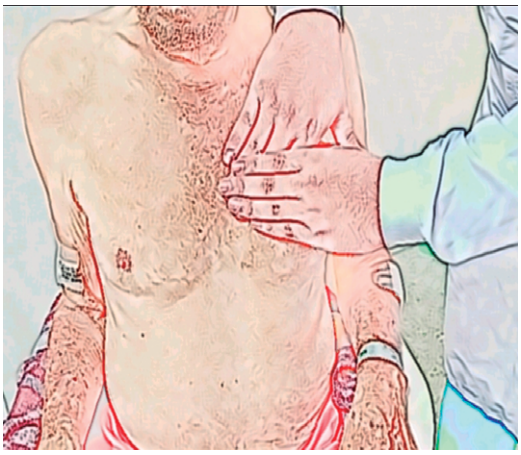


Figura 10.
Palpación bimanual.

Fuente: elaboración propia.

En la caja torácica la palpación se realiza con especial cuidado, teniendo en cuenta todos los hallazgos percibidos por medio del tacto

Acto seguido, se debe realizar la evaluación de la expansibilidad y distensibilidad del tórax, por medio de una técnica que se combina con la colaboración del paciente, se le debe pedir que tome aire profundo y lo vote de manera lenta, colocando las manos en el borde de las costillas y en seguida en la parte anterior del tórax y posterior (véase las imágenes de las figuras 11 y 12)

Figura 11.
Expansibilidad anterior.

Fuente: elaboración propia.

Figura 12.
Expansibilidad posterior.

Fuente: elaboración propia.

Edema

El edema es el incremento de volumen del líquido en el intersticio que se puede ver en la inspección o palparse en el examen físico por el hundimiento en forma de hoyuelo al presionar la piel (14).

Tabla 6.
Característica en la valoración del edema

Inicio	Agudo o crónico
localización	Facial. Miembros superiores e inferiores, genitales, cavidad abdominal y pleural.
Factores de riesgo	Enfermedades de base
Color	Rojo, blanco, pigmentación
Temperatura	Calor localizado

Fuente: Adaptación (Rossi PG.) Diagnostico diferencial de los edemas del miembro inferior.

Signos vitales

Los signos vitales son primordiales en el examen físico diario realizado al paciente. Entre ellos temeos el pulso (frecuencia cardiaca) la frecuencia respiratoria, la temperatura, la tensión arterial, y la saturación arterial de oxígeno. (15)

Por medio de la toma de los signos vitales se puede establecer el estado general del paciente, así como se puede brindar una orientación de la adherencia al tratamiento actual.

Se da los resultados con periodos exactos de su registro para tener claridad en el momento de comparar el ingreso y la enfermedad actual.

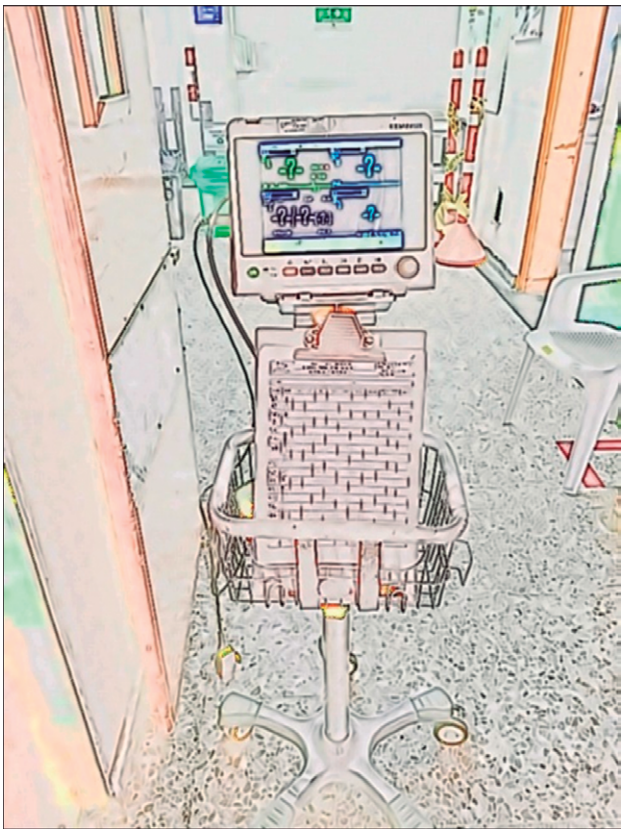


Figura 13.
Monitoreo del paciente.

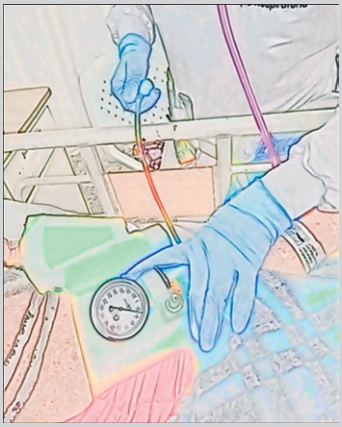
Fuente: elaboración propia.

Tabla 7.

Signos vitales

Signo	Técnica	Representación
Pulso · Neonatos: 120-150 por minuto. · Mayores de 15 años: 60-100 por minuto, con promedio de 80.	El antebrazo del paciente se apoya en tal forma que el borde radial mire hacia arriba y hacia adentro, la mano del profesional toma la muñeca del paciente con el dedo pulgar en forma de pinza. Se realiza el conteo de número de pulsaciones en un minuto.	
Saturación arteria de oxigeno · 90-100%	Se realiza la toma en el dedo índice, de preferencia con el medidor portátil de pulso, el cual también me puede dar la frecuencia cardiaca.	
Frecuencia respiratoria · Neonatos 44 respiraciones por minuto. · Mayores de cinco años 36 respiraciones por minuto. · Adultos 16 a 20 respiraciones por minuto.	Se realiza conteo de la insuflación torácica, durante un minuto.	

(*Continúa*)

Signo	Técnica	Representación
Temperatura · 36,5 C° a 37 C°	Termómetro digital: como mencionábamos en el inicio, se utilizan para la casa o servicios de salud, están compuestos por circuitos electrónicos usados para convertir en números las variaciones de tensión obtenidas. La forma de uso es sencilla; tan solo se debe ubicar la parte metálica dentro de la cavidad axilar y así durante un minuto, se obtiene el resultado.	
Tensión arterial · 120/80mmhg	Con el método en el que se utiliza el fonendoscopio posible estimar las presiones sistólica y diastólica, lo cual consiste en una apreciación de los ruidos que se dan en la súbita tensión de las paredes vasculares por la llegada de la onda de presión.	

Fuente: (11) imágenes de elaboración propia.

Tabla 8.

Alteraciones de los signos vitales

Pulso	Taquicardia pulsaciones mayores de 90 Bradicardia pulsaciones menores de 60
Saturación arterial de oxígeno	Saturación menor de 90 % alteraciones en el transporte de oxígeno.
Frecuencia respiratoria	Taquipnea respiraciones mayores al parámetro normal por edades. Bradipnea respiraciones menores al parámetro normal por edades.
Temperatura	Hipertermia T° mayor a 37,5 °C Hipotermia T° menor de 36 °C
Presión arterial	Hipertensión mayor 120/80 mmhg Hipotensión menor 120/80 mmhg

Fuente: (11).

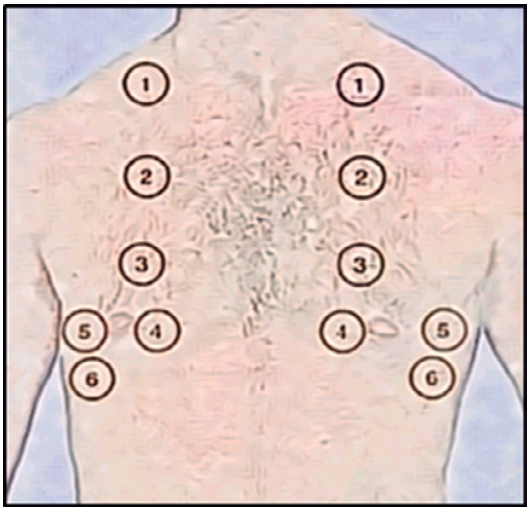
Auscultación

Es un paso relevante durante la valoración respiratoria, y es parte importante en el diagnóstico de patologías respiratorias El equipo utilizado es el fonendoscopio, el cual tiene una historia que data desde el siglo XIX, diseñado por el médico T. laennnec.

Figura 14.
Auscultación.

Fuente: elaboración propia.

Por medio de la auscultación es posible identificar las alteraciones y diagnosticar las patologías respiratorias, así como relacionar la información obtenida con la anatomía pulmonar con miras a establecer, de acuerdo con la ubicación, un diagnóstico y un tratamiento. La posición recomendada para realizar este método semiológico es con el paciente en posición sedente a fin de emplear una técnica comparativa entre los dos hemitórax. Si no es posible esta posición, deberá proceder en decúbito supino para la parte anterior y decúbito lateral izquierdo y derecho con el propósito de realizar auscultación medial y posterior. Es un método de gran importancia para detectar alteraciones respiratorias y diagnosticarlas (1,16)



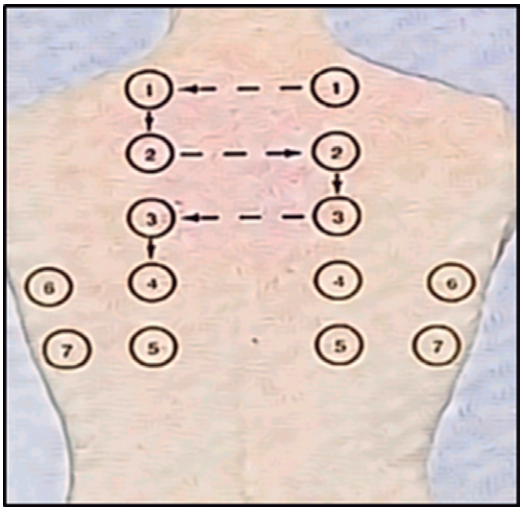


Figura 15.
Auscultación anterior.

Fuente: elaboración propia.

Figura 16.
Auscultación posterior.

Fuente: elaboración propia.

Tres condiciones permiten hallazgos confiables en tórax: 1) lesiones grandes que produzcan cambios audibles; 2) lesiones superficiales, es decir, lo más cercanas a la pared torácica; 3) lesiones que se encuentren en una región de fácil acceso al examen clínico. Realizar una buena auscultación determina el tratamiento más confiable a nivel respiratorio (17).

Tabla 9.
Ruidos respiratorios normales

Ruidos respiratorios	Proceso fisiológico	Relación
Traqueal	Resonancia en vía aérea con flujo turbulento	Conformación de vía aérea superar
Pulmonar	Flujo turbulento en vértices pulmonares	Consolidaciones o atelectasias, calibre de vía aérea
Bronco vesicular	Específico de región hiliar	Aumento de la fase inspiratoria, consolidaciones
Murmullo vesicular	Periferia de los campos pulmonares con menos resonancia	Calidad de la ventilación, simetría del tórax.

Fuente: adaptación de (16).

Tabla 10.

Ruidos respiratorios patológicos

Ruidos respiratorios	Proceso fisiológico	Relación
Sibilancias	Oscilación en vía aérea, predominante en la espiración	Obstrucción de vía aérea, limitación al flujo aéreo, polifónicos y monofónicos.
Roncus	Movilización liquida en vía aérea principal.	Secreciones bronquiales
Crepitantes o estertores	Burbujeo de vía aérea inferior, más en inspiración	Apertura y cierre de vía aérea, movilización de secreciones

Fuente: adaptación de (16).

La semiología es una disciplina que le proporciona al profesional una visión amplia del estado general del paciente, teniendo en cuenta sus dominios sociales, dinámicos, clínicos y cognitivos. El profesional en salud debe seguir el orden descrito en este capítulo para obtener una valoración correcta que se pueda encaminar a un tratamiento en beneficio del paciente.

Referencias

1. Ronderos P. Bicentenario de la invención del fonendoscopio (1916-2016). Med. 2016;38(4):349-350.
2. Bruce AA. La actualización del método clínico. Rev Cub Med. 2019;58(1):1-12.
3. Antomás J, Barrio SH. Confidencialidad e historia clínica. Cons Ét-leg. 2011;34:73-82.
4. Cobo Campo LA, Pérez Uribe RI. Proyecto Anamnesis. Desarrollo de una aplicación web y móvil para la gestión de una historia clínica unificada de los colombianos. Rev EAN. 2016;(80):91.
5. Lllanio R, Perdomo G. Exporación del tórax y del sistema respiratorio. En: Propedéutica clínica y semiología médica. Tomo I. 2003; pp. 91-9.
6. Costa GPO, França KAN de, Santos MAL, Guilherme JG, Medeiros JGM de, Silva Júnior EA da. Dificuldades iniciais no aprendizado do exame físico na percepção do estudante. Rev Bras Educ Med. 2020;44(1):1-5.
7. Vicco M. Análisis de la evaluación de competencias en el área clínica médica de la carrera de ciencias médicas de la UNL; tesis de maestría. Univ Nac Lit. 2016.
8. Hernández Y. Aterosclerosis y sistema aterométrico. Rev Cuba Med Mil. 2016;45(2):183-94.

9. Báez Saldaña R, Monraz Pérez S, Castillo González P, Rumbo Nava U, García Torrentera R, Ortíz Siordia R, et al. La exploración del tórax: una guía para descifrar sus mensajes. Rev la Fac Med [Internet]. 2016;59(6):43-57. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0026-17422016000600043
10. Finlay CJ. Manual de examen físico; 2011.
11. Villegas J, Villegas O, Villegas V. De los signos vitales. Arch Med. 2012;12(2):221-40.
12. Flaherty JE, Keller JB. Elastic behavior of composite media. Commun Pure Appl Math. 1973;26(4):565-80.
13. Bien I. La exploracion manual del enfermo.
14. Rossi PG. Diagnóstico diferencial de los edemas del miembro inferior. 2007;167-78.
15. Bernal Ferreira G. Importancia de los signos y síntomas del sistema respiratorio. Semiología basada en la evidencia. Cart Com. 2017;25(145):20.
16. Francisca BZ, Dafne SK, Ignacio SD, Pablo BN. Lung auscultation in the 21th century. Rev Chil Pediatr. 2020;91(4):500-6.
17. Branch PN, Society CP. Versión in press ID 1005. 2019;90(2):209–16.
18. Aguirre N, Camacho Y, Carvajal MP, Domínguez J, Garzón P, Guevara L, *et al*. Historia clínica electrónica en Bogotá: percepciones desde la atención primaria. Rev Sal Bos. 2019;8(22).35-48.

FARMACOLOGÍA RESPIRATORIA

2

Darys Osuna Julio

TR-Magíster en Salud Publica y Desarrollo Social, Facultad de Ciencias de la Salud y del Deporte, Programa Terapia Respiratoria, Fundación Universitaria del Área Andina, Seccional Pereira.

Introducción

La farmacología respiratoria es muy importante para los profesionales en salud en especial para los terapeutas respiratorios, quienes cumplen un papel fundamental en la educación del paciente con relación a la administración de estos medicamentos y en la observación de los efectos terapéuticos buscados y los efectos secundarios no deseados. El contacto con los medicamentos es un evento que se repite numerosas veces en el quehacer diario de los terapeutas respiratorios. Todo esto obliga a los terapeutas respiratorios a tener un conocimiento profundo de la farmacología respiratoria, la administración y los conceptos básicos generales.

Este documento de apoyo está diseñado con el fin de facilitar el entendimiento de los temas farmacológicos y resaltar los aspectos más útiles para los estudiantes, dado que responde a la competencia de la línea de cuidado cardiopulmonar, en la cual se debe brindar cuidado respiratorio integral a fin de favorecer las condiciones óptimas de salud individual y colectiva en el curso de la vida, con fundamento en los conocimientos propios de la profesión, en los diferentes contextos del cuidado y los niveles de complejidad de la atención. De igual forma al reconocer los medicamentos respiratorios, así como el entendimiento del mecanismo de acción, establecer cuáles son los medicamentos para la vía aérea, conocer las dosificaciones, las indicaciones, las contraindicaciones, el efecto farmacológico, los efectos secundarios y la selección adecuada de los medicamentos a administrar en las diferentes patologías respiratorias, como lo son: los broncodilatadores, corticoides, mucolíticos y antileucotrienos.

Aspectos generales de la farmacología respiratoria

La farmacología respiratoria y en especial los medicamentos inhalados se utilizan desde tiempos remotos pero cada vez es mayor la demanda de consumo a causa de los diferentes trastornos respiratorios que presenta la humanidad.

El abordaje inicial de pacientes con episodios y diagnóstico de enfermedad respiratoria debe ser adecuado, oportuno e individualizado. Asimismo, la inflamación y la obstrucción crónica de la vía aérea se puede revertir o disminuir con el tiempo, la cual estabiliza

y mejora la función pulmonar. Además de eso, se disminuyen las exacerbaciones, los reingresos hospitalarios, se estabilizan los síntomas, hay mejor control de la enfermedad, así como la calidad de vida y longevidad en pacientes con Asma y EPOC en estados más avanzados puede aumentar. Por tanto, la guía Gold 2020 estima que la enfermedad pulmonar crónica (EPOC) es actualmente la cuarta causa de muerte en el mundo. Sin embargo, se proyecta que sea la tercera causa principal de muerte para este año, dado que se ha convertido en una importante carga de morbilidad y mortalidad en todo el mundo al causar la muerte prematura (o debido a sus complicaciones) a muchas personas que la sufren (1).

Objetivos

Los objetivos de este capítulo son:

1. Adquirir destrezas teóricas en la administración de medicamentos respiratorios.
2. Conocer los principales grupos de medicamentos.
3. Identificar las diferentes formas farmacéuticas utilizadas en la práctica clínica.

Conceptos básicos de farmacología

A continuación, se enlistan y describen los conceptos básicos de farmacología

- *Farmacología:* Parte de la ciencia médica que estudia el origen, y las propiedades físicas y químicas de fármaco, así como las acciones sobre el organismo.
- *Medicamento o principio activo:* Sustancia química útil en el diagnóstico, tratamiento y prevención de enfermedades, capaz de modificar los ritmos biológicos en el organismo ante su aplicación terapéutica, de modo que genera una respuesta benéfica o toxica.
- *Excipiente: Sustancia* inerte, utilizada como vehículo para la administración y conservación de los medicamentos.
- *Forma farmacéutica: Es* la presentación, la forma física y el acabado en los que se produce un medicamento para su comercialización o consumo; por ejemplo: tabletas, inhaladores de dosis medida (IDM), inhaladores de polvo seco (IPS), jarabe, solución para nebulizar, etc.
- *Placebo: Sustancia* inerte disfrazada de medicamento que por lo general contiene lactosa o almidón utilizada en estudios farmacológicos o a fin de explorar efectos psicológicos de un tratamiento.
- *Fármaco: Sustancia* química pura que puede cuantificarse exactamente y posee actividad farmacológica.

- *Droga: Se* refiere a una mezcla de sustancias, generalmente de origen natural, que posee actividad farmacológica.
- *Efectos adversos o secundarios: Signos* y síntomas indeseables producidos al administrar un medicamento a dosis adecuada como, por ejemplo, palpitaciones, erupciones cutáneas, cefalea, náuseas, somnolencia, etc.
- *Dosis:* Cantidad de medicamento administrado a un paciente.
- *Vida media:* Tiempo requerido para que la cantidad de medicamento se reduzca al 50 % o a la mitad de la concentración plasmática durante el proceso de eliminación. Desde el punto de vista clínico tanto la vida media como el estado del paciente son importantes porque permiten seleccionar el medicamento y la vía más adecuada además de que inducen a la mitigación de los riesgos de los medicamentos.

Por lo general los medicamentos de vida media larga tardan más en producir los efectos terapéuticos óptimos y son los que con mayor frecuencia causan efectos adversos a largo plazo.

Los medicamentos se pueden conocer con tres nombres:

- Químico: Describe la composición química y la estructura molecular y está sujeto a la nomenclatura internacional.
- Genérico: Nombre universal que selecciona el laboratorio farmacéutico productor y los expertos de la organización mundial de la salud (OMS) para que el medicamento sea reconocido a nivel mundial, es decir, es un nombre no patentado y de carácter público. Ejemplo: salbutamol.
- Comercial: Marca registrada o nombre patentado por los laboratorios farmacéuticos para sus productos, de manera que pueden existir varios nombres comerciales para un mismo medicamento como, por ejemplo; Ventilan®, Ventolin® y Salbutan®.

Fases que gobiernan la actividad de los medicamentos

A continuación, se enlistan y describen las fases que gobiernan la actividad de los medicamentos.

- *Fase farmacéutica o biofarmacéutica:* Es la encargada de poner de forma adecuada el principio activo a disposición del organismo, cumpliendo con toda la reglamentación legal, de calidad, sanidad y seguridad. La disposición se relaciona directamente con la dosis y la vía de administración; es la puerta de entrada al organismo.
- Fase farmacocinética: Es el proceso al que un medicamento es sometido; tiene que ver con el movimiento y la evolución de los cambios de concentración durante su paso por el organismo. Los sucesivos pasos que atraviesan los medicamentos en el organismo de manera simultánea se agrupan en el acrónimo de ADME (absorción-circulación y distribución-metabolismo o biotransformación-excreción o eliminación).

Absorción es el proceso de transporte del medicamento desde su entrada al organismo hasta la llegada al plasma. Después de ser absorbidos los medicamentos deben distribuirse por todo el cuerpo y llegar a su sitio de acción. La absorción es un proceso que involucra diferentes variables, y tiene que ver con la penetración de los fármacos, los mecanismos de transporte, las características de la vía de administración, los factores y las circunstancias que pueden alterar la absorción.

Distribución: proceso en el que los medicamentos llegan a todas las células y órganos del cuerpo, los cuales se transportan en la sangre de tres formas diferentes: unidos a proteínas plasmáticas, libre en el plasma y en el interior de ciertas células sanguíneas.

Metabolismo o biotransformación: modificación enzimática y molecular que sufren los principios activos para que puedan ser eliminados del organismo. Los órganos encargados de este proceso son; principalmente el sistema citocromo P450 localizado en el retículo endoplasmático, el hígado y en algunas ocasiones lo realizan los riñones, el tejido gastrointestinal, los pulmones, el plasma y la piel.

Eliminación o excreción: capacidad de sacar un medicamento y sus metabolitos del organismo. El riñón es el principal órgano excretor, aunque existen otros que lo hacen de manera insuficiente tales como el hígado, la piel, los pulmones, las glándulas salivales y lagrimales. Estos órganos o estructuras utilizan vías determinadas para expulsar los medicamentos del cuerpo. Las principales vías de eliminación son la orina, las lágrimas, el sudor, la saliva, la respiración, la leche materna y las heces.

- *Fase farmacodinamia o farmacodinámica:* Estudia el mecanismo de acción y el efecto que genera un medicamento en el organismo.

  Mecanismo de acción: modificación bioquímica y fisiológica que ocasiona un medicamento al unirse con receptores celulares.

  Efecto farmacológico: es la manifestación fisiológica visible que se da por el mecanismo de acción (2,3,4).

  –*Ejemplo:* el salbutamol: estimula los receptores beta2 del musculo liso, el cual lleva a la activación e inhibición de otras enzimas o segundos mensajeros y el resultado de toda esta acción es la de producir broncodilatación o aumentar el calibre de la vía aérea, de modo que a través de este efecto principal se dan otras respuestas.

Tabla 1.

Receptores beta2 adrenérgicos y colinérgicos estimulados.

SNS	Receptores	SNP	Receptores
Sistema adrenérgico Noradrenalina (NA)	Simpaticomiméticos • Receptores postsinápticos efectores (α1, β1 y β2) • Receptores presinápticos (α2 que modulan la liberación de la NA) • Simpaticolíticos: Antagonizan la acción simpática	Sistema colinérgico Acetilcolina (AC)	Muscarínicos-SNP • M1, M2, M3, M4, M5 Nicotínicos- SM

Fuente: (5)

Broncodilatadores

Son medicamentos utilizados para patologías que causan obstrucción e inflamación de la vía aérea, los cuales inducen a la relajación del musculo liso bronquial, desde los bronquios terminales hasta la tráquea, a través de diferentes mecanismos de acción o modificación celular en personas que cursan con patologías respiratorias agudas y crónicas, independientemente de la limitación del flujo de aire y de los síntomas que desencadenan la obstrucción o el broncoespasmo. Los grupos de broncodilatadores con diferentes mecanismos de acción están clasificados de la siguiente manera.

Agonistas β2 adrenérgicos

Estos producen su efecto por medio de la interacción de receptores β2 localizados en la membrana celular, induciendo a la relajación del musculo liso de la vía aérea sobre la superficie de las células musculares. Diferentes estudios han relacionado distintos efectos benéficos adicionales como, por ejemplo, el aumento de la depuración mucociliar y el descenso en la liberación de células inflamatorias de mastocitos y eosinófilos; posteriormente la estimulación de los receptores β2 aumenta la concentración de adenosín monofosfato cíclico (AMPc) lo que genera antagonismo funcional a la broncoconstricción (3).

Por tanto, según la duración de la acción de este grupo de fármacos; diferentes sociedades científicas, en busca de un plan global en la estrategia de prevención, diagnóstico y tratamiento de enfermedades respiratorias crónicas, como, por ejemplo, el asma y EPOC han dividido este grupo de medicamentos ajustando el tratamiento con el fin de buscar el control en la remodelación estructural del sistema respiratorio, en acción corta (o SABA

por sus siglas en inglés), de rescate o alivio y acción prolongada (LABA, por sus siglas en inglés), de control o mantenimiento (1,6,7).

Medicamentos de alivio o de rescate

Se utilizan a demanda para tratar la exacerbación o prevenir la broncoconstricción o broncoespasmo de forma rápida, en pacientes que presentan síntomas diurnos leves y ocasionales, pero que tengan controlada la enfermedad, así como en pacientes asintomáticos entre los episodios; además mantiene la función pulmonar normal (7).

Medicamentos de control o mantenimiento

Se utilizan para un mejor control a largo plazo de la enfermedad, atenuando los síntomas diurnos y nocturnos; mejora la función respiratoria y reduce las exacerbaciones e ingresos hospitalarios. La mayoría de estos medicamentos vienen combinados con corticoides y anticolinérgicos lo que se denomina "terapia combinada" y se expone más adelante (7).

Mecanismo de acción

Los agonistas Beta2 estimulan los receptores $\beta 2$ del musculo liso bronquial, de manera que activan la vía adenilciclasa por estimulación de la proteína G3. Esto lleva al aumento intracelular de AMP cíclico (AMPc), el cual activa la proteinquinasa A; esta fosforila varias proteínas intracelulares, un proceso que disminuye la concentración de calcio intracelular por remoción activa desde los depósitos celulares tiene un efecto inhibitorio sobre la hidrolisis de fosfoinositidos y hace bloqueo directo de la cadena de miosina, de forma que de apertura de los canales de potasio dependientes del calcio (KCa), lo que lleva a la repolarización celular lisa y puede estimular la retención de calcio en los depósitos intracelulares, induciendo a la relajación. Los $\beta 2$ agonistas tiene efectos adicionales en la vía aérea y se localizan en diferentes tipos de células en esta zona, por lo que pueden causar broncodilatación por acción directa sobre el musculo bronquial o indirecta por inhibición de la liberación de mediadores broncocosntrictores de células inflamatorias y de neurotransmisores desde los nervios de la vía aérea (3).

A partir de este estímulo y la modificación celular es posible que los $\beta 2$ agonistas desencadene algunos efectos indeseados que pueden ir de leve a grave dependiendo de la dosis y al estado de hipersensibilidad a los $\beta 2$ o a sus derivados. Algunos estudios realizados describen los efectos más frecuentes que se desencadenan por el uso de este grupo de medicamentos, los cuales se mencionan más adelante (8,9,10).

Tabla 2.

Medicamentos beta2 adrenérgicos

Medicamentos	Presentación					Duración del efecto
SABA o de rescate	**IDM**	**IPS**	**Nebulizar**	**ORAL**	**Inyectable**	
Salbutamol (albuterol)	●	●	●	●	●	4-6 horas
Terbutalina		●	●	●	●	4-6 horas
Fenoterol	●		●	●		4-6 horas
Levalbuterol	●		●			6-8 horas
LABA o de control						
Salmeterol	●	●				12 horas
Formoterol		●	●			12 horas
Indacaterol		●				24 horas
Olodaterol		●				24 horas
Arformoterol			●			12 horas
Vilanterol		●				24 horas

Fuente: Adaptado de la guía GOLD, GINA 2020 y GEMA 2020.(11)

Indicaciones:

- Asma.
- Bronquitis crónica.
- Alteración de la función pulmonar.
- Exacerbación de asma y EPOC.
- Enfisema.
- Bronquiectasia.
- Broncoespasmo asociado al ejercicio.
- Inflamación.
- Efectos farmacológicos:
- Dilata el músculo liso.
- Aumenta el calibre de la vía aérea.
- Ayuda al aclaramiento mucociliar.

- Modula la liberación de mediadores inflamatorios en exacerbaciones de leve a moderada.
- Aumenta la función pulmonar.
- Aumenta el flujo de aire.
- Mejora el intercambio gaseoso.
- Disminuye el trabajo respiratorio.

Efectos secundarios:

- Nauseas.
- Taquicardia supraventricular.
- Somnolencia.
- Palpitaciones.
- Midriasis.
- Prurito.
- Tos.
- Ansiedad.
- Xerostomía.
- Mioclonías.

Tabla 3.

Acción de los agonistas β2 según la vía de administración

Vía	Inicio de acción	Efecto máximo	Duración
Inhalatoria	1 a 6 min	30 -60 min	4- 6 horas
Subcutánea	1 a 3 min	15-30 min	2 horas
Oral	30 min	30 min	3-6 horas

Fuente: adaptado de (3).

Anticolinérgicos

Los medicamentos anticolinérgicos se utilizan desde tiempos remotos, a través de sustancias naturales, con efectos sobre el sistema nervioso central y periférico, el cual regula la actividad simpaticomimética o simpaticolítica; por medio de su activación o inhibición. Estos medicamentos, a su vez inhiben los dos tipos de receptores colinérgicos, tales como

los muscarínicos y los nicotínicos, que son los únicos receptores colinérgicos que se encuentran en los pulmones y las vías aéreas. Los receptores muscarínicos M3 se encuentran en el musculo liso bronquial y las glándulas submucosas que controlan la respuesta contráctil de las células musculares lisas de la vía aérea y la secreción mucosa en respuesta a la acetilcolina.

Por tanto, los medicamentos antimuscarínicos de acción corta bloquean el efecto broncoconstrictor de la acetilcolina en los receptores M3. Por otra parte, también ejercen bloqueo en los receptores neuronales M2 que potencialmente puede ocasionar broncoconstricción inducida vagalmente, dado que la inflamación crónica de la vía aérea daña el epitelio respiratorio y estimula las fibras sensitivas C o fibras nerviosas y al mismo tiempo libera neurokininas y en efecto aumenta la producción de secreción mucosa, mientras que los de acción prolongada tiene una unión más amplia a los receptores M3 con una disgregación más rápida a los M2, prolongando así el tiempo del efecto broncodilatador (1,3,12). Además, se ha demostrado que el efecto a largo plazo del uso de anticolinérgicos de acción prolongada tiene impacto positivo en la enfermedad pulmonar, ya que aumenta la longevidad y reduce la mortalidad por esta patología (13,14).

Indicaciones:

- EPOC.
- Asma, con uso de beta 2 adrenérgico y esteroide.
- En pacientes con vía aérea artificial con abundantes secreciones.

Efecto farmacológico:

- Disminuye la producción de secreciones bronquiales.
- Disminuye la resistencia de la vía aérea.
- Relaja el músculo liso bronquial.

Efectos secundarios:

- Visión borrosa.
- Disuria.
- Aumenta la presión intraocular.
- Infección del tracto urinario.
- Urticaria.
- Angioedema.

Tabla 4.

Medicamentos anticolinérgicos

Medicamentos	Presentación					Duración del efecto
SAMA o acción corta	**IDM**	**IPS**	**Nebulizar**	**ORAL**	**Inyectable**	
Bromuro de ipratropio	●		●			6-8 horas
Bromuro de oxitropio	●					7-9 horas
	LAMA o acción prolongada					
Bromuro de aclidinio	●	●				12 horas
Bromuro de Glicopirronio		●		●	●	12-24 horas
Bromuro de Tiotropio	●	●				24 horas
Umeclidinio		●				24 horas
Revafenacin			●			24 horas

Fuente: adaptado de (1).

Metilxantina

Debe quedar claro que el uso de este grupo de medicamentos en cuanto a los efectos exactos todavía es un poco controversial, por tanto, en las últimas guías para el manejo del asma y el EPOC afirman que los derivados de las xantinas pueden actuar como inhibidores no selectivos de la fosfodiesterasa (PDE) y que también tienen un rango de acciones no broncodilatadoras (1).

Si embargo, se establece que el modo de acción de la teofilina se lleva a cabo por las oxidasas de función mixta del citocromo P450, en efecto del bloqueo no especifico de la PDE, de manera que impiden el incremento del AMPc y guanosín monofosfato cíclico (GMPc), precisamente porque la PDE hidroliza nucleótidos cíclicos. En teoría la acción regulada por estos nucleótidos influye tanto en el tono del musculo liso como en la liberación de mediadores inflamatorios y conduce desde luego a una acción sutil broncodilatadora. También es cierto que cada medicamento ejerce o se le atribuye una acción farmacológica específica actuando de manera temprana o tardía en el proceso de biotransformación celular, por lo cual, durante este proceso es posible inhibir o estimular diferentes sustancias endógenas y así no tener otros efectos farmacológicos estimulantes (15).

A pesar de lo controversial que ha sido el uso de estas metilxantinas en el manejo de las enfermedades respiratorias, ciertos estudios evidencian que la combinación de teofilina con salmeterol han mostrado una mejoría mayos en el FEV1 y el grado de disnea que si se utiliza solo el salmeterol (1).

Por otra parte, se afirma que las metilxantinas son inhibidores inespecíficos de todos los subconjuntos de enzimas PDE, lo que explicaría su uso limitado, así como por los extensos efectos tóxicos secundarios presentados. Se le atribuye manifestaciones severas tales como palpitaciones causadas por arritmias auriculares y ventriculares; que pueden resultar fatales y convulsiones que pueden ocurrir independientemente de si hay historia previa a síndromes convulsivos. Otros efectos colaterales menos graves reportados son cefaleas, insomnio, náuseas y dolor epigástrico (1).

Tabla 5.

Medicamentos

Medicamentos	Presentación					Duración del efecto
Metilxantinas	IDM	IPS	Nebulizar	ORAL	Inyectable	
Teofilina				●	●	Variable hasta 24 horas
Amiofilina				●	●	Variable hasta 24 horas

Fuente: adaptado de (1).

Corticosteroides

Los glucocorticoides (GC) son esenciales en diferentes procesos de proliferación celular, en factores de crecimientos, de reproducción y agentes que pueden aumentar los niveles de inflamación. De esta manera, por sus múltiples acciones utilizan en diferentes procesos patológicos tales como patologías inmunitarias, artritis reumatoide, lupus eritematoso, asma persistente, rinitis alérgica, EPOC (aunque con uso controversial, ya que la relevancia clínica en cuanto al efecto no está establecida completamente) (1), etc, se emplean como antiinflamatorios e inmunosupresores (16).

Cabe señalar que los cambios que inducen estos medicamentos al interactuar con receptores del organismo son modificar y disminuir el número de células inflamatorias en la vía aérea, como, por ejemplo, linfocitos T, eosinófilos o mastocitos; inhiben también la fagocitosis y liberan mediadores inflamatorios (17, 18).

Modo de acción

Los efectos primarios se encuentran a nivel genético al activarla reproducción del gen antiinflamatorio mientras reprimen los genes proinflamatorios. La hormona esteroide es captada inicialmente antes de unirse a proteínas específicas del receptor citoplásmico.

Lainteracción esteroide-receptor se transporta al núcleo de la célula; en el sitio se une a un receptor específico en la molécula de ADN. El ARN mensajero que se forma a partir del ADN se transporta al citoplasma, lo que origina una nueva síntesis de proteína a lo largo de los ribosomas y genera respuesta celular al esteroide, por tanto, disminuye el número de células que producen inflamación en la vía aérea, como, por ejemplo, los eosinófilos, linfocitos T, mastocitos y células dendríticas. Por otra parte, también inhibe el reclutamiento y la adhesión de las quimiotaxis, la fagocitosis y la producción de citoquinas, estabiliza la síntesis y liberación de histamina, lo cual promueve la vasoconstricción en áreas inflamatorias y disminuye la permeabilidad capilar, lo que, a su vez, disminuye la reabsorción del líquido en la vía aérea y esto conduce a disminuir el grosor de la pared, aumenta el volumen y disminuye la resistencia de la vía aérea y el broncoespasmo (3, 19).

En algunos casos se han observado reacciones adversas locales con la administración de GC, tales como candidiasis orofaríngea, disfonía, tos, irritación leve de la mucosa, urticaria, dermatitis e irritación facial. En casos severos y en función de la dosis disminuye la función suprarrenal y la velocidad del crecimiento (19, 20).

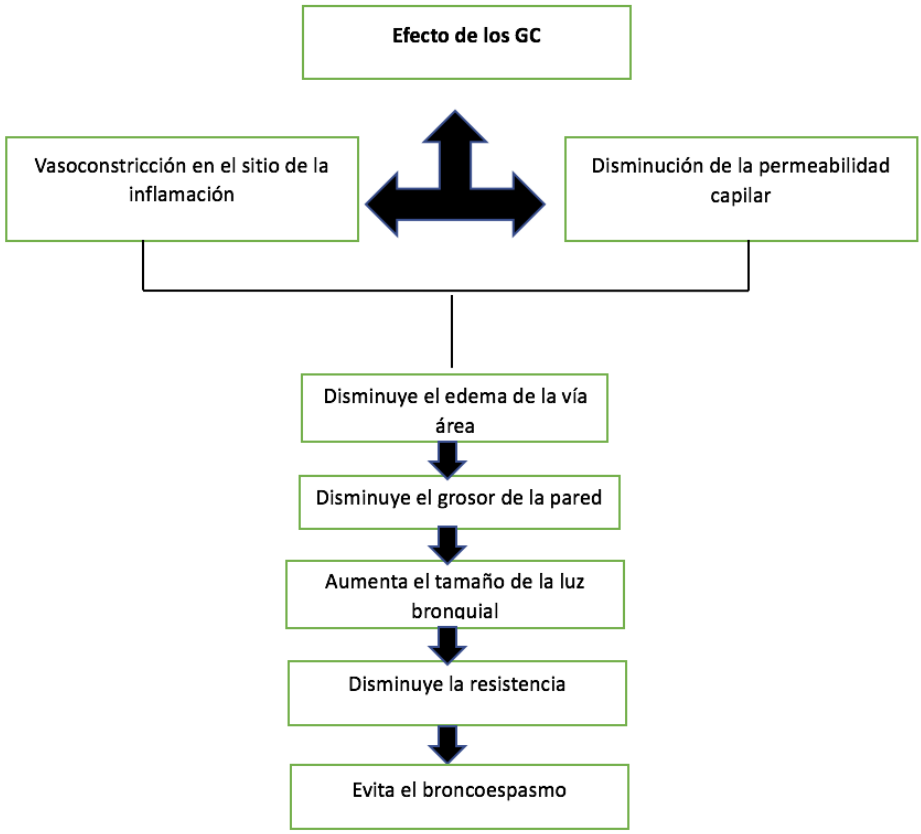


Figura 1.
Principales efectos de los GC en la vía aérea

Tabla 6.

Corticoides inhalados y sistémicos

Medicamentos	Presentación					Duración del efecto
Gc Inhalados	**IDM**	**IPS**	**Nebulizar**	**ORAL**	**Inyectable**	
Beclometasona	●					8-12 horas
Fluticasona	●		●			12 horas
Ciclesonide	●					12 horas
Budesónida		●	●			12 horas
Mometasona		●				12 horas
Budesónida + Formoterol	●	●				12 horas
Beclometasona + Formoterol	●	●				12 horas
Fluticasona + Salmeterol	●	●				12 horas
Formoterol + Mometasona	●	●				12 horas
Gc Sistémicos						
Prednisolona				●		4-6-12 horas
Prednisona				●		4-6-12 horas
Metilprednisolona						4-6-12-24 horas
Dexametasona					●	12 horas
Hidrocortisona					●	12-24 horas
Deflazacort				●		12-24 horas

Fuente: adaptado de (11)

Indicaciones:

- Broncoespasmo severo.
- Exacerbación de asma y EPOC.
- Necesidad de altas dosis de beta2.
- Asma.
- EPOC.

Reacciones adversas:

- Fatiga muscular.
- Parestesia.
- Tos.

- Disfonía.
- Candidiasis orofaríngea.
- Alteración del crecimiento.

Antileucotrienos

Los leucotrienos son mediadores potentes de la inflamación, por tanto, son liberados por los mastocitos de la vía aérea, producto del metabolismo del ácido araquidónico; a partir de alergenos específicos, los cuales aumentan la migración de eosinófilos, la permeabilidad del endotelio vascular y conducen así al edema de la vía aérea (broncoconstricción), de modo que aumenta la producción de secreciones y disminuye el transporte ciliar. Los agentes antileucotrienos bloquean efectivamente los receptores cisteinil leucotrieno (CysLT- CysLT1, CyLTs).

Diferentes estudios han demostrado que el uso de estos agentes tiene efectividad en el tratamiento para el control del asma persistente leve, la rinitis alérgica crónica, la prevención del asma y un mejor control de los síntomas respiratorios asociados al asma alérgica, mejor funcionalidad y tolerancia al ejercicio y reduce las exacerbaciones por virus en niños con asma intermitente. Otras indicaciones que puede tener, aunque la evidencia está un poco limitada es en el asma eosinofílica de inicio tardío y pacientes con intolerancia a los AINES y con producción mayor de leucotrienos (21, 22).

Asimismo, algunos estudios han reportado efectos neuropsiquiátricos en pacientes pediátricos, entre los que mencionan algunos trastornos de comportamiento y salud mental (23).

Indicaciones:

- Asma.
- Rinitis alérgica.
- Asma inducida por ejercicio.
- Broncoespasmo inducido por ejercicio.

Efecto farmacológico:

- Disminuye la hiperreactividad bronquial.
- Disminuye la inflamación de la vía aérea.
- Reduce los mediadores inflamatorios.

Reacciones adversas:

- Cefalea.
- Dolor abdominal.
- Debilidad.
- Emesis.
- Vértigo.
- Insomnio.
- Somnolencia.
- Trastornos del sueño.
- Mal humor.

Tabla 7.

Medicamentos

Medicamentos	Presentación					Duración del efecto
Antileucotrienos	IDM	IPS	Nebulizar	Oral	Inyectable	
Montelukast				●		Variable hasta 24 horas
Zafirlukast				●		Variable hasta 12 horas
Zileuton				●		Variable hasta 12 horas

Fuente: adaptado de (6,7).

El papel y administración de los medicamentos en EPOC y asma

Los medicamentos para tratar el asma y el EPOC se clasifican en controladores y aliviadores. Dada la disponibilidad de diversos medicamentos para el uso en la población adulta y pediátrica, las guía GINA (6) y GEMA (7), así como la GOLD (1) recomiendan un tratamiento escalonado, teniendo en cuenta la evaluación de los signos y los síntomas. Además, se debe clasificar el grado de severidad de la exacerbación presentada por cada individuo, de manera que el tratamiento para el manejo de estas dos patologías se esquematiza en la figura 2. En esta se expone el tratamiento controlador del asma, para prevenir exacerbación y controlar síntomas en adultos y adolescentes mayores de 12 años.

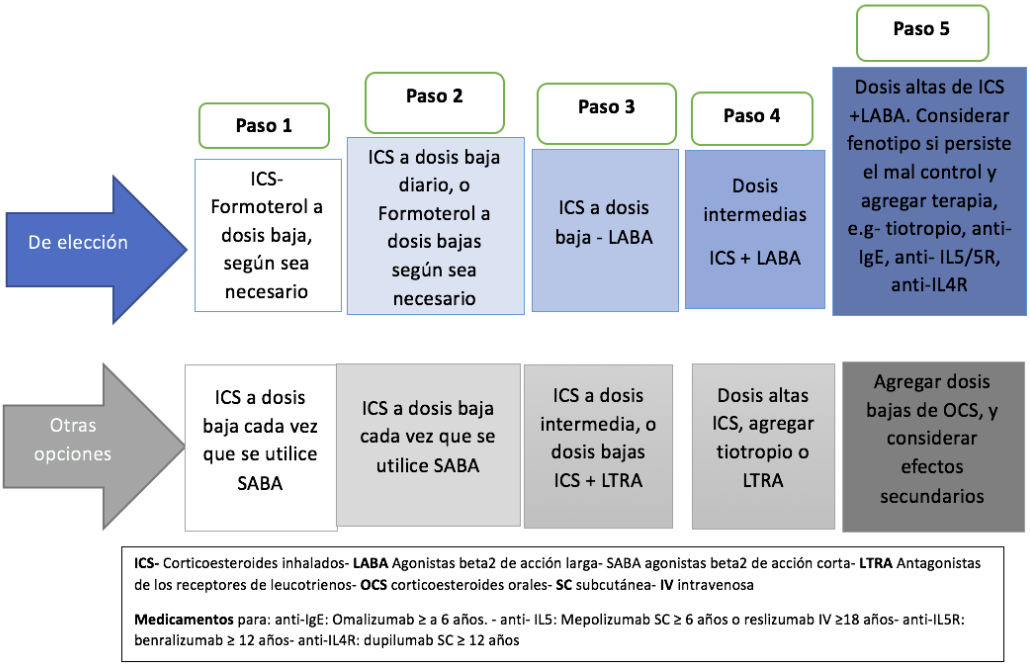


Figura 2.
Esquema de tratamiento

Medicamentos en exacerbaciones del asma

El tratamiento farmacológico debe ser individualizado, acorde a la severidad y los cambios clínicos de los signos y los síntomas. Además, se requiere establecer algunos principios necesarios para la elección de los medicamentos, así como, definir la ruta de administración y garantiza una adecuada prueba de tratamiento con cada medicamento utilizado y los factores que afectan la acción de los medicamentos. A partir de esto el consenso GINA 2020 y la Guía Española del Manejo Del Asma recomiendan evaluar la exacerbación de la crisis y clasificarla de acuerdo con los síntomas presentados (24).

De acuerdo con el nivel de crisis, se propone el tratamiento farmacológico, tal como se enlista y describe a continuación:

- *Crisis de leve a moderada.* Administrar de dos a seis puff de salbutamol de 100 mcg + espaciadora o 2-5 mg de salbutamol nebulizado, cada 20 minutos durante una hora y reevaluar la gravedad. Si los síntomas persisten, administrar de dos a tres puff por hora.

Tabla 8.

Valoración clínica de la crisis asmática

Parámetros	Leve	Moderada	Severa
Disnea	leve	Moderada	intensa
Frecuencia cardiaca	≤ 180 bpm en niños de 0 a 3 años ≤ 150 bpm en niños de 4 a 5 años	≤ 180 bpm en niños de 0 a 3 años ≤ 150 bpm en niños de 4 a 5 años	>180 bpm en niños de 0 a 3 años >150 bpm en niños de 4 a 5 años
Saturación de oxígeno	≥92%	≥92%	< 92%
Cianosis central	Ausente	Ausente	Presente
Estado de conciencia	Normal	Normal	Confusión o desorientado
Frecuencia respiratoria	>20/min	>30/min	>40/min
Habla	Párrafos	Frases	Incapacidad de hablar o beber
Sibilancias	Presente	Presente	Silencio en la auscultación
Uso de músculos accesorios	ausente	Presente	Movimiento paradójico toracoabdominal

Fuente: adaptado de (6) y (7).

- *Crisis severa*. Administrar seis *puff* de salbutamol de 100 mcg IDM + espaciadora o 2,5 mg de salbutamol nebulizado, repetir cada 20 minutos según sea la necesidad. Con respecto a los corticoides sistémicos, administrar prednisolona de 20mg/kg máx. en menores de dos años y 30 mg máx. en niños entre dos a cinco años y metilprednisolona intravenosa de 1 mg/kg cada seis horas en un día; además considerar la administración del sulfato de magnesio isotónico nebulizado de 150mg tres dosis en la primera hora de tratamiento en niños ≥ 2 años.
- *En crisis de moderada a severa*. Considerar la administración de dos *puff* de 80 mcg bromuro de ipratropio o 250 mcg nebulizado, cada 20 minutos por una hora.

La Guía Española para el Manejo del Asma propone la ruta para el tratamiento de la exacerbación que se enlista a continuación.

- *Crisis leve*. De dos a cuatro *puff* de salbutamol por IDM, cada 20 minutos
- *Crisis moderada/grave*. Salbutamol + bromuro de ipratropio 4 puff IDM cada 10 minutos o nebulizado 2,5 mg de salbutamol + 0,5 de ipratropio cada 30 minutos.

Administrar corticoides en crisis severa es considerado fundamental ya que disminuye significativamente las hospitalizaciones y reingresos hospitalarios, por tanto, los esteroides recomendados actualmente son la hidrocortisona endovenosa de 200 mg o la prednisona de 20-40 mg vía oral y en pacientes con pobre respuesta al tratamiento fluticasona

de 250 mcg IDM 2 *puff* cada 10-15 minutos, budesónida 4 *puff* de 200 mcg por IDM cada 10-15 minutos o budesónida nebulizada a 0,50 mg cada 15 minutos (25).

La iniciativa global para el manejo del EPOC (GOLD) proporciona información sobre la carga de síntomas y el riesgo de exacerbaciones. En este sentido reconoce la limitación del flujo aéreo en la toma de decisiones para el tratamiento y el manejo individualizado, de modo que recomienda el tratamiento farmacológico que se presenta en la figura 3, de acuerdo con la clasificación GOLD en la que se encuentre el paciente.

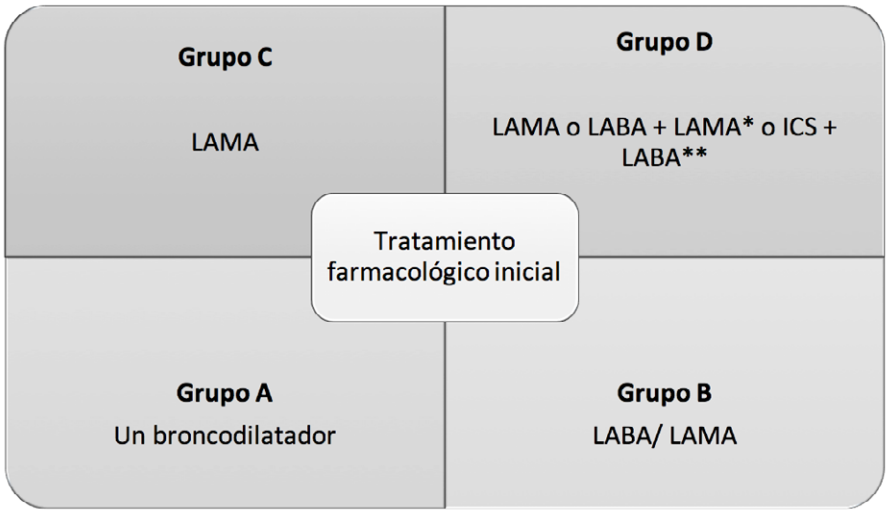


Figura 3.
Tratamiento farmacológico inicial

Otros medicamentos adicionales que se recomiendan para disminuir la frecuencia de las exacerbaciones son los mucolíticos como N acetilcisteína y carbocisteina y el Roflumilast en pacientes con bronquitis crónica y con FEV1 < 50 %

Medicamentos en exacerbaciones del EPOC

Se recomienda inicialmente administrar SABA +SAMA, corticoesteroides sistémicos con duración de cinco a siete días. El consenso GOLD 2020 determina por revisiones y ensayos clínicos que el uso prolongado de corticoides orales para la exacerbación del EPOC se asocia con un mayor riesgo de neumonía y mortalidad, por lo que se debe considerar el recuento de eosinófilos en sangre, ya que la administración de esteroides es menos eficaz en la exacerbación aguda si se tienen niveles de eosinófilos bajos en sangre. Asimismo, el uso de antibióticos como la azitromicina en criterios clínicos de infección con duración de cinco a siete días. No están indicadas las metilxantinas (teofilinas) por incrementar efectos secundarios sin demostrar beneficios.

En revisiones sistémicas de estudios controlados con placebo en pacientes con EPOC mostraron que los antibióticos reducen el riesgo de mortalidad a corto plazo en un 77 %, el fracaso del tratamiento en el 53% y la purulencia del esputo en un 44 %. Por esta razón la GOLD recomienda la antibioticoterapia en las exacerbaciones del EPOC en casos en los que se presenten síntomas de aumento de disnea, volumen y purulencia del esputo.

Clasificación de la exacerbación

De acuerdo con el nivel se clasifica el tratamiento farmacológico, tal como se enlista a continuación:

- *Leve*. Administrar SABA IDM, dos inhalaciones cada 20 minutos durante una hora y luego cada dos a cuatro horas según respuesta del paciente. En las exacerbaciones agudas del EPOC se recomienda broncodilatar con nebulización impulsadas por aire, mas no con oxígeno, con el fin de evitar el riesgo de aumentar la Paco2 asociada con el oxígeno impulsado.
- *Moderada*. Administrar SABA + antibióticos y/o corticoides orales una dosis de prednisona o prednisolona de 40 mg al día por cinco días o budesónida nebulizada.
- *Severa*. Considerar otras estrategias de manejo, tales como VMNI o VMI.

En efecto, el uso de beta2 adrenérgico por vía inhalatoria es fundamental para revertir o evitar el empeoramiento de la obstrucción bronquial, de modo que a fin de lograr una buena respuesta al tratamiento cuando se utiliza IDM es necesario comprobar que se utilice el espaciador de forma correcta y así garantizar y asegurar el depósito el medicamento en vía aérea periférica. Cabe señalar que el monitoreo del paciente requiere de evaluación clínica y medidas de la función pulmonar con el propósito de establecer objetivamente la respuesta al tratamiento; si hay hipoxemia se debe corregir con la administración de oxígeno suplementario, pero si persiste la hipoxemia y aumenta la gravedad de los síntomas a pesar del tratamiento base, se debe considerar otras alternativas de manejo. En realidad, es necesario reiterar que lo más importante en el tratamiento de una exacerbación no es el control, sino el adecuado manejo ambulatorio, ya que se va a lograr un mejor control de los síntomas, se disminuye las exacerbaciones, se evita los ingresos hospitalarios y las sobreinfecciones, así como se mejora la tolerancia al ejercicio y la calidad de vida.

Terapia combinada

Este grupo de medicamentos tiene la combinación de dos o más principios activos en dosis fijas, de modo que tienen gran utilidad y se utiliza como estrategia clave en el mantenimiento y el control de las enfermedades crónicas, ya que existe evidencia en la reducción de exacerbaciones, mejora o aumenta el FEV1, la función pulmonar, mejora la tolerancia a la actividad física y ejerce mejor control de los síntomas, de modo que, se encuentra variedad de combinación.

Tabla 9.

Medicamentos combinados

Medicamentos	Presentación					Duración del efecto
Agonistas beta2 adrenérgicos + anticolinérgicos	**IDM**	**IPS**	**Nebulizar**	**ORAL**	**Respimat SOFT MIST**	
Anoro® ELLIPTA: Vilanterol + Umeclidinio		●				24 horas
Spiolto®: Tiotropio + Olodaterol					●	24 horas
Genuair®: Formoterol + Aclidinio		●				12 horas
Ultibro® Breezhaler: Indacaterol + Glicopirronio		●				24 horas
Combivent®: Salbutamol + B. ipratropio			●		●	4 a 12 horas
Berodual® Fenoterol + bromuro de ipratropio			●			4 a 6 horas
Agonistas beta 2 + Corticoides						
Relvar® ELLIPTA: Vilanterol + Fluticasona		●				24 horas
Symbicort® Rilast® Formoterol + Budesónida		●				12 horas
Foster® Formodual® Formoterol + Beclometasona	●	●				12 horas
Seretide® Plusvent® Salmeterol + Fluticasona	●	●				12 horas
Dulera® Formoterol + Mometasona	●					12 horas
Triple combinación						
Trelegy® ELLIPTA: Fluticasona+Umeclidinio+Vilanterol		●				24 horas
Trimbow® Beclometasona+ Formoterol + Glicopirronio	●					12 horas

Fuente: adaptado de (1).

El epitelio respiratorio está protegido por diferentes defensas que incluyen barreras anatómicas, tos, macrófagos alveolares y secreciones. Por tanto, las secreciones bronquiales son un compuesto complejo que contiene agua, carbohidratos, proteínas, iones y lípidos, pero su principal componente macromolecular es la mucina la producción diaria en una persona sana puede llegar a100 ml. La primera línea de defensa es el barrido mucociliar del epitelio respiratorio el cual, mediante la producción constante de secreción mantiene la hidratación de la vía aérea, atrapa partículas, bacterias, virus y favorece sustancias antioxidantes antiproteasas y antimicrobianas. Normalmente este proceso elimina las secreciones mediante la regulación entre el volumen y la composición de estas y el volumen del líquido pericliar (26).

La estructura de las secreciones la constituye dos fases: sol y gel. La fase sol o líquido superficial de la vía aérea, es una capa acuosa, líquida en la que tiene lugar el movimiento ciliar; además contiene tensoactivo proveniente de los alveolos por el cual se asegura la capacidad de deslizamiento y el efecto antiadhesivo. La fase gel es viscosa y permanece sobre la fase sol de modo que actúa capturando las partículas inhaladas. Las secreciones se almacenan en forma de gránulos de mucina dentro de las células secretoras, así que si la capa de líquido pericliar aumenta su espesor (los extremos de los cilios) no alcanzan la capa de secreciones, no logran su expulsión y en efecto estas se adhieren a los cilios, de manera que logran bloquear su movimiento (3, 27).

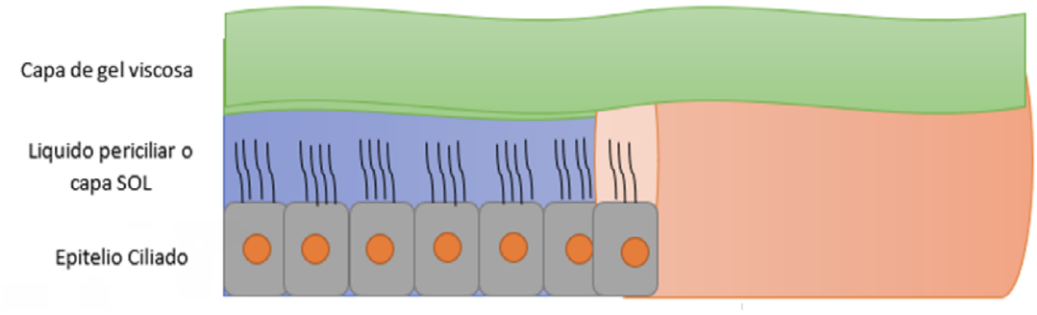


Figura 4.
Estructura de las secreciones bronquiales

Fuente: adaptado de (3).

Además, la eficacia del transporte mucociliar disminuye principalmente durante exacerbaciones de las enfermedades bronquiales o durante producción excesiva de secreciones. Esto impide su eliminación y como resultado de su viscosidad altera las defensas

contra infecciones, lo cual favorece la migración de bacterias, virus, neutrófilos, etc. Además, en efecto aumenta la resistencia de la vía aérea, genera inflamación y obstrucción bronquial.

En este contexto, los mucolíticos son medicamentos encargados de modificar las características fisicoquímicas de las secreciones bronquiales y la producción de mucinas, de manera que disminuyen la viscosidad para facilitar la eliminación.

Indicaciones:

- Bronquitis.
- Tos húmeda no productiva.
- Fibrosis quística.
- Bronquiectasias.
- Patologías hipersecretoras.
- Atelectasias por tapones mucosos.
- EPOC
- Asma.

El mecanismo de acción se da sobre la capa de gel de las secreciones, de modo que rompe las proteínas de la cadena polipéptida, los enlaces químicos, las soluciones hipertónicas, los enlaces electrofísicos, los puentes disulfuros, enlaces iónicos y las proteasas, ejerciendo acción secretolítica y mucolítica de acuerdo con la acción de los canales establecidos por cada medicamento (3, 27).

Efecto farmacológico:

- Fluidifica las secreciones.
- Produce fragmentación de las cadenas de mucinas.
- Aumenta el aclaramiento mucociliar.
- Disminuye la frecuencia e intensidad de la tos.
- Evita las infecciones.
- Disminuye el requerimiento de antibiótico.

Efectos adversos:

- Broncoespasmo.
- Nauseas.
- Emesis.
- Taponamientos bronquiales.
- Laringitis.

- Dolor torácico.
- Urticarias.
- Alteraciones de la voz.

Tabla 10.

Medicamentos

Medicamentos	Presentación					Duración del efecto
Mucolíticos	IDM	IPS	Nebulizar	Oral	Inyectable	
Dornasa alfa			●			24 horas
N-acetil-cisteína (NAC)			●	●		Variable hasta 12 horas
Bronhexina				●		Variable hasta 12 horas
Mercapto-Etanolsulfonato de sodio (MESNA)			●			8 horas
Expectorantes						
Ambroxol			●	●		8 horas
Solución salina hipertónica (SSH)			●			Hasta 12 horas
Manitol			●			12 horas

Fuente: adaptado de (3).

Referencias

1. Strategy G, Obstructive C, Disease P. GOLD (Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease) 2017. Pneumo. 2017;71(01):9-14.
2. Torres C. Farmacología en muy pocas palabras. Cali: Centro Editorial Catorse; 2012.
3. Cristancho W. Inhaloterapia [Internet]. 3.a ed. Manual Moderno; 2018. Disponible en: http://www.ebooks7-24.com.proxy.bidig.areandina.edu.co/?il=8210
4. Rosenfeld G. Farmacología (6a. ed.) [Internet]. Wolters Kluwer Health; 2020. 387 p. Disponible en: https://elibro-net.proxy.bidig.areandina.edu.co/es/ereader/areandina/125320

5. Karen W., Richard F. TAP. Farmacología [Internet]. Wolters Kluwer Health; 2020. 678 p. Disponible en: https://elibro-net.proxy.bidig.areandina.edu.co/es/ereader/areandina/125895

6. Global Initiative for Asthma. Global Initiative for Asthma: Global strategy for asthma management and prevention [Internet]. 2020. Disponible en: https://ginasthma.org/wp-content/uploads/2020/04/GINA-2020-full-report_-final-_wms.pdf

7. Asma G española para el manejo del. Gema 5.0 [Internet]. 2020. Disponible en: https://www.semg.es/images/documentos/GEMA_5.0.pdf

8. Say B, Degirmencioglu H, Gozde H, Kutman K, Uras N, Dilmen U. Taquicardia supraventricular en un recién nacido después del tratamiento con salbutamol nebulizado. A propósito de un caso. Arch Argent Pediatr. 2015;113(2):98-100.

9. Montoya-Giraldo MA, Montoya DV, Atehortúa DA, Buendía JA, Zuluaga AF. Mioclonías inducidas por salbutamol. Biomédica. 2018;38(3):303-7.

10. Morfin-Maciel BM, Castillo-Morfin BM. Angioedema y broncoconstricción paradójica secundarios a bromuro de ipratropio/salbutamol administrados por inhalador de dosis medida en pacientes alérgicos a la soya. Rev Alerg Mex. 2011;58(4):219-23.

11. Enrique J, Gutiérrez M, Andrea P, María A. Patrones de prescripción de broncodilatadores y corticoides inhalados en pacientes adultos de Colombia. Acta Méd Col. 2015; 40(3):218-226.

12. Sethi M, Ren-Fielding C, Lee S, Schwack B, Kurian M, Fielding G, et al. Improvements in psoriasis and psoriatic arthritis with surgical weight loss. Surg Obes Relat Dis. 2015;11(6):S64-5.

13. Lemos Jr HP, Atallah ÁN, Lemos ALA. Efficacy and safety of tiotropium bromide in chronic obstructive pulmonary disease: a systematic review of randomized clinical trials. Rev Soc Bras Clín Méd. 2017;15(2):137-43.

14. Berton DC, Santos ÁH dos, Bohn Jr I, Lima RQ de, Breda V, Teixeira PJZ. Effects of indacaterol versus tiotropium on exercise tolerance in patients with moderate COPD: a pilot randomized crossover study TT-Efeitos do indacaterol versus tiotrópio na tolerância ao exercício em pacientes com DPOC moderada: estudo cruzado rando. J Bras Pneumol [Internet]. 2016;42(5):367-73. Disponible en: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-37132016000500367

15. Martínez JA, Guillén MDLG. Evidencia del uso de metilxantinas en las exacerbaciones de la EPOC. Rev Inst Nac Enferm Respir. 2006;19(4):309-15.

16. Gonzalez L, Bardach A et al. Corticoides sistémicos en Covid 19 [Internet]. Buenos aires Argentina; 2020. Disponible en: https://www.iecs.org.ar/wp-content/uploads/IECS-IRR-778-Corticoides.pdf
17. Tirapegui S. F, Díaz P. O, Saldías P. F. Uso de corticoides sistémicos en pacientes adultos hospitalizados por neumonía adquirida en la comunidad. Rev Chil Enferm Respir. 2018;34(4):236-48.18. Blanco Fazanes L, Quisbert L, Franco JVA. Corticosteroides inhalados en pacientes con asma leve intermitente. 2019; 22(3):1-3.
19. Rodríguez-Gozález M, Espinosa-Rosales, F. Uso de glucocorticoides sistémicos en pediatría: generalidades. 2016;37(6):349-54.
20. Durán W. MI, Pinochet F. V, Aguayo C. M, Azócar B. C, Yáñez V. J. Hipersensibilidad a corticoides y manejo en asma severa. A propósito de un caso. Rev Chil enfermedades Respir. 2018;34(1):48-54.
21. Revista Cubana de Farmacia. Nimotuzumab. Rev Cub Far. 2012;46(3):375-378.
22. Álvarez Paneque O, Parra Cruz J, Ochoa Roca T, Pérez González A, Paneque Marrero T. Evaluación del estado clínico-funcional de niños con asma bronquial tratados con montelukast. Corr Cient Méd. 2017;21(2):412-23.
23. Garafoni F, Telechea H, Giachetto G. Efectos adversos neuropsiquiátricos de montelukast. Arch Pediatr Urug. 2019;90(2):90-4.
24. Asensi Monzó MT. Crisis de asma. Rev pediatr aten Primaria Sulp. 2017;30:42-120.
25. Rizzo O, Menga G. Evaluación del uso de corticoides inhalados en altas dosis para el tratamiento de crisis asmática. Rev Am Med Respir. 2016;16(1):4-10.
26. Pérez B. F, Méndez G. A, Lagos R. A, Vargas M. SL. Mucociliary clearance system in lung defense. Rev Med Chil. 2014;142(5):606-15.
27. Martín-Aragón, S, Benedí González, J. Farmacoterapia mucolítico-expectorante. Farm Pro. 2004;18(1):44-49.

OXIGENOTERAPIA Y AEROSOLTERAPIA

3

Ángela María Álvarez López

TR-Magíster en Salud Pública y Desarrollo Social, Facultad de Ciencias de la Salud y del Deporte, Programa Terapia Respiratoria, Fundación Universitaria del Área Andina, Seccional Pereira.

Introducción

Se ha observado que el campo del profesional en terapia respiratoria con el paso de los años se expande cada vez más, lo que lleva a que se desempeñe en actividades mucho más complejas que otras, abarque así diferentes aéreas del cuidado cardiorrespiratorio e intervenga en la realización de procedimientos en el área de la medicina, ya sea en el entorno hospitalario, ambulatorio o domiciliario.

La oxigenoterapia y la aerosolterapia son procedimientos que se encuentran incluidos dentro de su práctica; el primero consiste en la administración de oxígeno con fines terapéuticos y proporciona concentración desde el 24% al 98 % de fracción inspirada en individuos que lo requieran (1). La aerosolterapia consiste en la administración de fármacos en la vía aérea, a través de diferentes soluciones y tipos de dispositivos; entre los más comunes se tiene los inhaladores de dosis medida y los inhaladores de polvo seco (2), los cuales son procedimientos que requieren unos conocimientos teóricos que permitirán al profesional de la salud realizar un adecuado abordaje en las diferentes situaciones clínicas que se requieran.

Al ser procedimientos que se realizan de forma rutinaria a nivel hospitalario y requieren de un conocimiento amplio en tipos, funcionamiento, indicaciones, efectos y, en algunas ocasiones, dar al paciente un entrenamiento adecuado en la administración de fármacos a nivel domiciliario. Se debe tener en cuenta que una mala técnica conlleva a un mal control de síntomas, lo que aumenta la necesidad de fármacos y una mayor asistencia a los servicios de urgencias, de modo que deriva un aumento en costos hospitalarios, así como de los efectos secundarios y una disminución de la efectividad del medicamento (3).

El propósito de este capítulo es reflejar la teoría y los conocimientos sobre la administración segura de oxígeno suplementario y medicamentos inhalados, a fin de afianzar así los conocimientos básicos en los estudiantes de terapia respiratoria y en todo el personal de salud involucrado con pacientes que requieran cuidado cardiorrespiratorio.

Oxigenoterapia

Objetivos

Los objetivos de la oxigenoterapia son:

1. Conocer los dispositivos para la administración de oxígeno a nivel hospitalario y domiciliario.
2. Identificar las técnicas y los materiales para la administración de oxígeno con los distintos dispositivos.
3. Diferenciar los dispositivos para administrar oxígeno de alto y bajo flujo.

Aspectos generales

La administración de oxígeno como tratamiento para pacientes neonatales, adultos y pediátricos constituye una labor fundamental del profesional en terapia respiratoria como integrante de un equipo interdisciplinario, así como todo el personal de salud que se enfrenta al cuidado de un paciente, lo que incluye a la familia en ambientes extra hospitalarios; el oxígeno, al igual que todo medicamento, debe tener una prescripción médica fundamentada en indicaciones precisas y administrarse en forma correcta y segura, de modo que disminuya los efectos adversos que pueda generar.

Su necesidad debe estar basada en la clínica del paciente, la evolución de la enfermedad y en exámenes complementarios como, por ejemplo, la gasometría arterial. Entre sus consecuencias favorables se encuentra el aumento de la presión de oxígeno a nivel del alveolo, necesaria para mantener una presión arterial de oxígeno, lo que da como resultado la disminución del trabajo respiratorio y cardiaco en el paciente.

Desarrollo del contenido

Oxigenoterapia

Una de las principales funciones del sistema respiratorio es mantener un adecuado intercambio gaseoso, esto es, con relación al paso del oxígeno y dióxido de carbono a través de la membrana alveolocapilar. Entre los parámetros más importantes para cumplir esta función respiratoria se encuentra la presión arterial de oxígeno (PaO_2); cuando se presenta un deterioro en el intercambio gaseoso se generan en el paciente condiciones tales como signos de dificultad respiratoria y alteración en gases arteriales. Una de ellas es la hipoxemia, la cual se define como una presión arterial de oxígeno (PaO_2) menor a la normal para la edad; otra es la hipoxia, caracterizada por una presión de oxígeno dentro de la mitocondria inadecuada para mantener el metabolismo aeróbico (4).

El oxígeno es un medicamento, por lo cual debe evaluarse como tratamiento farmacológico, establecer de una forma justificada sus indicaciones y alcanzar como objetivo una

adecuada oxigenación tisular que aumente la supervivencia de los pacientes y/o mejore la calidad de vida (5). El oxígeno fue empleado con fines medicinales prácticamente desde su descubrimiento por Joseph Priestley en 1772; en la primera etapa histórica se usaba, prácticamente, para todo, con resultados diferentes. Después se estableció su efectividad a nivel intrahospitalario. En 1926, Alvan Barach fue el primero en diseñar sistemas con el fin de administrar oxígeno a bajo flujo, con lo cual demostró su eficacia en enfermedades como el *cor pulmonale* y la insuficiencia respiratoria tanto aguda como crónica, e inicio la oxigenoterapia de uso ambulatorio, con el desarrollo de los primeros dispositivos portátiles y los primeros mecanismos ahorradores de oxígeno (1).

En la década de los ochenta, se realizaron estudios que sirvieron para iniciar en conocimiento de la oxigenoterapia continua domiciliaria (OCD). Estos fueron el Nocturnal Oxygen Therapy Trial (NOTT) y el Medical Research Council Trial (MRC). Los resultados señalaron que la OCD se debe indicar a pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) que hayan dejado el hábito de fumar, cuenten con tratamiento médico, condiciones de estabilidad clínica, cifras de PaO_2 a nivel del mar por debajo de 55 mmHg o entre 55 y 60 mmHg, además de tener complicaciones por hipoxia como arritmias, *cor pulmonale*, insuficiencia cardiaca derecha, poliglobulia o alteraciones en la función intelectual (1).

La oxigenoterapia se define como la administración de oxígeno en concentraciones mayores al 21 %; (este es el porcentaje del oxígeno en el ambiente), cuyo propósito principal radica en el tratamiento de síntomas y signos de hipoxemia, y, en consecuencia, prevenir o tratar la hipoxia tisular (6). La oxigenoterapia es ampliamente utilizada en el ambiente hospitalario en condiciones agudas o crónicas. De igual forma, se puede utilizar a nivel ambulatorio y domiciliario bajo condiciones crónicas y de estabilidad en el paciente.

La administración de oxígeno corrige la hipoxemia solo durante el uso del oxígeno, sin que tenga efecto residual. Cuando se retira el aporte de oxígeno suplementario reaparece la hipoxemia, por tanto, es necesario mantener su uso mínimo 15 horas al día para conseguir los efectos deseados (1).

Los objetivos de la oxigenoterapia son corregir la hipoxia diagnosticada a través de la condición clínica del paciente o por exámenes de laboratorio, manejar o prevenir la hipoxemia, aumentar la tolerancia al ejercicio, mejorar el crecimiento somático, en hipoxemia crónica controlar la hipertensión arterial, reducir el trabajo respiratorio y cardiaco (7). Está indicada cuando existe hipoxemia aguda o crónica caracterizada por una PaO2 inferior a 55 - 60 mmhg en gases arteriales, valor que corresponde a una saturación de hemoglobina del 90 %; por debajo de este valor la afinidad de la hemoglobina por el oxígeno disminuye, de manera que el contenido total del oxígeno y el aporte a los tejidos se ve afectado (4).

Indicaciones de oxigenoterapia

Las indicaciones son:

- Hipoxemia: se considera como niveles de PaO_2 en sangre por debajo de 60 mmHg o saturación arterial de oxígeno menor de 90 % cuando se respira aire ambiente.
- Valores de presión arterial de oxígeno o saturación arterial de oxígeno por debajo de lo esperado para situaciones clínicas determinadas.
- Eventos agudos que desencadenen hipoxemia.
- Condiciones clínicas en las cuales la administración de oxígeno sea beneficiosa (6).

Contraindicaciones y posibles complicaciones

Actualmente no se conocen contraindicaciones específicas; se encuentran descritas precauciones ante las posibles complicaciones:

- En pacientes con presión arterial de oxígeno (PaO_2) mayor a 60 mmHg puede producirse depresión ventilatoria, principalmente, en pacientes que cursen con una presión arterial de dióxido de carbono ($PaCO_2$) aumentada, tal como sucede en individuos con diagnóstico de enfermedad pulmonar obstructiva crónica.
- Al administrar concentraciones de oxígeno mayores al 50 % pueden producirse atelectasias por desnitrogenación de los alveolos, toxicidad por oxígeno, disminución de la función ciliar o de la función leucocitaria.
- Riesgo de contaminación bacteriana descrito por la condensación de soluciones nebulizadas o humidificadas relacionadas con algunos sistemas de administración (6).

Se debe considerar que la administración de oxígeno no ofrece beneficios para el manejo de la hipoxia por anemia y no sustituye al uso de la ventilación mecánica invasiva y no invasiva o la administración de oxígeno a flujo alto cuando está indicada.

Fuentes de oxígeno

Después de revisar las indicaciones de la oxigenoterapia, se debe conocer a través de qué fuentes y equipos se puede administrar; la elección dependerá del flujo que requiera el paciente, del ambiente en el que se encuentre, el grado de cumplimiento del proveedor para la entrega a nivel domiciliario y de la actividad física que realice el paciente.

Existen tres formas de almacenaje y administración de oxígeno, utilizadas, principalmente, a nivel domiciliario; estos son cilindros, concentradores y equipos de oxígeno líquido (1).

Cilindro de oxígeno

La presentación del oxígeno gaseoso es en cilindros de diferentes tamaños. Por lo general, son de color blanco y están diseñados para contener gases a alta presión. En nuestro país se considera la forma de administración más antigua. Dado que la presión del gas a la salida del cilindro es muy alta, por seguridad es necesario instaurar un regulador, el cual disminuye esta presión. Asimismo, un manómetro que permita verificar cuál es la presión a la salida, a fin de identificar si el cilindro se encuentra lleno y abierto, la aguja del manómetro debe marcar entre 150 a 200 bases.

Tabla 1.

Ventajas y desventajas de los cilindros de oxígeno

Ventajas	Desventajas
No requieren de energía eléctrica	Su tiempo de duración depende el tiempo de uso, por lo cual puede requerir un cambio frecuente.
Favorece la movilidad del paciente fuera del domicilio cuando se utilizan cilindros portátiles.	Los cilindros de uso domiciliario ocupan mucho espacio para su almacenamiento.
	Riesgo de accidentes por la alta presión con la que sale el gas.
	Para evitar riesgo por caídas deben sujetarse a la pared y colocarlos lejos del fuego, dada la posibilidad de explosión.

Fuente: adaptado de (4).

Concentrador de oxígeno

El uso representa una buena estrategia en costo y facilidad en comparación con los cilindros de oxígeno y los sistemas de gases, los cuales pueden llegar a ser poco disponibles e inapropiados. Estos dispositivos se caracterizan porque extraen aire del medio ambiente, este pasa por tamices moleculares para concentrar el oxígeno logrando así niveles altos de oxígeno para ser administrado al paciente (8).

Tiene como ventaja la facilidad de uso y el bajo costo en comparación con los cilindros de oxígeno y los sistemas de suministro de gas por tuberías, que es la fuente de oxígeno utilizada en el entorno hospitalario. Los inconvenientes descritos son la necesidad de un mantenimiento periódico y el acceso requerido a la electricidad para su funcionamiento, lo que genera sobrecostos en el ambiente domiciliario; algunos de estos se pueden evitar con una planificación programada y capacitación (8).

Figura 1.
Concentrador de oxígeno

Fuente: elaboración propia.

La mayoría de concentradores de oxígeno pesan menos de 27 kg, poseen ruedas, y permiten que el usuario pueda moverlos con facilidad dentro de su casa; esto genera una corriente continua de oxígeno de 3, 5 o hasta 10 l/min, dependiendo de la necesidad de oxígeno del paciente o su edad, por medio de un flujómetro adaptado se puede generar flujos muy bajos, incluso de 0,1 l/min, especialmente para pacientes neonatales (8).

Oxígeno líquido

Lo compone un depósito fijo, portátil, que se instala en la vivienda del paciente, en el cual se almacena en forma de oxígeno. Entre sus ventajas se encuentra que no requiere recambios frecuentes y es, sobre todo, útil para los pacientes que usan altos flujos de oxígeno; su desventaja radica en que la fuente fija debe ser llenada por un distribuidor y tiene un costo elevado (4).

Tabla 2.

Comparación del suministro de oxígeno a través de tuberías, cilindros y concentradores

Sistema	Oxígeno central o por tuberías	Cilindros de oxígeno	Concentradores de oxígeno
Fuente de energía	No requiere	No requiere	De acuerdo al modelo
Riesgo de agotarse	Sí	Sí, depende del tamaño del cilindro y del tiempo de uso por parte del paciente.	No, mientras se encuentre conectado a la electricidad.
Gastos d	Depende de aspectos como: mantenimiento y llenado.	Elevados	Reducidos, depende de la electricidad y mantenimiento
Cuidado por el usuario	Mínimo	Requiere verificación por parte del usuario sobre situaciones que puedan generar peligro (caídas, incendios)	Requiere limpieza de filtros y el exterior del aparato.
Mantenimiento	Es necesario comprobar los niveles de presión.	Requiere comprobar niveles de presión con un manómetro.	Requiere comprobar niveles de salida de oxígeno con un analizador

Fuente: adaptado de (9).

Sistemas de suministro de oxígeno

Independiente de la fuente de administración del oxígeno sea cilindro, oxígeno líquido o concentrador, este se puede administrar mediante dos sistemas, clasificados como sistemas de bajo flujo y sistemas de alto flujo.

Sistemas de bajo flujo

Estos sistemas se caracterizan por no suplir la cantidad necesaria de gases para cubrir la totalidad de la mezcla inspirada. El equipo proporciona una parte del volumen inhalado y la otra faltante la toma el paciente del aire ambiente, de modo que puede administrarse en concentraciones de oxígeno del 24 % al 90 % o más, de lo anterior se deduce que la diferencia entre los métodos de administración no radica en la concentración de oxígeno que proporciona el sistema (10).

Este tipo de sistema es utilizado en entornos hospitalarios y domiciliarios. El oxígeno proviene de un flujómetro conectado a la fuente de gas y la fracción de oxígeno proporcionada por estos dispositivos va a depender de tres factores:

- *Flujo de oxígeno*: La fracción inspirada de oxígeno es directamente proporcional al flujo, cuando aumenta el flujo disminuye la fracción de oxígeno generada y viceversa; tal como se observa en la tabla 1 (10).
- *Tamaño del reservorio anatómico o mecánico*: El almacenamiento en la vía aérea de oxígeno corresponde a la tercera parte del espacio muerto anatómico, ocupado por concentraciones de oxígeno al 100 %, ya que la administración es continua durante la respiración. El volumen de gas durante la inspiración se encuentra conformado por el que es transportado hacia los alveolos contenidos en el almacenamiento anatómico más el volumen inspirado tomado del medio ambiente. La fracción inspirada de oxígeno se modifica de acuerdo con el volumen del reservorio: si el depósito es grande la fracción de oxígeno se incrementa y si el depósito es pequeño la fracción de oxígeno es menor (10).
- *Patrón respiratorio del paciente*: La fracción inspirada de oxígeno se modifica de acuerdo con la mezcla de dos volúmenes que difieren en concentraciones de oxígeno. El primero proporcionado por un equipo con una fracción de oxígeno del 100 %, al que se le adiciona un volumen correspondiente al gas atmosférico con una concentración de oxígeno del 21 % completando la totalidad del volumen corriente (VT) inspirado; el producto de este último por la frecuencia respiratoria es igual al segundo denominado volumen minuto, el cual es directamente proporcional a la fracción inspirada de oxígeno, por tanto, si el volumen minuto está aumentado la fracción de oxígeno se encontrará disminuida y viceversa (10).

Tabla 3.

Valores de fracción inspiratoria de oxígeno en dispositivos de bajo flujo

Catéter nasofaríngeo y cánula nasal	
Flujo Lpm	FIO2
1	0,24
2	0,28
3	0,32
4	0,36
5	0,40
Máscara simple de oxígeno	
5 – 6	0,40
6 – 7	0,50
7 – 8	0,60
Máscara con bolsa de reservorio	
6	0,60
7	0,70
8	0,80
9	>0,80
10	>0,80

Nota: Los datos anteriores corresponden a variables pulmonares tales como: volumen de corriente de 500 ml, frecuencia respiratoria de 20 resp minuto y depósito anatómico fijo de 50 ml. Fuente: (10).

Los dispositivos de bajo flujo más usados en la práctica clínica o en ambiente extrahospitalario son los que se enlistan a continuación:

- *Cánula nasal.* Dispositivo tolerado por pacientes neonatales, pediátricos y adultos, se caracteriza por aportar oxígeno a la naso y orofaringe, la cual tiene una capacidad promedio de 50 ml que corresponde a 1/3 del espacio muerto anatómico. En este dispositivo, si el paciente adulto conserva un patrón ventilatorio normal, la cantidad de oxígeno suministrada se modifica con el flujo: por cada aumento de flujo de 1 l/min la FIO_2 aumenta en un 4 % (3). En el paciente pediátrico y neonatal es muy importante elegir la cánula nasal de tamaño adecuado, realizar una adecuada fijación, humidificar, calentar el oxígeno dependiendo de la edad del neonato y mediar la fracción inspirada, ya que en estas poblaciones se desconoce la cantidad real de la concentración (11). Su ventaja radica en la tolerancia de uso, entre sus desventajas se encuentra que el oxígeno no se puede administrar frío, ya que se resecan las vías aéreas superiores y se lesiona la mucosa nasal, además de que no permite administrar altas concentraciones de oxígeno (6).

Figura 2.
Cánula nasal pediátrica

Fuente: elaboración propia.

- *Máscara facial.* Proporciona un reservorio de oxígeno mayor; En cada lado hay un orificio, por el cual entra aire ambiente y se elimina el espirado. La máscara facial aumenta el reservorio anatómico entre 100 y 200 ml, así como la FIO_2 hasta en un 60 % si tiene el paciente un patrón ventilatorio normal (3). La programación del flujo de oxígeno hacia la máscara no debe ser menor a 5 l/min, lo que puede generar que el aire espirado sea nuevamente inhalado. Además, el aumento del flujo a más de 8 l/min no

aumenta la concentración de oxígeno entregada debido a que el reservorio se llena por completo al final de la espiración y el inicio de la siguiente inspiración (6).

- *Máscara con reservorio*. Otro dispositivo para administrar oxígeno consiste en una mascarilla con una bolsa ajustada a un reservorio externo, que proporciona altas concentraciones de oxígeno. A fin de lograr esto se requiere programar flujos altos de entre 8 y 12 l/min, de modo que se proporcionan concentraciones de oxígeno de entre 70 y el 80 % cuando el reservorio externo se encuentra en buenas condiciones (12). Posee tres válvulas que impiden que se inhale el aire exhalado. Una se encuentra ubicada entre el reservorio y la máscara, la cual permite que el paciente inhale el oxígeno que tiene en el reservorio, pero evita que el oxígeno expirado se mezcle con el del depósito; las otras dos válvulas se encuentran a cada lado de la máscara y permiten la salida del gas exhalado por el paciente al aire ambiente (13).

Figura 3.
Máscara con reservorio

Fuente: elaboración propia.

- *Cámara cefálica (oxihood)*. Sistema utilizado en pacientes neonatales y pediátricos en ambientes intrahospitalarios; funciona adaptando una fuente de oxígeno que llegue directamente a la cámara a través de una manguera instalada a un nebulizador de depósito ajustado a un flujómetro; funciona con flujos superiores a 5 litros por minuto. Otra forma de utilizarse consiste en colocar un adaptador de ventury en la línea del oxígeno adaptada a un flujómetro; de esta forma pasa a ser un sistema de alto flujo que proporciona no solo una FIO_2 permanente y conocida, sino también un flujo adecuado; previene la re-inhalación de gases (10). Para un óptimo funcionamiento se requiere que la cámara este muy bien puesta sobre la base del colchón, que sea colocada de acuerdo con el tamaño de la cabeza del niño, de modo que se dejen permeable los orificios superiores a través de los cuales se elimina el gas carbónico que el paciente exhala con su respiración normal (4).

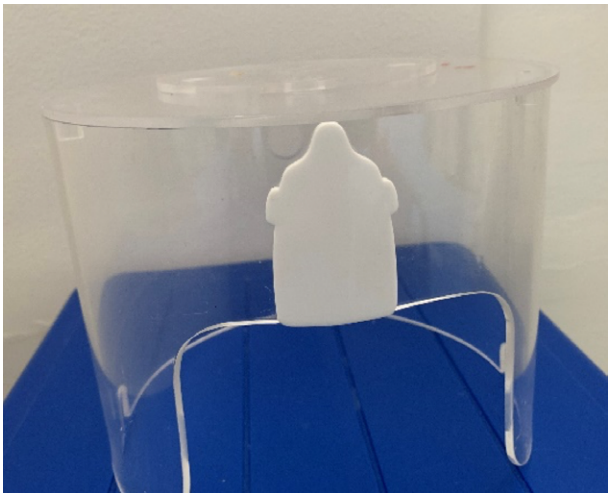


Figura 4.
Cámara cefálica

Fuente: elaboración propia.

Sistemas de alto flujo

Son dispositivos que proporcionan la totalidad de la atmósfera inspirada por el paciente, es decir, el paciente respira solo el oxígeno suministrado por el equipo. Este tipo de sistema utiliza un dispositivo denominado Venturi que, actúa como un sistema de succión, aceleración y mezcla de gases (10). Se basa en el principio de Bernoulli, el cual indica que la presión lateral de un gas disminuye a medida que aumenta su velocidad de flujo. De esta forma, cuando el oxígeno fluye por un conducto que disminuye su diámetro genera un gran aumento en su velocidad, lo que produce una presión subatmosférica a la salida del orifico, la cual atrae aire ambiente (4).

Permite suministrar concentraciones de oxígeno de entre el 24 % y el 50 %, de manera que mantiene una FiO_2 confiable. Los nebulizadores de depósito proporcionan concentraciones de entre el 24 % y el 98 %; flujos bajos no permiten que funcionen correctamente y flujos altos generan turbulencias. Se utilizan, principalmente, a nivel hospitalario.

Este dispositivo es seguro, si se coloca la corriente de oxígeno sugerida a un flujo indicado. Las modificaciones de la FIO_2 en algunos de estos se realizan mediante el cambio del adaptador, identificados por colores para cada fracción de oxígeno; en otros tipos de Venturi como, por ejemplo, el de constricción fija, la FIO_2 se modifica de acuerdo con la ventana de succión mecánica.

Entre las ventajas descritas por algunos autores se encuentra que cubren las necesidades de flujo inspiratorio del paciente, proveen el total de la atmósfera inspirada, aseguran una fracción de oxígeno, pueden brindar una correcta humidificación y la fracción de oxígeno no depende del patrón respiratorio del paciente. Se consideran desventajas del equipo el costo más elevado comparado con los sistemas de bajo flujo y las molestias que puede generar en el paciente (10).

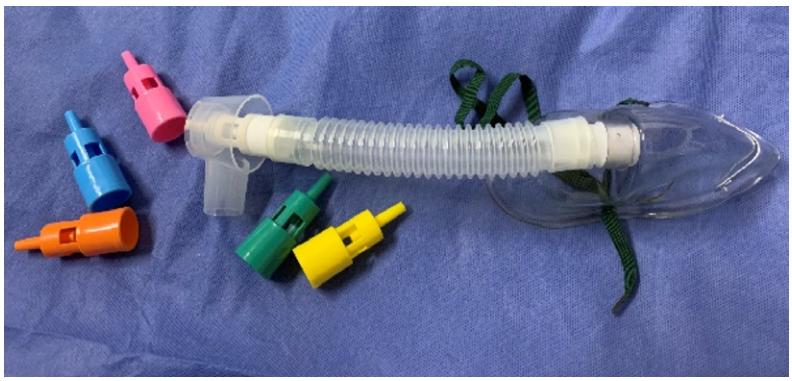


Figura 5.
Equipo Venturi

Fuente: elaboración propia.

Monitorización de la oxigenoterapia

Al realizar la evaluación clínica del paciente, se debe evaluar parámetros fisiológicos tales, como la saturación arterial de oxígeno y/o presión arterial de oxígeno, los cuales se recomiendan realizar:

- En las primeras 12 horas de iniciarse la oxigenoterapia con una FIO_2 menor del 40 %.
- En las primeras ocho horas, con FIO_2 mayor del 40 %.
- En los pacientes con enfermedad obstructiva en las primeras dos horas.
- En pacientes con FIO_2 mayor del 50 % o inestables, se recomienda tomar la saturación arterial de oxígeno cada hora (6).

Todo paciente con oxígeno suplementario debe monitorizarse con pulsioxímetro y/o gases arteriales, de acuerdo con su estado clínico. La evidencia demuestra cómo a pesar de que el oxígeno protege a las células de afectarse, la producción de metabolitos tóxicos que este produce genera daño celular en pacientes que se encuentran en estado crítico; por tanto, su uso debe estar fundamentado y tener presentes indicaciones, complicaciones y riesgos (6).

En todo paciente con oxígeno suplementario debe evaluarse la presión y/o saturación arterial de oxígeno, además de comprobar el funcionamiento del equipo como mínimo una vez al día, o en menos tiempo cuando se realizan cambios en la fracción inspirada de oxígeno, lo que incluye aquellos individuos con vías aéreas artificiales o que se encuentren inestables, de modo que requieran concentraciones de oxígeno superiores al 50 % (7).

Oxigenoterapia en niños

En los recién nacidos el uso del oxígeno se realiza desde hace más de ochenta años. Actualmente, se desconoce la dosis ideal en los niños y la requerida para cada momento de la evolución de su estado clínico, debido a que este no solo es un gas, sino también un fármaco, con indicaciones, dosis, efectos adversos y necesidades de monitoreo (11).

Cuando no se tienen conocimientos sobre valores adecuados de saturación arterial de oxígeno para cada edad, teniendo en cuenta su indicación, genera efectos adversos según el equipo utilizado. Se han encontrado estudios en los que se indica la importancia de realizar educación al personal de salud, lo que incluye la interpretación adecuada del flujómetro, la actualización de conceptos en oxigenoterapia, los efectos adversos, y las metas de saturación de acuerdo con la situación clínica o patología del paciente; esto garantiza unificar criterios y conocimientos en los servicios de pediatría (14).

La indicación de oxigenoterapia en niños está basada en signos de hipoxemia como saturación arterial de oxígeno menor de 90 %, cianosis central, signos de dificultad respiratoria como aleteo nasal y quejido, dificultad en la alimentación por infecciones respiratoria y estado mental alterado; también en situaciones clínicas en las que se pueden presentar signos clínicos menos específicos como tirajes intercostales, aumento de la frecuencia respiratoria en relación con el valor normal para la edad y movimiento de cabeceo simultáneo con la respiración (7).

El uso del oxígeno suplementario es de amplia importancia en las unidades de cuidado intensivo neonatales (UCIN), ya que requiere de vigilancia constante para disminuir los riesgos del uso tales como la toxicidad pulmonar por el uso prolongado o las consecuencias de la hipoxemia. Las complicaciones principales del uso prolongado de oxígeno en recién nacidos son la lesión pulmonar y la retinopatía del prematuro. La variable aceptada para evaluar la oxigenación en el recién nacido es la saturación arterial de oxígeno a través de un oxímetro de pulso; se considera que mantener un valor por encima del 95 % usando oxígeno medicinal indica exceso en su uso, lo que ocasiona hiperoxia (11).

Como se mencionó, las dos enfermedades producidas por el uso del oxígeno en los recién nacidos prematuros son la retinopatía de la prematurez (ROP) y la displasia broncopulmonar (DBP) o lesión pulmonar. La ROP es una causa de alteración en la visión y la ceguera en niños; su patogenia aún no está clara debido a su complejidad. De igual forma sucede con la DBP, la cual es una causa importante de enfermedad en los prematuros y se desarrolla en la mitad de los recién nacidos extremadamente pequeños (<28 semanas) que salen de las unidades de cuidado intensivo neonatal (11).

Sin embargo, el uso de la oxigenoterapia en la displasia broncopulmonar disminuye el riesgo de hipertensión pulmonar, desaturaciones y resistencias aumentadas en la vía aérea; además, se beneficia el desarrollo neurológico en el recién nacido (1).

Algunos autores, como, por ejemplo, Jay P. Goldsmith, sugieren que los neonatos prematuros manejen saturaciones arteriales de oxígeno entre el 90 y el 95 % en sala de partos entre los primeros 5 y 15 min al nacer, con miras a la edad gestacional, el tipo de parto, el sexo y los resultados de maniobras de estabilización; al pasar al recién nacido a la unidad de cuidado intensivo neonatal y hasta que cumpla las 36 semanas de edad el valor de saturación debe ser entre 95 y 97 % (15).

La toxicidad pulmonar es otro efecto secundario de la administración de oxígeno a altas concentraciones; produce daño pulmonar directo ocasionando atelectasias por absorción, al disminuir la concentración de nitrógeno a nivel alveolar y producir daño pulmonar por la liberación de radicales libres. Entre otros efectos adversos se describe congestión e irritación de la mucosa nasal, alteraciones psicológicas y sociales; todos estos efectos se encuentran asociados con la fracción de oxígeno instaurada al paciente y su tiempo de exposición (1).

Aerosolterapia

Aspectos generales

La administración de fármacos inhalados es un procedimiento ampliamente realizado por el profesional en terapia respiratoria. Debe efectuarse bajo prescripción médica, en la cual el terapeuta debe reafirmar los conocimientos y las aptitudes requeridas para la aplicación del medicamento al paciente. De igual forma, debe saber evaluar los mecanismos de acción y las variables individuales que afectan la entrega del medicamento y las diferentes formas de administración.

Objetivos

Los objetivos son:

1. Identificar los dispositivos de administración de aerosoles en la población en general.
2. Describir los diferentes dispositivos para la administración de la terapia de aerosol.
3. Conocer la técnica y los materiales necesarios para la administración de aerosoles a pacientes en el ambiente hospitalario y ambulatorio.

Desarrollo del contenido

La aerosolterapia es un procedimiento que, por medio de la inhalación de aerosoles, logra generar una concentración de sustancias con efecto terapéutico a nivel bronquial. Este procedimiento se utiliza con fines terapéuticos por la característica que tienen las partículas de ingresar al árbol respiratorio, especialmente las de pequeño tamaño (16).

El depósito pulmonar de los medicamentos nebulizados es poco, puesto que se encuentra descrito que solo del 10 al 20 % del medicamento se deposita a nivel pulmonar, independiente del equipo de nebulizar que se utilice (17).

Entre las ventajas de utilizar la vía inhalada para administrar medicamentos algunos autores describen que beneficia la actuación de la sustancia inhalada de manera directa a nivel bronquial, se obtiene efectos de tratamiento a bajas concentraciones y disminuye el riesgo de aparición de efectos adversos. Como inconvenientes se encuentran un mayor tiempo en la administración del medicamento, al accionar el dispositivo se genera una nube de medicamento que se dispersa en el medio ambiente y la eficacia del equipo depende de muchos factores, los cuales se describen más adelante. Está descrito que una mala técnica en la administración puede ocasionar una descompensación de la patología y empeorar la condición del paciente.

Características físicas de un aerosol

Las características se enlistan y describen a continuación:

- *Tamaño de la partícula:* los equipos con los que se puede administrar aerosoles son inhaladores y nebulizadores que producen partículas de distintos tamaños. Estas se encuentran clasificada de acuerdo con el diámetro de su masa media aerodinámica (DMMA). Así, para un depósito óptimo a nivel alveolar y en vías aéreas de pequeño calibre deben de ser de 0,5-5 micras; una vez son inhaladas las partículas, estas se depositan en los bronquios distales debido a la gravedad. Las partículas de 5 a10 μm, son consideradas grandes, se depositan por inercia en las vías respiratorias de grueso calibre es mayor el depósito si el flujo es alto. Las partículas superiores a 10 μm se adhieren en la orofaringe y el 90 % de estas partículas se absorben por vía sistémica. Las partículas inferiores a 0,5 μm de diámetro, no se depositan, se expulsan con cada espiración o traspasan la membrana alveolo-capilar (19).
- *Composición física de las partículas*: la composición física de las partículas está determinada por los elementos que se enlistan y describen a continuación:
  - Higroscopicidad: es la capacidad que tiene un material de captar humedad del medio ambiente. Está determinada por la transparencia del material y la forma de las partículas. Los medicamentos con esta característica presentan un mayor riesgo de cambios químicos y físicos. La humedad del medio ambiente es absorbida antes o después de entregarse el medicamento hacia la vía aérea, donde este se adapta a un ambiente húmedo y tibio; debe tenerse en cuenta que la temperatura de la carina es de 37 °C y posee una humedad relativa del 99 %. Las partículas que presentan condiciones específicas experimentan un crecimiento en la capacidad de captar humedad, de modo que aumentan su masa y sus dimensiones; estas partículas, al ser inhaladas, se depositan en las vías aéreas más proximales del árbol bronquial, de modo que se comparan con partículas de aerosol no higroscópico (20).

- Tonicidad: con respecto a este elemento se encuentra descrito que las soluciones con mayor osmolaridad, como, por ejemplo, la solución salina hipertónica, al nebulizarse se hacen higroscópicas y agrandan su tamaño. Contrario a lo que sucede con las soluciones con poca osmolaridad, las cuales liberan agua al ser nebulizadas, las soluciones isotónicas son neutrales en su afinidad por el agua (21).

- Carga eléctrica: las partículas generadas por un aerosol tienen una carga eléctrica que influye en el depósito a nivel bronquial, al interactuar con las paredes de los dispositivos; algunos autores describen que este fenómeno no tiene efecto en la fisiología pulmonar del paciente (20).

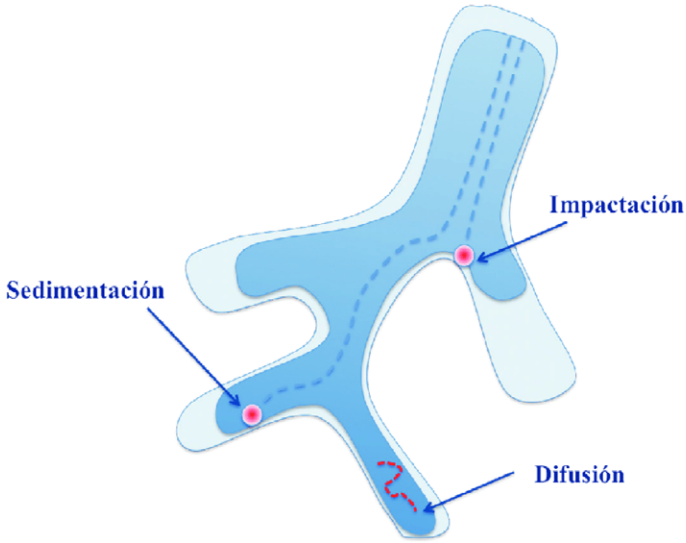


Figura 6.
Mecanismos de depósito de un aerosol

Fuente: (22).

- *Elementos que influyen en el depósito de las partículas*: Estos elementos se enlistan y describen a continuación:

  - Impactación inercial: el depósito de las partículas en la vía aérea se realiza en las diez primeras generaciones del árbol bronquial. Las partículas de mayor diámetro en el flujo del aire continúan de forma recta hasta chocar con una bifurcación bronquial cuando el flujo aéreo cambia de dirección. Existe mayor depósito por impactación cuando el flujo de aire incrementa su velocidad o este sea turbulento en casos de existir broncoespasmo por inflamación de la pared del bronquio (16).

- Sedimentación gravitacional: este es el proceso de depósito de las partículas que tienen un diámetro menor a 2 micras, lo que favorece su impactación a nivel pulmonar; se ve beneficiado cuando el paciente durante la inhalación de la solución realiza una pausa durante su respiración (20).

- Difusión: este proceso se genera en la vía aérea respiratoria más distales con partículas de menos de 1 micra de diámetro en las que poco influye la gravedad; la mayoría de estas partículas son exhaladas durante la espiración (21).

Dispositivos generadores de aerosol

Se conocen tres tipos de dispositivos que generan aerosol para entregar medicamentos inspirados o inhalados: nebulizadores de pequeño volumen, inhaladores de dosis medida (IDM) e inhaladores de polvo seco (IPS).

Nebulizadores de pequeño volumen

Son aparatos que modifican una sustancia líquida en aerosol; para su uso se debe adaptar una máscara o boquilla de acuerdo con la edad y la cooperación del paciente. En la actualidad es ampliamente utilizada, sin embargo, algunos autores describen que su uso es cada vez es menor, ya que el depósito del medicamento a través de este tipo de nebulizador es menor a nivel pulmonar y mayor en vías aéreas superiores tales como laringe y faringe, por lo cual se le debe indicar al paciente que realice inspiraciones lentas y profundas (19); se puede utilizar con oxígeno o aire comprimido, esto dependerá del estado clínico del paciente. La recomendación de uso es en individuos con aumento de la dificultad para respirar o descompensación de su cuadro clínico, ya que evita la dificultad que ocasionan otras técnicas. Sin embargo, el uso de otros dispositivos, como, por ejemplo, los inhaladores de dosis medida, con una buena técnica de administración, son eficaces en pacientes con patologías obstructivas crónicas descompensadas (17).

Según el mecanismo generador de aerosol, se pueden dividir en tres tipos: nebulizador ultrasónico, nebulizador de malla vibrante y nebulizador tipo jet.

Nebulizador ultrasónico

Se caracteriza por generar aerosol a través de vibraciones de alta frecuencia. Está formado por una unidad que produce ultrasonidos, compuesta por un cristal piezoeléctrico conectado a una corriente eléctrica alterna que, crea ondas de presión de alta frecuencia en el líquido que será nebulizado. Al nivel de la superficie del dispositivo se produce el aerosol, el cual es transportado por un flujo que llega al paciente. Su desventaja radica en la generación de una nube espesa que puede ocasionar en el paciente inflamación bronquial (4).

Figura 7.
Nebulizador ultrasónico

Fuente elaboración: (23).

Figura 8.
Nebulizador de malla vibrante

Fuente: elaboración propia.

Figura 9.
Nebulizador tipo jet

Fuente: elaboración propia.

Nebulizador de malla vibrante

El aerosol que va a ser inhalado se produce al filtrarse la solución a través de los orificios de una malla que se encuentra en el equipo. Este no necesita una fuente de energía y

tiene ventajas sobre el jet (porque es de menor tamaño), no hace ruido y el tiempo de nebulizado es menor. Su eficacia radica en proporcionar un mayor depósito del medicamento a nivel pulmonar y menor pérdida del medicamento al ambiente. Asimismo, permite una mejor adaptabilidad del paciente con el equipo, ya que son más rápidos y pueden funcionar con pilas. Este tipo de nebulizador, más los nebulizadores tipo jet, permite nebulizar soluciones más densas, además de antibióticos (19).

Nebulizador tipo jet

Este tipo de micronebulizadores producen aerosoles al pasar un flujo de aire a alta velocidad a través de un tubo que posee orificios laterales sumergidos en una solución; el flujo de aire impulsa la solución por el efecto Venturi a través del tubo y, al llegar a su parte superior, se divide en pequeñas partículas, las cuales se expenden en forma de aerosol (4).

Se encuentra descrita como principal ventaja la capacidad de producir aerosol con diferentes tipos de medicamentos que no se encuentran en presentación de dosis medida, como, por ejemplo, la tobramicina, la alfa-dornasa y la adrenalina, entre otros. Entre sus desventajas se encuentran el tiempo requerido para administrar el aerosol (que es de seis a ocho minutos), los equipos e insumos necesarios para la preparación del medicamento y la fuente de energía a utilizar. Entre las ventajas y desventajas (descritas en la tabla 4), se encuentra que el funcionamiento de este equipo varía de acuerdo con la marca, factores relacionados con el riesgo de contaminación de la solución y el costo de insumos más el medicamento; estos gastos se comparan con los inhaladores de dosis medida (20).

Tabla 4.

Ventajas y desventajas de los nebulizadores tipo jet

Ventajas	Desventajas
Permite nebulizar varias soluciones	El tiempo de tratamiento de acuerdo con el equipo y/o medicamento puede oscilar entre 5 a 25 min.
Permite mezclar diferentes medicamentos según compatibilidad para ser nebulizados.	El equipo utilizado dependiendo del entorno puede llegar a ser grande.
No requiere coordinación del paciente con el funcionamiento del equipo.	La fuente de energía requerida puede ser electricidad, batería o gas comprimido.
Se puede utilizar con niños, jóvenes y adultos.	El aerosol tiene riesgo de suministrarse a la cara y ojos del paciente a través de la máscara utilizada.
Puede modificarse las concentraciones y dosis del fármaco	El personal de salud tiene mayor exposición en el suministro de medicamentos.
El rendimiento del medicamento depende de la marca y el modelo.	Requiere montaje y limpieza.
Durante la administración del aerosol el paciente no requiere realizar pausas inspiratorias.	La contaminación del equipo es posible con un manejo inadecuado.

Fuente: adaptado de (23).

La calidad y la eficacia de la nebulización depende del tamaño de las partículas producidas por este tipo equipo. Además, intervienen otros aspectos como los que se enlistan y describen a continuación:

a. *Cantidad de la solución*. Con 3 a 5 ml de volumen se producen partículas de tamaño de 2 a 5 micras, las cuales ingresan y se depositan en el tracto respiratorio inferior. Los volúmenes menores a 3 ml producen mayor número de partículas menores a 2 micras, que salen durante la fase espiratoria. Los volúmenes superiores a 5 ml generan una nebulización con partículas mayores de 5 micras, las cuales se depositan en la vía aérea alta (4).

b. *Flujo de aire a través del micronebulizador*. El tamaño de las partículas es inversamente proporcional al flujo de aire. Cuando este es bajo producen partículas de mayor tamaño y viceversa, de modo que se requieren flujos de aire entre 6 y 8 L/min a fin de generar una nube de partículas apropiadas para ingresar al tracto respiratorio inferior (4).

c. *Aditamentos del dispositivo*. En el funcionamiento del equipo se requiere una boquilla o máscara facial adecuada según la edad del paciente; la desventaja de la máscara es que la nariz tiende a filtrar más el aerosol que la boca, por lo que el uso de una boquilla debe ser más implementado; sin embargo, se debe evaluar condiciones del paciente tales como la edad, el estado clínico y la comodidad.

Independiente de la interfaz que se utilice se debe educar al paciente para que realice la inhalación del medicamento por la boca, se debe tener en cuenta que el ajuste y el diseño de la máscara pueden favorecer la inhalación, la dosis y disminuir el riesgo de suministrarse aerosol en los ojos (23).

El efecto adecuado de la nebulización también depende del tiempo de duración; lo recomendado es de 8 a 10 minutos, debido a la evaporación y la concentración del medicamento, aunque este aspecto también depende de la solución a nebulizar y la correcta posición del equipo para la salida del aerosol (4).

A continuación, en la tabla 5 se mencionan los determinantes que influyen en el momento de realizar una nebulización.

Tabla 5.

Determinantes en la efectividad de la nebulización

Flujo	Entre más alto, mayor se generarán partículas entre 2 y 5 micras por lo cual se recomienda entre 6 y 8 litros.
Tamaño de las partículas	Menores a 5 micras
Volumen	Entre 3 y 4 ml
Tipo de aditamento	De acuerdo con la edad; sin embargo, las boquillas suministran más fármaco.
Tiempo	Recomendado de 8 a 10 minutos, pero puede varias hasta 25 minutos.

Fuente: adaptado de (16).

Inhaladores de dosis medida

Constituye el dispositivo de aerosolterapia portátil más antiguo y de mayor uso a nivel mundial. Con este dispositivo se puede administrar dosis bajas con cada pulsación, de manera que proporciones una cantidad fija de medicamento. Su efectividad depende de la coordinación de una respiración lenta y profunda, por lo cual la instrucción que se dé al paciente es uno los aspectos más importantes para una adecuada técnica (24).

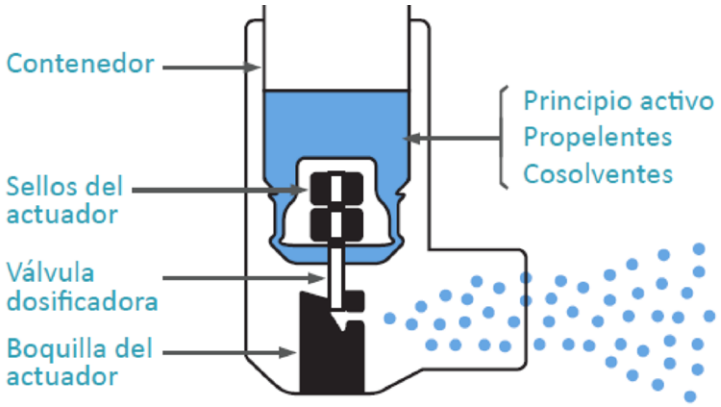


Figura 10.
Partes inhalador de dosis medida

Fuente: (24).

En el contenedor se encuentra depositado el medicamento en forma de suspensión con un gas propelente. Hace algunos años era el clorofluorocarbono (CFC), nocivo para la capa de ozono, por lo cual fue reemplazado por el hidrofluoralcano (HFA) que, además de generar menos daños ambientales, fisiológicamente a nivel de la vía aérea superior disminuye el depósito del medicamento debido a que aumenta la temperatura y disminuye la fuerza de la salida del aerosol, con el cual es posible reducir el impacto del propelente a bajas temperaturas a nivel de la orofaringe (19).

El inhalador de dosis medida ha sido el dispositivo de aerosol más formulado para pacientes con enfermedades pulmonares por ser compacto, portátil, fácil de usar y proporcionar multidosis en un solo dispositivo. Las ventajas y desventajas se describen en la tabla 6.

Tabla 6.

Ventajas y desventajas de los IDM

Ventajas	Desventajas
Portátil, ligero y compacto.	Requiere coordinación al activarse el medicamento con una respiración lenta y profunda, en caso de no utilizar un espaciador.
Puede proporcionar una o varias dosis.	Administra concentraciones y dosis fijas de medicamento.
El tiempo de administración del medicamento es corto.	Puede generar reacción alérgica en algunos pacientes.
No se requiere preparación de medicamentos.	Deposición orofaríngea alta.
Poco riesgo de contaminación.	Difícil de determinar la dosis restante en el recipiente sin contador de dosis.

Fuente: adaptado de (23).

Estos dispositivos pueden entregar entre 60, 120, 200 o 300 dosis; si este no tiene contador de dosis, se debe contar las dosis que se han administrado, ya que al sobrepasarse el número de dosis que se especifica en el dispositivo, saldrá luego solo gas o propelente y el paciente correrá el riesgo de no recibir el tratamiento formulado (4).

A fin de evitar este inconveniente la **Agencia Federal del Departamento de Salud y Servicios Humanos de los Estados Unidos (FDA)** exige que los nuevos inhaladores de dosis medida tengan dispositivos de recuento de dosis, los cuales indican cuándo se acerca a la última. El contador de dosis es un módulo de conteo adaptado a la parte superior del dispositivo. Cuando este se aplica, cuenta las dosis que le queda el dispositivo a medida que se utiliza. Algunos métodos indirectos para evaluar el llenado del dispositivo, como, por ejemplo, flotar el recipiente en agua, son engañosos y pueden reducir la capacidad de funcionar correctamente, por tanto, no debe usarse como método para evaluar las dosis faltantes del medicamento que se encuentra en el dispositivo (23).

La forma correcta de administración de medicamento con un inhalador de dosis medida se describe en la figura 11.

Cámaras de inhalación

Estas se ubican en medio del dispositivo y la boca del paciente, a fin de que el procedimiento de inhalación sea más fácil y tenga mayor efectividad; estos se clasifican en espaciadores e inhalocámaras; la diferencia entre ambas radica en que estas últimas presentan una válvula unidireccional anti-rretorno, la cual se activa con flujos inspiratorios bajos y evita que el medicamento y el aire espirado se devuelva en el interior de la cámara. Algunas inhalocámaras tienen dos válvulas una inspiratoria y la otra espiratoria; estas permiten que las partículas del aerosol permanezcan en suspensión en el interior de la cámara y sean inhaladas, sin necesidad de coordinar el disparo con una inspiración lenta (19). En la tabla 7 se enumeran las ventajas y desventajas de su uso.

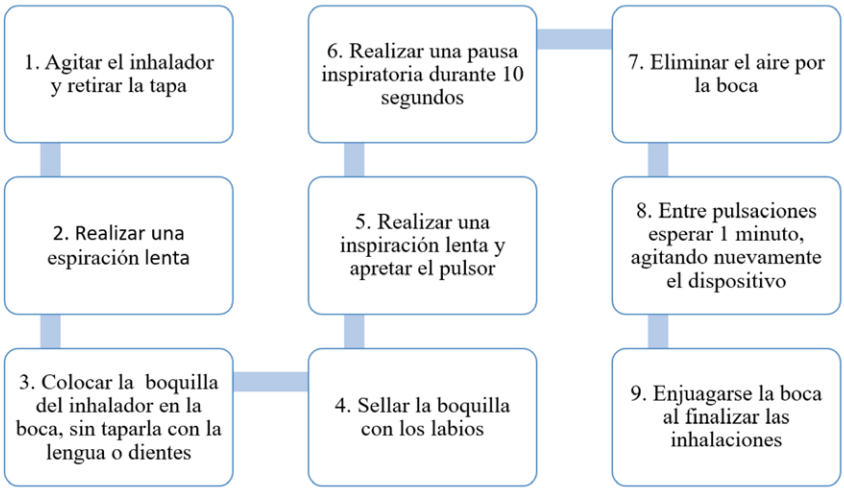


Figura 11.
Pasos para administrar IDM

Fuente: (24).

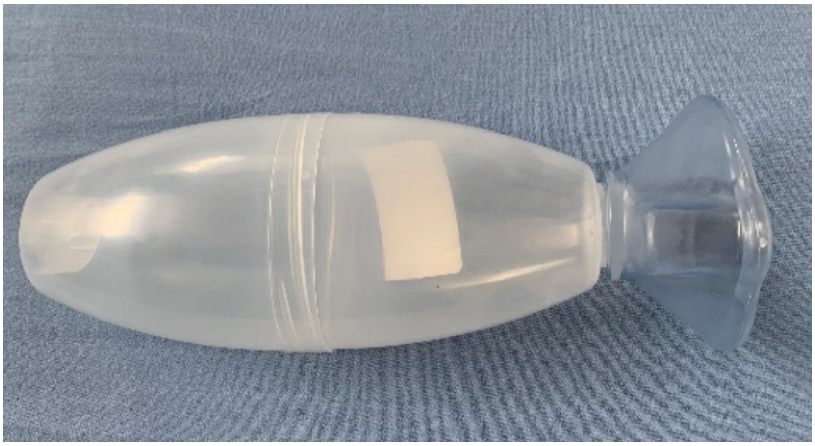


Figura 12.
Espaciador

Fuente: elaboración propia.

Tabla 7.

Ventajas y desventajas de las cámaras de inhalación

Ventajas	Desventajas
Disminuyen el depósito del medicamento en la orofaríngea.	Mayor costo económico para el paciente.
Su uso está relacionado con la cantidad de dosis ordenadas por el médico.	Es necesario verificar una adaptación correcta: inhalador máscara o boquilla y espaciador o inhalocámara.
Se utiliza en crisis agudas o crónicas.	No se debe generar el aerosol en la cámara antes de inhalar.
No requiere preparación de medicamentos.	Posible contaminación por limpieza inadecuada.
Disminuye la necesidad de coordinar la activación del inhalador y la inhalación.	
Disminuye efectos secundarios del medicamento.	

Fuente: adaptado de (23).

Inhaladores de polvo seco

Estos inhaladores surtieron como otra opción a los inhaladores de dosis medida para evitar problemas de coordinación entre la activación del dispositivo y la inhalación. Estos dispositivos liberan polvo micronizado que se activa por una inspiración del paciente, lo que genera partículas de tamaño entre 1-2 μm. Las mezclas sólidas empleados en la dilución del principio activo son partículas de tamaños superiores a 25-50 μm, evitando pasar a las vías aéreas inferiores (19). Las ventajas y desventajas de este dispositivo se describen en la tabla 8.

Tabla 8.

Ventajas y desventajas de los inhaladores de polvo seco

Ventajas	Desventajas
Pequeño y portátil	Requieren un flujo inspiratorio del paciente de 30 a 60 lt/minuto.
Contador de dosis incorporado	Paciente menos consciente de la dosis administrada.
Corto tiempo de preparación y administración	Impacto orofaríngeo relativamente alto.
Se acciona con un flujo inspiratorio	Es fácil para el paciente confundir las instrucciones de uso con otros dispositivos.
Sin propelente	No se pueden utilizar en pacientes en ventilación mecánica o con traqueostomía.

Fuente: adaptado de (23).

Sistema unidosis

El fármaco se encuentra en el interior de una cápsula gelatinosa, la cual se coloca en el dispensador para cada toma y, tras perforarse, se inhala. Entre sus ventajas se encuentra que el paciente puede observar el medicamento, el cual desaparece de la cápsula con la inhalación, proporcionándole seguridad de que lo ha recibido. Como desventaja se describe la necesidad de flujos inspiratorios más altos que los sistemas multidosis y la necesidad de perforar la cápsula (19).

Sistema multidosis

Las dosis se encuentran en capsulas portátiles. El número de dosis es variable y depende del sistema utilizado; su facilidad en el uso y su comodidad en el manejo son sus principales ventajas; entre los inconvenientes descritos está que la humedad puede comprimir las partículas y realizar una espiración sobre la boquilla, lo cual lleva a que se pierda la dosis preparada para ser inhalada (19).

En la figura 13 se presentan algunos inhaladores de polvo seco que se encuentran actualmente en el mercado.

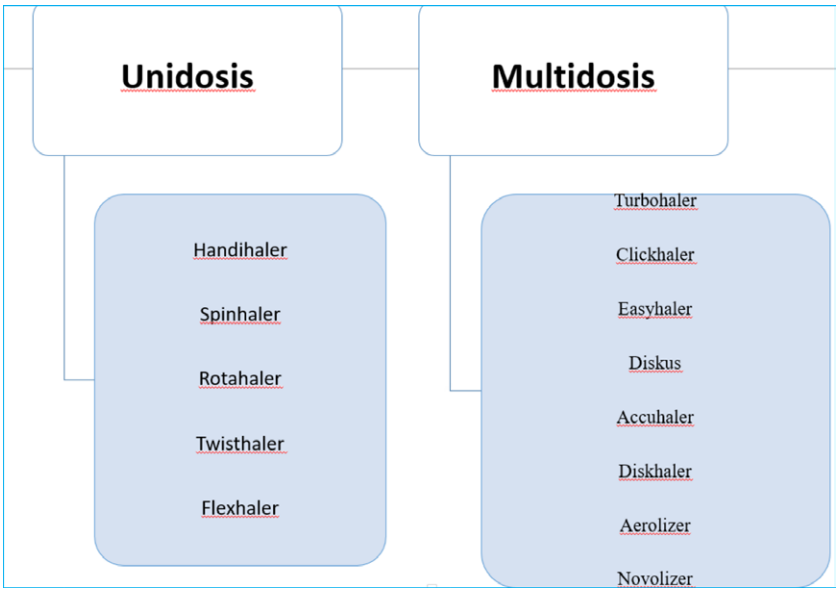


Figura 13.
Inhaladores de polvo seco

Fuente: adaptado de (10).

Formas de uso

La amplia disponibilidad en el mercado de diferentes tipos de inhaladores de polvo seco exige que los terapeutas respiratorios o el personal de salud entrenado deban revisar cuidadosamente las instrucciones antes de proporcionar terapia con aerosol y e instruir a los pacientes en el uso de estos en el hogar.

La mayoría de inhaladores de polvo seco, a fin de asegurar su efectividad y la entrega del medicamento requieren que el paciente realice un flujo inspiratorio pico de 30 a 60 lt/min. Esto es importante tenerlo en cuenta, ya que los niños, adultos mayores o individuos con una patología pulmonar exacerbada no van a ser capaces de generar el flujo inspiratorio pico necesario, por lo cual este grupo de pacientes requerirán otro tipo de dispositivo (25).

A continuación, se describen en la Figura 14 los pasos para una correcta administración.

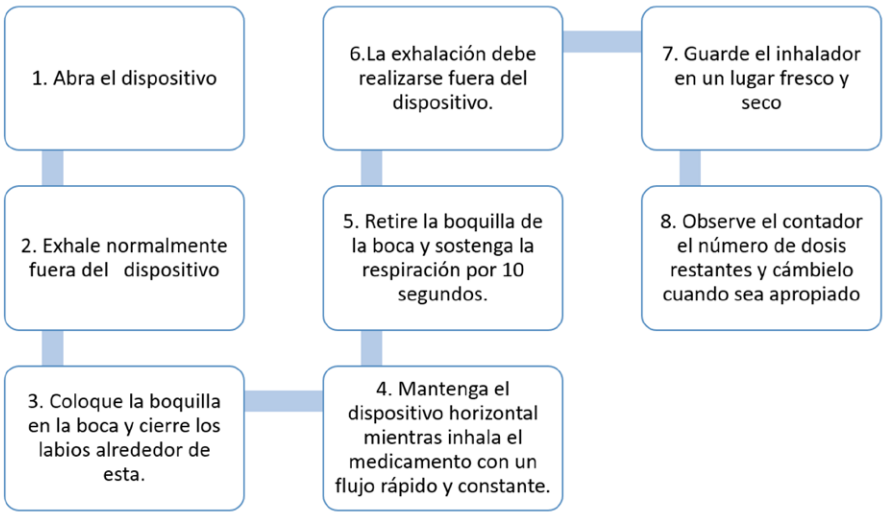


Figura 14.
Pasos para administrar inhalador de polvo seco

Fuente: adaptado de (23).

A continuación, se describen algunos inhaladores de polvo seco que se encuentran en el mercado:

- *Sphinhaler y aerolizer.* El medicamento se obtiene de una cápsula de gelatina que es perforada por dos agujas y se debe aspirar a través de un reservorio rotatorio que es el que dirige el flujo; el paciente puede verificar al final del procedimiento que la cápsula quedó vacía, asegurándose que inhaló el medicamento, lo que constituye una de las ventajas del dispositivo (4).

- *Rotahaler.* Es similar a la marca anterior, el medicamento se encuentra en una cápsula que al ser puesta en una cámara y al girar la boquilla del inhalador se rompe; a fin de favorecer su efectividad requiere que el paciente realice flujos inspiratorios mayores de 60 lt/min, por lo cual se dificulta su uso en pediatría (16).
- *Diskhaler.* Este inhalador tiene forma ovoide y aplanada; en su interior se encuentra un cuerpo central, el cual es extraíble y posee un soporte en el que se encuentra la unidad de administración. Maneja solo cuatro dosis de fármaco en cápsulas individuales, ubicadas en la periferia de un disco pequeño llamado *rotadisk*; al perforarse las capsulas, y realizar el paciente una inhalación profunda, se aspira el medicamento a través de la boquilla (19).

  En la figura 15 de describen los pasos para su administración.

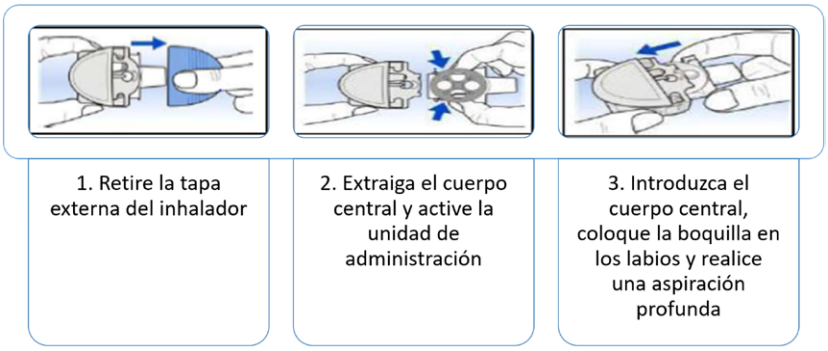


Figura 15.
Pasos para la administración del *diskhaler*

Fuente: Adaptado de (19).

- *Turbuhaler.* Es un inhalador de polvo seco y de dosis múltiple. A fin usarlo se debe colocar hacia arriba y dar un giro a la base; esta acción abastece un reservorio de partículas en un disco rotatorio, de modo que su funcionamiento se activa a través de flujos inspiratorios de 30 lt/min, lo que conlleva a mayor depósito comparado con los inhaladores de dosis medida y a ser poco útil en menores de siete años a pesar de requerir una mínima coordinación (16).

Entre los aspectos para tener en cuenta en la técnica de administración de inhaladores se encuentra, sin importar el dispositivo que se emplee, se debe capacitar al paciente sobre el uso correcto, ya que es habitual que se emplee de una forma incorrecta. Está descrito que del 46 % al 59 % de los pacientes que utilizan inhaladores realizan una técnica adecuada y el 25 % no ha recibido capacitación para su uso (25). La mayoría de los errores en el empleo correcto de los inhaladores se observa en los adultos mayores; la mayor dificultad que se encuentra está en la incorrecta sincronización del disparo y la inhalación que debe realizar el paciente (3).

Con respecto a la técnica de instrucción proporcionada al paciente por el personal de salud se ha encontrado que no es la más adecuada, por lo que es muy importante concientizarlo sobre la importancia de ofrecer a los pacientes una adecuada educación en el empleo de estos dispositivos, mediante una muestra visual del correcto uso y las recomendaciones a tener en cuenta (3).

Criterios para seleccionar un generador de aerosol

Elegir el dispositivo de entrega es muy importante con miras a mejorar los resultados de la terapia con medicamentos en aerosol. La evidencia indica que los tres tipos de generadores de aerosol pueden ser igualmente efectivos si el paciente los usa correctamente (23). Sin embargo, se deben considerar los criterios de selección, los cuales se dividen en cuatro categorías: relacionadas con el paciente, medicamentos, dispositivo, y factores ambientales y clínicos.

Factores relacionados con el paciente

Se debe seleccionar el dispositivo de aerosol previa evaluación de la edad del paciente, de la capacidad física y cognitiva. Se debe tener en cuenta también que algunos dispositivos requieren mayor esfuerzo inspiratorio y que con la edad se modifica el tamaño y las características anatomofisiológicas de la vía aérea, así como la frecuencia respiratoria y el volumen pulmonar.

La selección del dispositivo también está relacionada con la preferencia del paciente, ya que algunos tienden a usar los que prefieren más habitualmente que los dispositivos que no les gustan; por esta razón, la selección del dispositivo para inhalar debe ser acorde a las necesidades y preferencias del paciente (19).

Factores relacionados con los medicamentos

Algunos medicamentos para inhalar están disponibles con un solo tipo de dispositivo. Si se encuentra en las tres presentaciones descritas, esto es, líquida para ser administrada por nebulización o en aerosol a fin de administrarse con inhalador de dosis medida o polvo seco, el profesional de la salud debe elegir la presentación de acuerdo con las preferencias y las necesidades del paciente. Cuando se prescribe al paciente más de un inhalador, lo que se recomienda es utilizar el mismo tipo de dispositivo, ya que esto aumenta la adherencia del paciente a la administración del medicamento, de modo que disminuye los riesgos de confusión por el uso de distintos dispositivos (23).

Factores relacionados con el dispositivo

Al seleccionar el dispositivo se debe tener en cuenta cuál es el más conveniente para el paciente mediante una evaluación de la facilidad de uso, del tiempo de administración del medicamento y la limpieza del equipo, ya que en un momento de descompensación de

la patología se requiere que el dispositivo se pueda utilizar fácilmente. Por esta razón en el medio extrahospitalario los nebulizadores son los menos preferidos por su tamaño y la preparación del medicamento (19).

Factores ambientales y clínicos

Al elegir el dispositivo se debe evaluar la frecuencia de administración durante el día, pues cuando se administra una o dos veces al día no es necesario que sea tan portátil como los medicamentos de acción rápida que pueden ser necesarios en cualquier momento (23).

Referencias

1. Díaz Lobato S, García González JL, Mayoralas Alises S. Controversias en oxigenoterapia continua domiciliaria. Arch Bronconeumol. 2015;51(1):31-7.
2. Carrillo-Ng H, Cabrejos-Hirashima L. ¿Se brinda una educación adecuada en el uso de inhaladores a pacientes asmáticos en Perú? Rev Medica Hered. 2017;28(3):220.
3. Tajes-González YM, Gulín-Dávila J, Castellano-Copa P. Evaluación de la técnica inhalatoria y valoración de la necesidad de intervención farmacéutica en pacientes con patología respiratoria. Farm Hosp. 2019;43(6):202-7.
4. Pediátrica AC de N. Neumologia pediátrica. Colombia: Distribuna; 2016.
5. González Sanz A, Martín Vaquero Y. Evidencias de los cuidados para NIC 3320 oxigenoterapia. Rev Cub Enfer [Internet]. 2018;34(3). Disponible en: http://www.revenfermeria.sld.cu/index.php/enf/article/view/2961/386
6. Ríos I. FÁRMACOS Y MANEJO DE LA VÍA AÉREA. Rev CONAREC [Internet]. 2017; Available from: WWW.REVISTACONAREC.COM.AR
7. Rodríguez B J, Reyes N M, Jorquera C R. Oxigenoterapia en pediatría. Rev Pediatría Electrónica [Internet]. 2017;14(1):13-25. Disponible en: http://www.revistapediatria.cl/volumenes/2017/vol14num1/pdf/OXIGENOTERAPIA.pdf
8. SEPAR, Arraiza N, Organización Mundial de la Salud. Especificaciones técnicas de los concentradores de oxígeno. Man Separ Proced [Internet]. 2014;(29):64. Disponible en: http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/251911/9789243509884-spa.pdf;jsessionid=9988B3D66C98861AE3ACA0D96F035B3D?sequence=1
9. Romero-Nieva MCREM-C. Manual de atencion domiciliaria del paciente con EPOC. In: EditorialRespira, editor. Manual Separ De Procedimientos [Internet]. Novartis F. España; 2011. Available from: https://issuu.com/separ/docs/manual22?mode=window&backgroundColor=%23222222
10. Cristancho W. Fundamentos de fisioterapia respiratoria y ventilación mecánica. 3ª ed. Colombia: Moderno; 2014.

11. Mir Villamayor R. Oxygen therapy in neonates". An unresolved problem. Ped (Asunción). 2016;43(3):237-45.
12. Cordinardo C, Cáneva J, Gil B, Uribe ME, Lisanti R, Larrateguy L, *et al*. Recomendaciones sobre el uso de oxigenoterapia ambulatoria. Rev Am Med Respir RAMR [Internet]. 2018;18(2):8-9. Disponible en: https://www.vitalaire.cl/sites/vitalaire_cl/files/2018/09/19/recomendaciones_sobre_el_uso_de_oxigenoterapia_ambulatoria.pdf
13. Rodríguez González-Moro JM, Bravo Quiroga L, Alcázar Navarrete B, Alfageme Michavila I, Díaz Lobato S. Oxigenoterapia continua domiciliaria. Open Respir Arch. 2020;50(5):185-200.
14. Morros E, Estrada D, Murillo M, Montes J, Rodríguez N, Granados C. Evaluación de conocimientos sobre oxigenoterapia y lectura del flujómetro en el personal de salud de pediatría del Hospital Universitario San Ignacio, Bogotá, Colombia. Univ Médica. 2018;59(3):1-10.
15. Jay P. Goldsmith, MD F. Ventilación neonatal asistida. 3ª ed. Colombia: Distribuna; 2019.
16. Castro JA, Abara S., Klgo.Puppo H DGG. Conceptos y normas sobre el uso de aerosolterapia en Pediatría. Med Fam. 2000; 1(3): 22-29.
17. Cuneo B, López-Pineda A, Soler-Catalu JJ. Aerosolterapia. Guía Separ. 2019;1(2):7-13.
18. Rodríguez Bonnín MA, Iglesias Peinado I, Benedí González J. Atención farmacéutica a pacientes en tratamiento con AINE. Pharm Care España. 2013;15(4):130-9.
19. Cases SG, Aragonés IC, Aguinagalde A, Colaboradores T, Peiró JFM, Carreño MG. Dispositivos y guía de administración vía inhalatoria. Grup Trab. 2017;4-51.
20. O. FÍ. Inhalation therapy in patients with mechanical ventilation. Neumol Pediát. 2017;13(4):149-63.
21. Azagra AM De, Serrano A, Flores JC. Ventilación Mecánica en recién nacidos, lactantes y niños. 3ª ed. Madrid; 2018.
22. Belinchon JP. Dispositivos de inhalación en medicación inhalada. Prot. 2019;2:51-64.
23. Gardenhire DS, Burnett D, Strickland S, Myers TR. A guide to aerosol delivery devices for respiratory therapists. American Association for Respiratory Care; 2017.
24. Landaeta D, Morales S. Efectividad de los inhaladores presurizados de dosis medida en la deposición pulmonar: revisión de la literatura. Rev Estud Mov [Internet]. 2015;2(2):15-22. Disponible en: http://www.reem.cl/descargas/reem_v2n2_a3.pdf
25. Fernández-Soto JR, Navarrete-Rodríguez EM, Del-Río-Navarro BE, Saucedo-Ramírez OJ, Del-Río-Chivardi JM, Meneses-Sánchez NA, *et al*. Asthma: correct use of inhalation drug-delivery devices. Bol Med Hosp Infant Mex. 2019;76(1):5-17.

FISIOLOGÍA RESPIRATORIA

4

Mónica García Cardona

TR-Magíster en Salud Pública y Desarrollo Social, Facultad de Ciencias de la Salud y del Deporte, Programa Terapia Respiratoria, Fundación Universitaria del Área Andina, Seccional Pereira.

Introducción

La respiración cumple una función importante en el cuerpo humano como productora de ATP que es su fuente principal de energía, de la cual necesitan todas nuestras células. De igual forma, este ATP va a depender de una serie de proteínas localizadas en la mitocondria, con ayuda de la cadena transportadora de electrones, que nos ayudan a mover estos electrones para generar un gradiente de hidrogeniones y así generar el ATP necesario para la célula es allí que el oxígeno, por sus propiedades químicas, ayuda al movimiento de los electrones y completa así su función; toda célula que requiera grandes cantidades de ATP, por consiguiente, deberá tener buena carga de oxígeno (1).

En respuesta a la acción de la cadena transportadora de electrones se tendrá un producto por parte de la célula, el cual es un desecho que se conoce como CO_2. Como coadyuvador para que todo este trabajo se realice de forma adecuada tenemos el sistema cardiovascular, con ayuda de la hemoglobina como componente importante de los glóbulos rojos que ayuda a trasportar el oxígeno hacia la célula y el CO_2 producto desecho hacia el exterior; es aquí que se produce la hematosis o intercambio gaseoso (1).

El sistema respiratorio es una integralidad anatómica en la que los pulmones, las vías aéreas, superiores e inferiores, el sistema nervioso central, la musculatura respiratoria y la reja costal participan y ayudan en el intercambio gaseoso, de modo que contribuyen de igual forma al mantenimiento de la estabilidad ácido-base, la fonación y la defensa de los agresores e irritantes del medio ambiente, así como otras acciones principales metabólicas (2).

La distribución a nivel respiratorio está creada para que el flujo sanguíneo y el aire puedan realizar adecuadamente el intercambio gaseoso. Por esta razón es importante conocer a fondo la anatomía respiratoria, pues su función principal es alcanzar el oxígeno del ambiente y eliminar el CO_2 que se genera por medio el metabolismo celular (3).

Aspectos generales

El propósito de este capítulo es analizar, desde una base global, la importancia del estudio de la fisiología respiratoria, ya que ayuda a comprender su asignatura y nos orienta al entendimiento claro del funcionamiento normal del sistema respiratorio. Así, posteriormente,

será posible comprender las patologías y las características propias que lo pueden aquejar, así como, con buenas bases, llegar a un tratamiento adecuado.

El desarrollo de los contenidos se encuentra dividido en varios subtemas que estudian y analizan toda la estructura funcional del sistema respiratorio, además del conocimiento de coadyuvadores en una integralidad anatomo-fisiológica del sistema, para una mejor comprensión y entendimiento de este.

Objetivos

Los objetivos son:

1. Definir la fisiología y conocer sus distintas disciplinas en el área pulmonar, mediante el conocimiento de las distintas funciones de este sistema, del análisis de cada uno de los pasos que intervienen en la respiración y la definición de cada uno de sus componentes.
2. Describir las distintas fuerzas físicas que se ejercen en el proceso de ventilación y perfusión pulmonar, así como la transferencia de gases y el conocimiento de sus principios básicos.
3. Identificar las distintas pruebas de función pulmonar que tenemos y nos son útiles para comprender mejor la fisiología respiratoria, así como su acción en las diferentes patologías pulmonares.

Estructura anatómica respiratoria

Vía aérea

La vía aérea la podemos clasificar en dos grupos grandes: vía aérea superior (VAS), en la que tenemos la nariz, la cavidad oral y la faringe; y una vía aérea inferior (VAI), la laringe, la tráquea y toda su ramificación bronquial (4).

Vía aérea superior (VAS)

Es fundamental para el sistema respiratorio, ya que nos sirve de humidificación, filtro y protección al árbol bronquial de agentes externos. La respiración nasal, aunque figura como una resistencia al flujo aéreo, representa notablemente un papel importante como reformadora del aire, ya que esta actúa como humidificador, filtro y calentador de este (3).

La humidificación y la temperatura del aire se da por la vascularización que existe en la membrana nasal y al gran tamaño de la superficie mucosa, del vestíbulo nasal, hasta la

nasofaringe, ya que este se encuentra tapizado por un epitelio ciliado seudoestratificado mocoproductor y vascular, con células pequeñas ceromucinosas y cerosas que nos ayudan a eliminar las partículas inhaladas y precipitadas, así como gases insolubles; se denomina "función mucociliar". De igual forma, la deglución juega un papel importante como ayudador del sistema respiratorio, ya que en el momento en que esta se presenta se genera un movimiento del paladar ascendente que limpia la nasofaringe y dirige así los materiales almacenados hacia la vía digestiva y, de esta forma, nos ayuda a la higiene constante de la (VAS) (3).

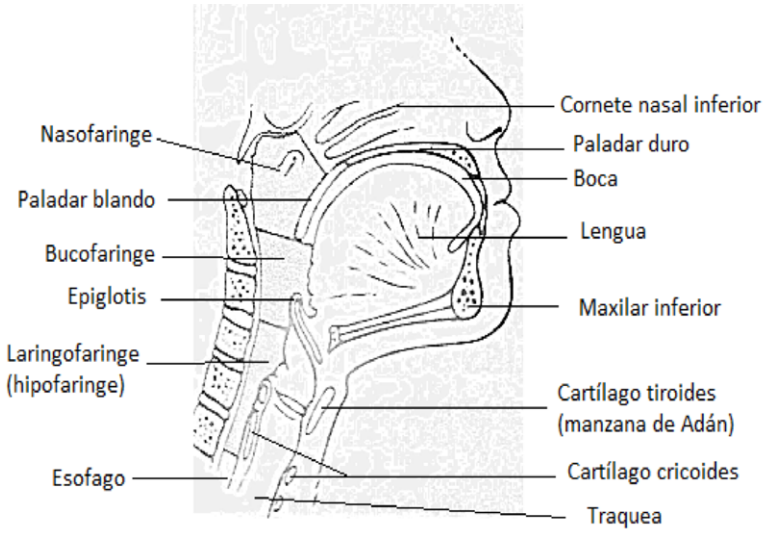


Figura 1.
Vía aérea superior

Fuente: elaboración propia.

Vía aérea inferior (VAI)

La vía aérea inferior es el complemento y la continuidad de la vía aérea superior. En esta se encuentran estructuras anatómicas importantes que nos sirven como conducción y para el intercambio de gases.

La ubicación de la laringe en la parte superior es la base de la lengua y en la inferior es a nivel de la tráquea. Su función primordial es la producción de la voz, pero es un ayudador importante en el sistema respiratorio, ya que sirve como mecanismo de válvula y protección de la entrada de cuerpos extraños a la vía aérea. Está constituida por una serie de cartílagos; son nueve en total, tres de ellos representan los cartílagos únicos, como, por

ejemplo, el cricoides, la tiroides y la epiglotis, y otros tres son cartílagos dobles, como los corniculados, aritenoides y cuneiformes. La epiglotis previene la aspiración durante la deglución, mientras los pares de pliegues que se forman por el tapizado de la membrana mucosa originan las cuerdas vocales falsas y verdaderas, las cuales nos sirven como órgano fonatorio (2).

La tráquea es un cilindro de aproximadamente 12 cm, con un diámetro de 2,5 a 3,5 cm que va desde el cartílago cricoides hasta la bifurcación en la que inician los bronquios, llamada también Carina, la cual se ubica a nivel de la quinta vertebra dorsal (2).

El árbol bronquial constituye una serie de ramas y bifurcaciones que transportan el aire inspirado hasta los alveolos y se dividen en dos zonas: de conducción y respiratoria. Se encuentran en estas vías estructuras cartilaginosas y no cartilaginosas, donde tenemos como primera estructura anatómica la tráquea, seguida de toda una estructura de bronquios y sus divisiones, hasta los bronquiolos respiratorios, los cuales, a su vez, presentan divisiones dicotómicas que originan más divisiones o ramas que se denominan "generaciones", las cuales inician en la tráquea como generación 0 y finalizan en la vía distal en las unidades alveolares o unidades respiratorias en la generación 23. Las primeras 16 generaciones sirven como conducción y establecen así el espacio muerto anatómico; las generaciones restantes perciben gran volumen pulmonar y estos intervienen en el intercambio gaseoso, propiamente en la unidad alveolar (1) (5).

Los alveolos, o unidad respiratoria terminal (URT), están formados por diversos tramos de la vía aérea situados en la parte más distal al bronquiolo terminal, a la red arterial y venosa, que perfunden y drenan, respectivamente, el riego sanguíneo de dicha zona (1).

Una serie de varias unidades respiratorias, aproximadamente de 3 a 5, dan forma a un lobulillo que se encuentra definido por tejido conectivo. Los elementos básicos de estas unidades terminales son los alveolos. En el momento del nacimiento se tiene un valor aproximado de 25 millones, en el periodo de la niñez los alveolos aumentan en su proporción y varían dependiendo de la altura del individuo; se supone que, aproximadamente, un adulto tiene alrededor de 300 a 500 millones de alveolos (5).

El tejido alveolar está compuesto por unas células específicas, como lo son las alveolares tipo I y alveolares tipo II, las cuales son las epiteliales y granulares. De igual forma, los macrófagos alveolares, que nos sirven como mecanismo de defensa frente a agentes bacterianos o agresores. La eficacia del intercambio gaseoso pende de una capa delicada y gruesa entre el aire y la sangre, denominada "interfaz hemato-gaseosa pulmonar", o "membrana alveolo/capilar", en la cual interfieren varios elementos tales como epitelio alveolar, la membrana basal, endotelio capilar y su membrana basal, componentes tisulares y el surfactante alveolar; el elemento predominante en la interface es el espacio intersticial, con fibroblastos y células de defensa, así como el espacio endotelial (4).

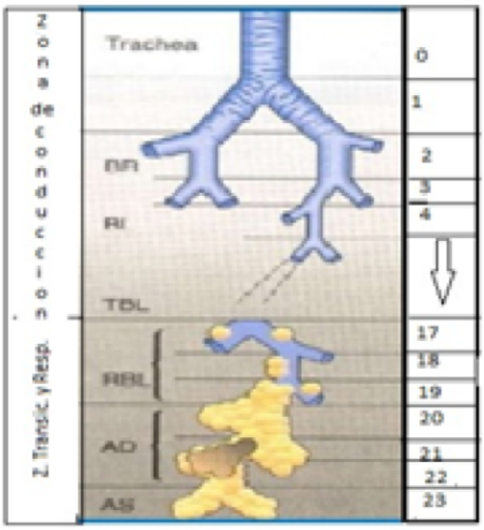


Figura 2.
Generaciones bronquiales

Fuente: (4).

Unidad respiratoria terminal (URT)

Esta unidad está formada en la parte más distal de la anatomía respiratoria, es decir, los bronquiolos respiratorios, los conductos alveolares, atrios y alveolos propiamente dichos. Se encuentra un aproximado de 300 millones de alveolos por pulmón, y cada uno de estos con un diámetro aproximado de 0,2 mm, con unas paredes alveolares muy delgadas unidas a una fina red de vasos capilares interconectados entre sí, lo que facilita el proceso de difusión de gases. Esta estructura anatómica se define como acino o lóbulo primario, sin embargo, dado que su función principal es la de intercambio gaseoso, se define como unidad respiratoria y la unión de varias unidades respiratorias forma un lobulillo o lóbulo secundario (1).

Como se mencionó, el elemento primordial de la unidad respiratoria es el alveolo. Entre los alveolos podemos encontrar unas pequeñas comunicaciones llamadas "poros de Kohn" que nos ayudan a mantener una circulación adjunta de aire entre las unidades adyacentes, a fin de permitir la ventilación colateral y, de esta forma, ayudar a las zonas que están menos ventiladas por procesos de obstrucción bronquial. También encontramos otras vías accesorias en forma tubular tapizadas por el epitelio que nos ayudan en la comunicación de los alveolos con bronquiolos terminales, e incluso con vías aéreas más grandes denominados "canales de Lambert". Estos canales también son facilitadores de la ventilación colateral y mejoran la ventilación pulmonar (3).

El epitelio alveolar presenta dos tipos de células que son las que están formadas por un epitelio plano de neumocitos (tipo I y tipo II), así como un espacio intersticial de elastina y colágeno. Las células alveolares tipo I recubren en gran parte el epitelio alveolar y su función principal es aumentar la superficie de intercambio gaseoso, y las células tipo II cubren el 5 % de la superficie alveolar y su función principal es la de la elaboración surfactante que ayuda a disminuir la tensión superficial (3).

El surfactante es una sustancia tensoactiva compuesta por fosfolípidos como la fosfatidilcolina y su principal función es la de conservar la estabilidad alveolar. Esta acción se da gracias a la formación de una capa sobre el espacio aire-líquido de los alveolos en el que podemos evidenciar que la tensión superficial no es constante, ya que se presentan cambios en esta área. Por esta razón, cuando se disminuye el área del alveolo, se presentan cambios como, por ejemplo, el bajo volumen pulmonar. Es allí que las moléculas se acercan entre sí, de manera que disminuye la tensión superficial y se evita que las unidades respiratorias terminales se cierren cuando se disminuye también el diámetro del alveolo. De forma diferente, cuando incrementa el diámetro del alveolo aumenta también la tensión superficial, con lo que se evita la sobredistensión pulmonar (6).

Se puede concluir que la falta del surfactante origina una mala acción de los alveolos, lo que los lleva a no expandirse uniformemente y que se produzca una alteración en el intercambio de gases, ya que la ventilación no se realiza con el ambiente si no con las distintas unidades alveolares.

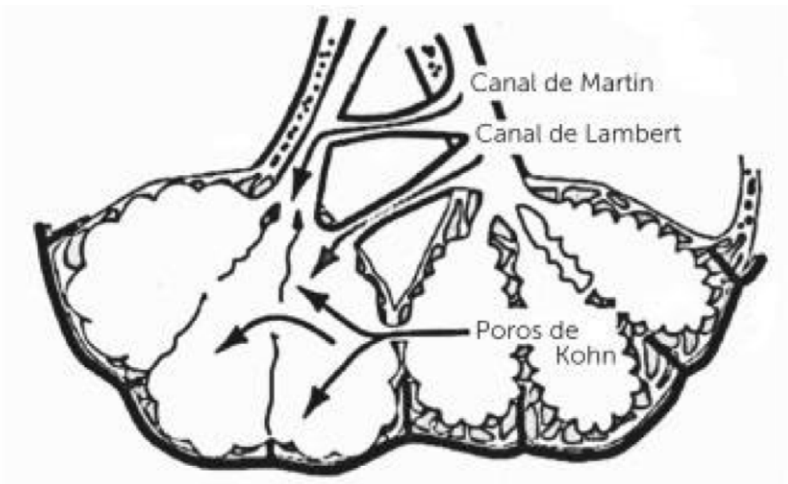


Figura 3.
Unidad respiratoria terminal (URT)

Fuente: (4)

Segmentación pulmonar

Los pulmones son dos, uno derecho con tres lóbulos y uno izquierdo con dos divisiones, los cuales se dividen, a su vez, en diferentes segmentos, siempre con miras a la bifurcación traqueal, a la altura de la vértebra número 7, pues es allí que se inician los bronquios principales de ambos lados. De igual forma, estos se bifurcan esbozando el nacimiento a los bronquios lobares y a los segmentarios (5).

De esta manera, del bronquio derecho fuente nace el bronquio hacia el lóbulo superior y se divide así en tres segmentos que se dividen, a su vez, en segmento apical, posterior y anterior. Luego, del bronquio fuente se desprende el bronquio del lóbulo medio, de modo que se bifurca este en los bronquios segmentarios, lateral y medial. El bronquio del lóbulo inferior es la continuidad a nivel basal pulmonar, en el que se encuentran cinco segmentos con sus cinco bronquios segmentarios: basal superior, basal medial, basal anterior, basal lateral y basal posterior (4).

En el pulmón izquierdo, sucede exactamente lo mismo, a partir del bronquio principal se da origen al bronquio que se dirige al lóbulo superior y se divide este en superiores e inferiores. Del bronquio superior se originan dos bronquios segmentarios, los cuales se dividen en segmento apico-posterior y anterior. De igual forma, el área inferior se dirige hacia la língula y se segmenta en dos lóbulos especiales: la língula superior y la língula inferior. El bronquio lobar inferior o basal origina el bronquio basal apical, basal antero-medial, basal lateral y basal posterior (3).

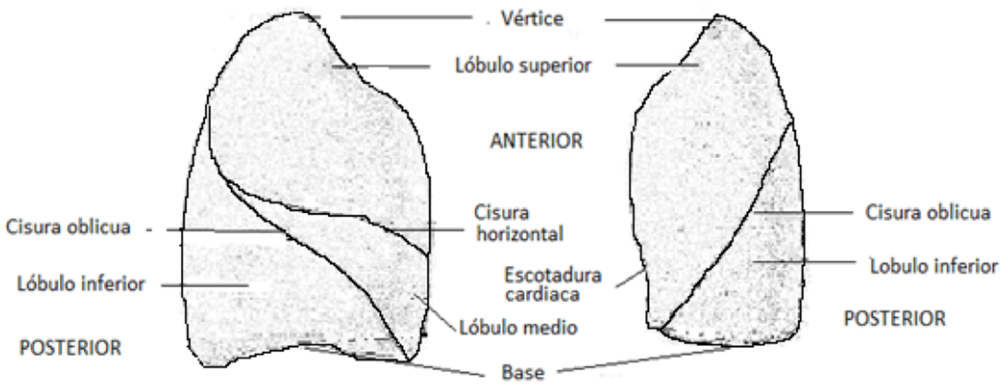


Figura 4.
Segmentación pulmonar

Fuente: elaboración propia.

Circulación pulmonar

El riego sanguíneo a nivel pulmonar es primordial para el proceso de la respiración, de modo que permite, por ejemplo, el paso de aire al espacio alveolar. El área total del lecho capilar es de, aproximadamente, 70 m^2 lo que establece una similitud entre las áreas alveolares y las endoteliales. Es por esto por lo que se garantiza una correcta difusión a nivel pulmonar (7).

La vascularización pulmonar es nutricional y funcional. Se divide en arterias venas pulmonares y arterias venas bronquiales. En la arteria pulmonar existen tres tipos de arterias: las elásticas, musculares y arteriolas. En las arterias elásticas existe un aproximado de 1 mm y están recubiertas por células musculares. Las arterias musculares tienen un radio de 100 a 1000 mm y se fijan en la malla vascular de las unidades respiratorias. Las arterias pulmonares constituyen un sistema con menos resistencia y alta capacidad de reserva pulmonar; tienen un trayecto similar a los bronquios en las unidades terminales respiratorias, de modo que forman una malla capilar que envuelven las unidades alveolares y de las cuales surgen (8).

Las venas pulmonares trasportan la sangre rica en oxígeno a la aurícula izquierda. La distribución de las arterias pulmonares va igual a la de las vías aéreas hasta conseguir la igualdad bronquial y se dividen allí en un número mayor que el de las vías aéreas. Esto facilita los factores de distribución del flujo sanguíneo, de forma que el repartimiento particular de la ventilación influye en la distribución del flujo sanguíneo. Es por esto que, cuando algunas áreas no se ventilan adecuadamente, se disminuye la tensión de oxígeno y se presenta una vasoconstricción, lo que lleva a una disminución del flujo sanguíneo en estas áreas con el objetivo de advertir una oxigenación inconveniente (1).

La circulación bronquial está suplida por arterias bronquiales, cuyo inicio no es constante, ya que pueden surgir en distintos sitios, como, por ejemplo, en la aorta descendente, la subclavia o las intercostales. El flujo sanguíneo de regreso se efectúa por medio de las venas bronquiales y llega a su final en los ácigos (1).

El sistema venoso pulmonar se caracteriza por drenar la sangre arterializada que viene de los capilares pulmonares y es llevada a la aurícula izquierda del corazón. Cada unidad respiratoria terminal se encuentra muy bien perfundida por la arteria. La sangre que viene de los tejidos mediante los capilares venosos es cada vez mayor, de manera que forman estos los sistemas de vénulas. Es por esto que la congregación de estas da lugar a venas de mayor calibre para dar origen a las venas cava superior e inferior que nos sirven de trasporte a la sangre que llega, en primera medida, a la aurícula derecha del corazón (8).

De igual forma, el sistema venoso pulmonar lleva el flujo sanguíneo arterializado que viene de los capilares a nivel pulmonar y se dirige a la aurícula izquierda. Las unidades respiratorias terminales tienen una perfusión única por una arteria, de manera que pueden realizar el sistema de drenaje por medio de diferentes venas que, a su vez, llegan a las distintas unidades alveolares (1).

Inervación pulmonar

La inervación pulmonar está dada por dos ramas de nervios: los simpáticos y los parasimpáticos. Las fibras nerviosas preganglionares se originan en el nervio vago y circulan de forma similar a la red vascular y a las áreas de bronquios, así como las bifurcaciones postganglionares que inervan la musculatura lisa de los bronquios y las arterias, o las glándulas bronquiales. Es por esto que la activación del parasimpático causa broncoconstricción y vasodilatación arterial, mientras la activación simpática causa relajación del musculo liso bronquial por estimulación del receptor beta y la contracción de la musculatura lisa arterial por estimulación del receptor alfa (6).

Mecánica de la ventilación

Fisiológicamente, los pulmones y la reja costal son directamente proporcionados y correlacionados en el propósito de trabajar y generar acciones respiratorias. En conjunto, el pulmón es un órgano elástico cuya tendencia es estar desinflado a fin de alcanzar un volumen residual, mientras la reja costal tiende a buscar su máxima expansión en busca de unaposición que genere una capacidad pulmonar total. Es por esto necesario un equilibrio entre ambos, a fin de generar un movimiento inspiratorio y espiratorio óptimo (1, 3).

En este punto surge un gran interrogante sobre cómo se presenta la diferencia entre las presiones alveolar y la del gas atmosférico. Al tener presente la participación de las pleuras parietal y visceral, en las que se originan de igual manera unas diferencias de presiones, lo que genera un movimiento pulmonar, esta integralidad de componentes nos responden algunos interrogantes, y es de allí que se desprenden tres actividades principales que se enlistan a continuación:

- *La ventilación*. Es la delegada de transportar el oxígeno del aire ambiente a los alvéolos, por medio de las vías aéreas y descartar el dióxido de carbona de los alvéolos al exterior.
- *La difusión*. Es también aquí donde se realiza intercambio gaseoso por medio de la membrana alveolocapilar, pasando del lugar de alta presión al de menor presión.
- *La circulación*. Un importante mecanismo para el trasporte del oxígeno, de los capilares alveolares a las células y en sentido inverso con el CO_2 (1).

De igual forma, podemos identificar estas principales funciones de la siguiente forma: ventilación pulmonar, o respiración, es la inhalación (entrada) y exhalación (salida) de aire e involucra el intercambio de aire entre la atmósfera y los alveolos pulmonares. La inhalación permite la entrada de O_2 a los pulmones, mientras la exhalación, la salida del CO_2 desde el centro respiratorio, ajusta la ventilación a las demandas metabólicas y al equilibrio ácido-base. Asimismo, el sistema pulmonar tiene unas propiedades mecánicas que se identifican en los elementos que se enlistan a continuación:

- *Elasticidad*. Se define como la capacidad que tiene un cuerpo de volver a su estado normal después de haber sido deformado.
- *Viscosidad*. Depende de la fricción entre dos medios: uno fluido y el otro el tejido pulmonar y el gas que circula por las vías aéreas.
- *Tensión superficial*. Producida por las fuerzas adherentes de las moléculas en la superficie del fluido y de la capa de la superficie alveolar.
- *Histéresis*. Es el producto que hace que una fuerza perdura más de lo que dura la misma fuerza. Es importante que, para una adecuada valoración e interpretación de la función pulmonar, debemos tener claro el conocimiento de qué factores participan y actúan de forma importante en el movimiento de la entrada y salida del aire, como, por ejemplo, los volúmenes y las capacidades pulmonares (9).

Volúmenes y capacidades

Los volúmenes y las capacidades pulmonares son aquellos que podemos medir y nos ayudan a comprender y evaluar la función pulmonar de los individuos:

- *Volumen corriente (VC)*. Cantidad de aire que se moviliza con cada respiración y equivale aproximadamente a 500 ml.
- *Volumen de reserva inspiratoria (VRI)*. Es la cantidad máxima de aire que podemos tomar después de una inspiración normal y equivale, aproximadamente, a 3100 ml.
- *Volumen de reserva espiratoria (VRE)*. Es la cantidad máxima de aire que podemos expulsar después de una espiración normal, equivale, aproximadamente, a 1200 ml.
- *Volumen residual (VR)*. Cantidad de aire que permanece en el pulmón después de una espiración máxima y equivale, aproximadamente, a 1300 ml.
- *Capacidad residual funcional (CRF)*. Es la cantidad de aire que queda en los pulmones después de una espiración normal. Equivale a 2400 ml.
- *Capacidad inspiratoria (CI)*. Es la cantidad máxima de volumen de aire que se moviliza después de una espiración normal, equivale, aproximadamente, a 3600.
- *Capacidad vital (CV)*. Es la cantidad de aire máximo que se espira después de una inspiración máxima, equivale, aproximadamente, a 4700 ml.
- *Capacidad pulmonar total (CPT)*. Es el total de aire que se moviliza en los pulmones después de una inspiración máxima y equivale, aproximadamente, a 600 ml (3, 9).

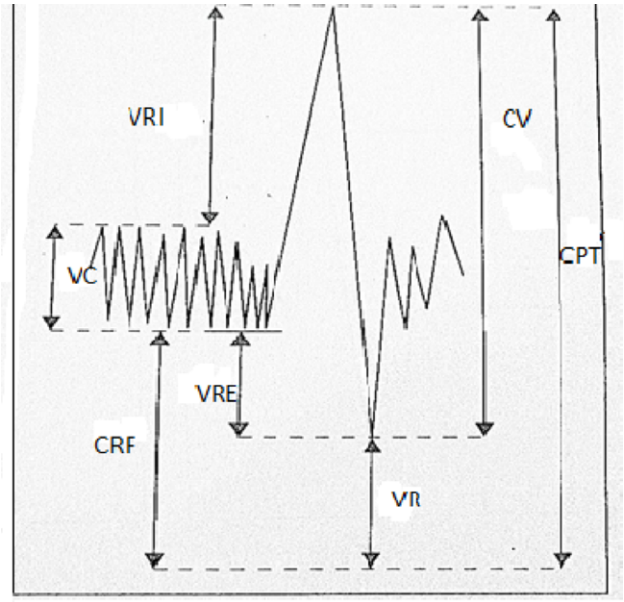


Figura 5.
Volúmenes y capacidades pulmonares

Fuente: elaboración propia.

Ventilación alveolar

En reposo los ciclos respiratorios movilizan, aproximadamente, 500 ml de aire, con una frecuencia de 12 a 16 veces por minuto. Este aire movilizado lo conocemos como volumen corriente. El producto de la frecuencia respiratoria (F) y el volumen corriente (VC) se denomina "ventilación pulmonar por minuto" (Vp) (10).

En reposo una parte del gas inspirado, alrededor del 30%, no alcanza a llegar a los alveolos, de modo que queda en las vías respiratorias, donde no se realiza intercambio gaseoso. A este volumen de aire se le denomina "espacio muerto anatómico". Sabemos que la ventilación pulmonar es de aproximadamente 6 Lts, y si a este le restamos 2 Lts del espacio muerto anatómico obtenemos la cantidad de aire que hace parte del intercambio gaseoso, al cual denominaremos "ventilación alveolar" (VA). De igual forma, si algunos alveolos no reciben la sangre suficiente por problemas de perfusión, el aire que llegué a estos alveolos no participará en el intercambio gaseoso y aumentará el espacio muerto anatómico, de modo que disminuye así la ventilación alveolar (VA). Podemos calcular el volumen del espacio muerto de la siguiente manera: donde (Vm) es espacio muerto 125 ml, (VC) volumen corriente 500 ml, ($PaCO_2$) presión de CO_2 en sangre arterial 40 mmhg, ($PECO_2$) presión de CO_2 en el aire espirado 30 mmhg (10).

Composición del aire alveolar

La estructura del aire alveolar incluye el aire inspirado y la concentración de los gases disueltos en la sangre venosa mezclada. Nuestra atmósfera se compone del 21 % de O_2, un 75 % de nitrógeno y menos del 1 % de otros gases, incluido el dióxido de carbono, con una presión atmosférica total de 760 mmhg a nivel del mar, y a nivel de Bogotá 360 mmhg. En el momento en el que el aire es inspirado, este se calienta rápidamente a temperatura corporal de 37 °C y se satura como vapor de agua de 47 mmhg (3, 10).

Factores mecánicos de la ventilación

Al formarse una diferencia de presiones en un conducto permeable, el flujo se dirige de un extremo de mayor presión a uno de menor presión, por acción de la fuerza muscular, de modo que el volumen pulmonar aumenta y crea así una presión en el interior del alveolo, la cual está por debajo del nivel de la atmosférica, es decir, es subatmosférica. Esto hace que el aire que iba hacia los alvéolos, al cesar la acción de los músculos de la inspiración, de los tejidos pulmonares y del tórax, hace que las fibras regresan a su posición inicial y que la presión en el interior del alveolo sea superior a la atmosférica, lo que facilita su salida al exterior (2).

Músculos respiratorios

El estudio de todos los componentes pulmonares, en conjunto o por separado, nos lleva a una sola cosa fundamental; cómo el estudio de las medidas de volumen y presión nos pueden definir la cantidad máxima o mínima que se pueden movilizar con cada respiración, así como al apoyo fundamental que nos brinda la musculatura respiratoria, pues sabemos que los músculos respiratorios son la fuente principal en el sostén y la función motora del sistema respiratorio, principalmente el diafragma, y no menos importante los demás músculos que intervienen en estas acciones (1, 7).

Los músculos que participan en el proceso de la respiración son imprescindibles para realizar este proceso, aunque algunos son más protagónicos que otros y los podemos dividir en músculos inspiratorios, como, por ejemplo, el diafragma, los intercostales externos, los serratos, escalenos, pectorales, subclavios y espinales; y los músculos de la espiración, tales como los de la pared abdominal, el transverso del abdomen, los oblicuos, piramidales y el recto del abdomen (3).

En la fase inspiratoria el diafragma en su movimiento de contracción hacia abajo permite que la caja torácica se ensanche y genere más capacidad pulmonar. De igual forma, los intercostales externos elevan las costillas y el esternón, lo cual permite que la reja costal aumente el diámetro de su caja y se creando una presión negativa que provoca la entrada de aire a los pulmones (1, 3).

En la salida de aire o relajación de los músculos respiratorios se reduce el volumen de la caja torácica, lo que crea una presión positiva que saca el aire de los pulmones y se genera así la espiración. En la espiración voluntaria los músculos de la pared abdominal se contraen y presionan el diafragma para que permitan, de esta forma, la salida del aire de la cavidad pulmonar. Es importante conocer que, en reposo, en el proceso de la respiración los principales músculos que actúan son el diafragma y los intercostales, y en momentos de tos o ejercicio físico el proceso puede hacer uso de los músculos abdominales, pectorales, serratos y escalenos, entre otros (11).

Acción de la musculatura respiratoria

La transformación del gas alveolar está fundamentada, principalmente, en el trabajo de los músculos respiratorios, lo cual ayuda a la dilatación y la tensión constante de la caja torácica. En la mecánica ventilatoria podemos encontrar dos tipos de resistencia que la musculatura pulmonar debe vencer: la resistencia estática y la resistencia dinámica. Las resistencias estáticas son propias del sistema en cuanto a sus características estructurales, y las resistencias dinámicas se relacionan con los volúmenes pulmonares, puesto que a medida que incrementa el volumen pulmonar la resistencia al llenado aumentará y, de igual forma, la fuerza muscular desarrollada por los músculos. De esta manera, al entrar el aire al árbol bronquial se presentan fuerzas de fricción y turbulencia, de modo que la fuerza desarrollada por los músculos respiratorios para lograr vencer las resistencias debe provocar una diferencia de presiones entre la atmósfera y el alveolo; la secuencia que se presenta en un ciclo respiratorio es inspiración y espiración (11).

En la inspiración la presión atmosférica (Patm) es mayor que la presión alveolar (Palv). Esta diferencia determina que se produzca la entrada de aire hasta que las presiones se igualen. Para que esta diferencia se produzca, los músculos de la respiración se contraen, en razón a que al contraerse el diafragma desciende la presión en el espacio intrapleural, lo que se trasmite al alveolo. Durante la espiración se produce lo opuesto (Patm < Palv), de manera que el aire se expulsa del alveolo hasta que los valores de presión se igualen. En circunstancias normales la relajación de los músculos y las propiedades elásticas del sistema desencadenan un incremento de la presión alveolar con relación a la presión atmosférica, lo que provoca la salida del aire alveolar (2).

Propiedades elásticas pulmonares

Normalmente los pulmones se encuentran distendidos en la caja torácica, el tejido pulmonar es elástico y despliega impulsos de retracción que se resisten a la distención y se incrementan con el volumen. Las características elásticas del pulmón penden en gran parte por la elastina y el colágeno, proteínas extracelulares insolubles cuyas particularidades principales son su longevidad, fuerza y resistencia de degradación. En las vías aéreas las fibras están organizadas de forma longitudinal, desde los bronquíolos respiratorios y ductos

alveolares y se establecen de forma helicoidal; representan, aproximadamente, del 15 % al 20 % del peso del pulmón (1, 2, 2).

La diferencia entre la presión intrapulmonar y extrapulmonar se define como la presión transpulmonar, por lo cual, a fin de lograr unos pulmones estáticos en un volumen pulmonar, es obligatorio que la presión transpulmonar y la presión de retroceso elástico se equilibren de forma exacta.

El pulmón y la caja torácica, de forma natural, trabajan en sentido contrario, ya que el pulmón se extiende hacia adentro y la caja torácica lo hace hacia afuera; en consecuencia, la oposición de estas dos fuerzas hará que la presión pleural esté por debajo de la atmosférica.

La presión transmural de las vías aéreas se calcula al restar la presión pleural de la presión en el interior de las vías aéreas donde: PTVA = PVA – PPL.

El conocimiento de esta variable es importante, pues nos ayuda al conocimiento de la apertura de la vía aérea durante una espiración y así evitar el colapso pulmonar (1, 12).

Control de la ventilación pulmonar

Como se ha mencionado, el trabajo fundamental del sistema respiratorio es mantener adecuadamente las concentraciones de O_2, CO_2 y PH en la sangre, para, de esta forma, tener una función homeostática a nivel pulmonar; estas concentraciones estarán en estado normal siempre y cuando las exigencias de captación de oxígeno y liberación de CO_2 sean las adecuadas, de acuerdo con las necesidades metabólicas del organismo. De igual forma, el equilibrio homeostático se da gracias a la medida de la ventilación mediante una serie de métodos de control, realizadas fuera del sistema respiratorio. Estas funciones conductuales están ajustadas por el sistema nervioso central (SNC), ya que es allí que se origina el ritmo respiratorio básico de cualquier individuo. La respiración se origina por impulsos procedentes del tronco del encéfalo; los centros respiratorios del bulbo y la protuberancia no forman núcleos separados, sino que están formados por grupos de neuronas que forman un generador central de patrón respiratorio (13).

Elementos del sistema de control de la ventilación

En este sentido, a fin de que se realice adecuadamente el proceso de la ventilación y se genere un equilibrio en el sistema respiratorio intervienen en el control de la respiración tres elementos fundamentales: sensores, controladores y efectores. Los sensores se encargan de recibir la información y enviarla a los controladores, y estos a su vez generan el ritmo respiratorio basal y procesan la información cambiando y regulando su actividad. Por su parte, los controladores trasfieren a los efectores las señales para que el proceso de la respiración cumpla su función homeostática.

Los centros respiratorios tienen como funciones principales:

- Control del ritmo de la respiración, generando un patrón respiratorio.

- Transmisión de impulsos de origen central a los músculos respiratorios.
- Ajuste del ritmo respiratorio en respuesta a las necesidades metabólicas.
- Control del ritmo respiratorio para cubrir funciones conductuales y voluntarias.
- Utilización eficiente del ritmo para cubrir las necesidades con el mínimo gasto de energía.

Los sensores

Son los encargados de tomar toda la información y así remitir a los controladores, es decir, los centros respiratorios. Tenemos entonces que los sensores que ayudan a la regulación y el equilibrio de la función respiratoria son los que se enlistan y describen a continuación:

- *Sensores del sistema nervioso central (SNC)*. Estos detectan cambios mínimos de presiones parciales de oxígeno (PO_2), presiones parciales de bicarbonato (PCO_2), alteración en la concentración de hidrogeniones (H) y alteraciones en el grado de distensión pulmonar, como, por ejemplo, los quimiorreceptores centrales y los receptores hipotalámicos, así como los centros en el prosencéfalo (13).
- *Sensores fuera del sistema nervioso central (SNC)*. Los quimiorreceptores arteriales periféricos (fundamentalmente cuerpos carotídeos) y los receptores de las vías aéreas superiores (nasales, faríngeos, laríngeos) (13).
- *Receptores pulmonares*. Son los receptores de estiramiento, los receptores de sustancias irritantes y las fibras C y receptores yuxtacapilares (receptores J) (13,14).
- *Receptores eferentes*. Son los más importantes en el control del calibre de la vía aérea tales como los receptores muscarínicos y los receptores B2 adrenérgicos.
- *Los receptores de los músculos respiratorios*. Allí existen dos tipos de receptores que están involucrados en el proceso de la respiración: los órganos tendinosos de Golgi y los husos neuromusculares (13).
- *Los controladores (centro respiratorio)*. Estos controlan el ritmo respiratorio basal y ayudan a procesar y ordenar toda la información emitida por los sensores, de modo que modifican su nivel de actividad, con el objetivo de crear una homeostasis a nivel pulmonar con las siguientes funciones:
    - Crear un compás adecuado del proceso respiratorio y conducirse como productores de un trabajo respiratorio adecuado al momento.
    - Trasmitir el ritmo generado a las motoneuronas de los músculos respiratorios.
    - Acomodan el ritmo respiratorio a las necesidades de equilibrio metabólico en el momento.
    - Utilizar el mínimo de gasto de energía para realizar estas funciones (13).

De igual forma, los focos delegados del control automático del ritmo respiratorio se localizan en el tronco encefálico y son los directamente responsables del ritmo respiratorio, de manera que podemos hablar del centro neumotáxico, ubicado en la protuberancia, el cual es el encargado de modular y perfeccionar el centro respiratorio, al igual que del centro apnéustico y los centros bulbares (7, 13).

El centro neumotáxico tiene como función armonizar los centros respiratorios bulbares, ya que estos, al estimular las neuronas neumotáxicas, desactivan el proceso de la inspiración y, por consiguiente, alteran la frecuencia respiratoria.

La función del centro apnéustico es, en esencia, el control de la respiración, ayudado por una red neuronal difusa.

Los centros bulbares son grupos neuronales capaces de aumentar la actividad durante la inspiración, así como ayudan y se correlacionan con el resto de las neuronas que se encuentran interconectadas entre sí formando redes que actúan de forma oscilante. En la inspiración entre estas mallas la periodicidad de disparo se eleva y en la espiración son otros los grupos que se activan, de modo que lleva el sistema a un equilibrio respiratorio (13).

El grupo respiratorio dorsal

Está ubicado en la región dorso medial del bulbo y contiene neuronas inspiratorias calcificadas que tienen en cuenta el momento de la inspiración, de modo que aumentan su actividad y regulan el patrón respiratorio. Su función principal es la de enviar proyecciones a las motoneuronas y a los nervios frénicos e intercostales. De esta forma, son las directamente responsables de la actividad diafragmática durante el proceso de la inspiración y establecen conexiones directas con el grupo respiratorio ventral (13).

El grupo respiratorio ventral

Se divide anatómicamente por incorporados de células que van por el bulbo hasta el área más rostral; se divide en tres grandes regiones que son: el núcleo retroambiguo contiene neuronas espiratorias, se presenta sinapsis y controlan los músculos espiratorios intercostales y abdominales en la espiración forzada; el núcleo paraambiguo contiene neuronas inspiratorias e incluye también las propiobulbares que coordinan la actividad de los músculos respiratorios, con el control de las resistencias de las vías aéreas superiores; y el núcleo retrofacial incluye neuronas que se agrupan en un complejo llamado Botzinger, el cual forma neuronas espiratorias que inervan la laringe y la faringe, así como el complejo pre-Botzinger es capaz de generar el ritmo respiratorio (1, 13).

Control químico de la respiración

La finalidad del sistema respiratorio es mantener un adecuado control del O_2, CO_2 e hidrogeniones en la sangre, para una adecuada nutrición a los tejidos. Por esta razón, los sensores del sistema de control de la respiración están ajustados a los mecanismos

químicos reguladores de la respiración, como lo son los quimiorreceptores centrales y periféricos, los cuales actúan estimulando, fundamentalmente, el centro respiratorio, de modo que generan señales respiratorias a nivel inspiratorio o espiratorio en los músculos de la respiración. Es importante saber que el oxígeno, aunque no tiene un efecto directo sobre el centro respiratorio, actúa directamente en los cuerpos carotideos y trasmite así las señales nerviosas al centro respiratorio para el control de la respiración (2,13).

Quimiorreceptores centrales

Responden a cambios en la composición química del flujo sanguíneo. Estos quimiorreceptores están ubicados en la superficie del bulbo raquídeo. El principal estímulo de estos receptores son las alteraciones en los hidrogeniones (H) en el líquido extracelular, de modo que son capaces de producir cambios compensatorios en la ventilación, cuyo objetivo es la de generar cambios en la $PaCO_2$ y aminorar así los cambios en los hidrogeniones (1, 13).

Quimiorreceptores arteriales periféricos

Se presentan dos grupos: carotídeos y aórticos. Los primeros están localizados a nivel de los cuerpos y el segundo grupo a nivel de los aórticos; ambos tienen respuesta al estímulo de los cambios en las PO_2 por descenso o aumento de este. También pueden estar receptivos a los cambios mínimos del PH en ausencia o aumento de la PCO_2, que pueden fluctuar en reposo o durante el ejercicio. Por la baja de la PO_2 y la elevación en la concentración de H, así como la elevación análoga del, CO_2 se puede presentar en respuesta la liberación de dopamina, la cual incita las terminaciones del nervio aferente y genera así aumentos en las descargas de potenciales de acción y envía a los centros respiratorios elevación de la actividad de los músculos inspiratorios, el trabajo de la reja costal y de las vías aéreas superiores. Asimismo, esto puede conducir a aumentos de PaO_2 y a disminución de la $PaCO_{2,}$ lo que permite mejorar la ventilación alveolar y disminuir la estimulación de los quimiorreceptores (7, 13).

Receptores nerviosos pulmonares

Existen varios tipos de receptores a nivel pulmonar en los que la estimulación es enviada a los centros respiratorios a través del nervio vago, cuyo objetivo primordial es la regulación de la ventilación en momentos de desequilibrio. Entre estos tenemos los receptores de distensión, los receptores de irritación y los receptores J o yuxtacapilares.

Receptores de distensión

Son receptores de adaptación lenta y están relacionados íntimamente con el musculo liso de la vía aérea, de manera que responden a la incitación y se presenta la elongación

durante la inspiración; es allí donde actúan los reflejos de freno de la inspiración, como, por ejemplo, el reflejo de Hering-brever que se activa en el neonato, ya que moviliza abundantes volúmenes.

Receptores de irritación

Su estimulación es directamente la irritación a gases, a estímulos mecánicos y, de igual forma, a congestión pulmonar; se genera como respuesta a estos estímulos la broncoconstricción laríngea y de vías aéreas centrales. Se ajustan rápido y su función primordial es la defensiva en el sistema respiratorio.

Receptores J o yuxtacapilares

Se encuentran a nivel del intersticio alveolar, en la proximidad de los capilares. Se incitan por alteraciones e irritaciones que envuelven el área. De esta manera, el edema intersticial y el estímulo de provocadores químicos se exteriorizan con la presencia de taquipnea y a la sensación de disnea que acompaña a estas condiciones; su estímulo se da por reflejo del nervio vago.

Oxigenación y eliminación de dióxido de carbono

La función respiratoria es, en definitiva, sinónimo de oxigenación, pero también es importante la eliminación del dióxido de carbono, de manera que dos componentes son dos parámetros usados para determinar y conocer la eficiencia de la respiración.

La oxigenación

El mantenimiento de la vía aérea es importante. Desde el punto de vista fisiológico debemos analizar y tener en consideración tres etapas principales: lacaptación de oxígeno, el trasporte de oxígeno, la liberación de oxígeno a los tejidos y la oxigenación tisular.

Captación de oxígeno, presión parcial de oxígeno (PaO_2)

En esta etapa se hace referencia a la forma como el oxígeno se disuelve fácilmente en el plasma, sin confundirlo con la cantidad de oxígeno que se encuentra combinado o unido a la hemoglobina. Se expresa en mmhg y como valor de referencia tenemos de 80 a 100 mmhg en una persona sana. Su valor puede ir disminuyendo con la edad, pues la PaO_2 depende del adecuado intercambio gaseoso realizado entre el alveolo y el capilar, llamado también “respiración externa”; cuando nos encontramos con una elevación de sus niveles normales hablamos de una hiperoxemía. Esta puede llegar a ser tóxica, especialmente en los neonatos; cuando nos encontramos con una inadecuada captación de oxígeno podemos

hablar o referirnos a una hipoxemia leve, moderada o severa, y en esta última podemos hablar de una insuficiencia respiratoria aguda, la determinación de la PaO_2 (1,15).

Presión de dióxido de carbono ($PaCO_2$)

Esta etapa hace referencia a la presión que ejerce el dióxido de carbono que se encuentra disuelto en plasma. Se expresa en mmhg, como valor de referencia tenemos oscilaciones entre 35 a 45 mmhg y, a diferencia de la PaO_2, este no disminuye con la edad. La $PaCO_2$ es importante, ya que nos informa sobre el componente respiratorio y del equilibrio del ácido-base al darnos respuestas claras sobre el comportamiento de la ventilación, de modo que nos genera una hipercapnia cuando encontramos niveles aumentados de $PaCO_2$ por encima de 45mmHg, y nos lleva a una hipocapnia cuando estos niveles descienden por debajo de 35 mmhg. De igual forma, podemos hablar, en función de la $PaCO_2$, de una insuficiencia respiratoria hipercápnica, hipocápnica o normocápnica cuando los niveles de CO_2 están alterados de una forma aguda o crónica; en suma, es un déficit de volumen de aire efectivo que se intercambia entre los alveolos y los capilares pulmonares (1, 15).

Curva de disociación de la hemoglobina

Esta define como tal la relación entre la saturación de oxígeno en sangre y la PaO_2. Se representa por medio de una curva sigmoidea que expresa cómo cada molécula de hemoglobina se une a cuatro moléculas de oxígeno. También por su forma particular sigmoidea la PaO_2 puede disminuir de forma importante y no afectar la saturación, mientras a nivel del flujo sanguíneo desciende en su recorrido por los capilares sistémicos, normalmente a 40 mmhg; la PO_2 sanguínea se sitúa en la porción superior de la curva, con lo cual facilita el aporte de oxígeno a los tejidos (7,15).

Saturación de la hemoglobina

Cuando hablamos de saturación nos referimos a la cuantía de oxígeno que se encuentra en unión a la hemoglobina y, de igual forma, la máxima cantidad de oxígeno que puede mezclarse con ella. En este caso hablamos de la capacidad de O_2. En la saturación de la hemoglobina hablamos del término P50, que concierne a la presión parcial de oxígeno, a la cual la hemoglobina está saturada en un 50 %. A una temperatura de 37 °C y a un PH de 7,40, su importancia reside en indicar el grado de mayor o menor afinidad del oxígeno por la hemoglobina, lo que se refiere a que a una elevada afinidad nos refleja una baja capacidad de entrega, mientras un P50 por encima de 26 sugiere una desviación de la curva a la derecha, así como una baja afinidad por el oxígeno y una alta capacidad de entrega; un P50 por debajo de este rango indica una desviación de la curva a la izquierda y una alta afinidad, pero al mismo tiempo menor capacidad de entrega de O_2 (7).

Un pH disminuido, una $PaCO_2$ aumentada, el incremento de la temperatura y el aumento del 2,3 difofosglicerato desvían la curva hacia la derecha; las situaciones contrarias

producirán el efecto inverso. Cabe considerar que el aumento del CO_2 disminuye, en gran medida, la afinidad de la hemoglobina por el oxígeno, dado esto por el efecto Bohr, según el cual si la concentración de hidrogeniones (H) aumenta, el equilibrio ácido-base cambia y, de esta forma, desplaza la curva hacia la derecha (7).

Transporte de anhidrido carbónico CO_2

Cuando nos referimos al anhidrido carbónico hablamos de la totalidad del CO_2 que proviene del metabolismo oxidativo de las mitocondrias, pues este se genera durante la respiración celular, para luego difundirse al intersticio y después a la sangre a fin de ser llevado hacia el alveolo donde, posteriormente, dada su facilidad de atravesar las membranas, alcanza el gas alveolar y luego es expulsado hacia el exterior. La tasa de producción de CO_2 es de, aproximadamente, 200 ml/minuto, siendo su presión parcial de 47mmHg. Este se encuentra en equilibrio con el ácido carbónico, el cual debe ser constantemente excretado para evitar la acidosis. En todo este proceso del trasporte del CO_2 una pequeña porción del dióxido de carbono se trasporta disuelto hacia los pulmones; el valor de la PCO_2 a nivel venoso es de 45 mmhg y después de la eliminación alveolar queda en la sangre arterial un valor de 40 mmhg, de modo que la cantidad de CO_2 disuelto en el flujo sanguíneo es de 03 ml de $CO_{2,}$ el cual se trasporta disuelto en cada dl de sangre. Aproximadamente, el 10 % del CO_2 es trasportado como compuesto carbamínico al combinarse con las proteínas del plasma y formar la carbaminohemoglobina, y más o menos el 80 % se trasporta como ácido carbónico disociado.

El transporte y la eliminación del CO_2 cumplen con una función principal en el sostenimiento del equilibrio ácido base y lo hacen a través del pulmón. De igual forma se produce el proceso de eliminación con la reabsorción del bicarbonato por medio de los túbulos renales en los que se produce la regulación del PH (1, 7, 15).

Referencias

1. Fernández Tresguerres J, Cardinali Dp, Escrich Escriche E, Gil Loyzaga P, Lahera Julia V, Mora Trevel F, *et al*. Fisiología humana. 3ª ed. McGraw-Hill; 2005.
2. Gómez Estacio L, Carbó Ayala J, Espino Morales L. Galería de imágenes morfológicas para el estudio del sistema respiratorio en Estomatología. Edumecentro. 2017;9
3. introducción a la terapia respiratoriahttps://digitk.areandina.edu.co/bitstream/handle/areandina/1258/Introducci%C3%B3n%20a%20la%20Terapia%20Respiratoria.pdf?sequence=1&isAllowed=y
4. Asenjo CA, Pinto RA. Características anatomofuncionales del aparato respiratorio durante la infancia. Rev Médica Clínica Las Condes [Internet]. 2017;28(1):7-19. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1016/j.rmclc.2017.01.002

5. García-Araque HF, Gutiérrez-Vidal SE. Aspectos básicos del manejo de la vía aérea: anatomía y fisiología. Rev Mex Anestesiol. 2015;38(2):98-107.
6. Melo-florián A. Introducción al aparato osteoarticular [Internet]. 2012; Disponible en: http://myopenarchive.org/docs/alejandro.meloflorian/335
7. Fernández Tresguerres J, Ariznavarreta Ruiz C, Cachofeiro V, Cardinali D, Escrich Escriche E, Gil Loyzaga P, *et al*. Fisiología humana [Internet]. 4ª ed. 2010. Disponible en: https://accessmedicina.mhmedical.com/book.aspx?bookID=1858#134362094
8. Gered J, Tortora Bd. Principios de anatomía y fisiología. 15ª ed. Panamericana; 2018.
9. Oliva Hernández C, Gómez Pastrana D, Sirvent Gómez J, Asensio De La Cruz O, Álvarez Gil D, Alzina De Aguilar V, *et al*. Estudio de la función pulmonar en el paciente colaborador. Parte I. An Pediatr [Internet]. 2007;66(4):393-406. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1157/13101245
10. Hernán M, Albanese B, Barrera FP, Valenzuela CC, Gil D, Riquelme C, *et al*. Capnografía volumétrica y su aplicación en la monitorización de la ventilación mecánica. Rev Chil Med Intensiva [Internet]. 2019;34(3):1-10. Disponible en: https://www.medicina-intensiva.cl/revista/pdf/68/2.pdf
11. Calderón Montero FJ. Fisiología humana aplicada a la actividad física. 2ª ed. Panamericana; 2019.
12. Padilla RP. Manual de entrenamiento en espirometría [Internet]. Man Entren Espirom. 2005;160. Disponible en: http://www.medicinalaboraldevenezuela.com.ve/archivo/doc-medicina-del-trabajo/manual-espirometria-ALAT-2005.pdf
13. Auliana R, Sendjaja SDPD, Kirana VN, Pada K, Universitas K, Ut T, *et al*. J Chem Inf Model [Internet]. 2013;53(9):1689-99. Disponible en: http://jurnal.unmer.ac.id/jbm/article/download/70/11%0Ahttp://repository.unpas.ac.id/5617/6/BABIIInita-revisi.pdf%0Ahttp://repository.unpas.ac.id/id/eprint/5617%0A%0Ahttp://repository.ut.ac.id/4408/2/SKOM4101-M1.pdf
14. P.de lucas Ramos, JM. Rodríguez González – Moro, J. de miguel Diez. La vía aérea superior durante el sueño Fisiología y fisiopatología
15. Patiño Restrepo JF, Celis Rodríguez E, Díaz Cortes JC. Gases sanguíneos fisiología de la respiración e insuficiencia respiratoria aguda. 8ª ed. Panamericana; 2015.