

Oxigenoterapia en pediatría:

Introducción:

La oxigenoterapia es considerada la terapia más común en la estabilización de un niño que acude a emergencias.

El oxígeno es un gas incoloro, insípido y poco soluble en agua, que las células del cuerpo necesitan para funcionar apropiadamente. El aire que respiramos tiene normalmente un 21% de oxígeno. Nosotros podemos recibir hasta un 100% de oxígeno.

Este debe ser considerado un fármaco porque: posee indicaciones precisas, debe ser utilizado en dosis y tiempo adecuados, posee efectos adversos y requiere criterios clínicos y de laboratorio para su evaluación.

La oxigenoterapia se define como el aporte suplementario de oxígeno (O_2) en el aire inspirado a concentraciones mayores a la del aire ambiental (21%), para prevenir y tratar la hipoxia.

La necesidad de oxigenoterapia se determina por la presencia de una inadecuada presión parcial de oxígeno en sangre arterial (PaO_2), que se correlaciona con baja saturación de oxígeno de la hemoglobina.

Es la herramienta terapéutica fundamental en el tratamiento de los pacientes con insuficiencia respiratoria hipoxémica, tanto aguda como crónica.

Su eficacia se traducirá en una mejoría de los signos y síntomas asociados a la hipoxemia, cambios gasométricos y en el valor continuo de la $SatO_2$.

El objetivo de la oxigenoterapia es:

- Prevenir o corregir la hipoxemia, al aumentar la PAO_2 .
- Esto mejora la oxigenación tisular, al lograr que la PaO_2 sea superior a 60 mmHg, lo que se corresponde con una $SatO_2$ superior al 90%, asegurándose así las necesidades metabólicas del organismo. Por debajo de estas cifras, la afinidad de la hemoglobina por el O_2 disminuye rápidamente y el contenido total de O_2 y el aporte de éste a los tejidos se ve afectado.
- Disminuir el trabajo respiratorio y miocárdico exacerbados por el aumento de la ventilación y el gasto cardiaco compensatorios, para satisfacer la demanda tisular.
- Tratar las consecuencias de la hipoxemia crónica (hipertensión pulmonar y progresión a un cor pulmonale, acidosis metabólica, poliglobulia, fallo en el crecimiento somático).

En este contexto, el clínico debe poseer conocimientos de la oxigenoterapia para elaborar los objetivos deseados, seleccionar el modo de administración, supervisar la respuesta del paciente y recomendar e implementar cambios apropiados.

Conceptos a evaluar en oxigenoterapia. Definiciones:

- **Hipoxemia:** disminución del O_2 disuelto en sangre arterial, es decir, de la presión parcial de O_2 arterial (PaO_2) por debajo de 60 mmHg, lo que corresponde a una saturación de O_2 arterial ($SatO_2$) del 90%.

- **Hipoxia:** bajo suministro de O₂ a nivel tisular, por lo que, las demandas de oxígeno no pueden ser satisfechas.

- **Fracción inspiratoria de oxígeno. FiO₂:** hace referencia a la concentración de oxígeno disuelto en el aire inspirado. Se expresa en con decimales o %: FiO₂ de 0,6 significa 60% de oxígeno en el gas inspirado. No se suele medir. Para ello se requeriría un sensor en la vía aérea del paciente.

Es directamente proporcional al flujo aportado e inversamente proporcional a:

- Resistencia nasal y orofaríngea.
- Volumen corriente
- Entrada de gases atmosféricos

- **Flujo de oxígeno:** volumen de oxígeno que se entrega en la unidad de tiempo.

Se expresa en litros por minuto.

Se regula desde la fuente y se puede medir o conocer.

Fisiopatología de la hipoxemia

La hipoxemia se produce por 4 mecanismos distintos.

1. Alteraciones de la ventilación/perfusión (V/Q): es la causa más frecuente de hipoxemia por alteraciones en la integración entre el espacio alveolar y el lecho vascular.

- **Efecto shunt:** cuando hay ocupación del espacio alveolar (neumonía, atelectasias) u obstrucción de la vía aérea (asma y bronquiolitis), se tiene una disminución de la ventilación con un índice V/Q bajo (aumenta el shunt intrapulmonar).
- **Efecto espacio muerto:** hay descenso de la perfusión en áreas bien ventiladas, el índice V/Q será elevado (disminución del flujo sanguíneo por shock).

La respuesta a la oxigenoterapia depende de la relación V/Q en las diferentes áreas del pulmón y, por tanto, es impredecible.

2. Hipoxemia por hipoventilación alveolar, que puede ser secundaria a un defecto o a una mal función de los centros respiratorios (intoxicaciones, hipoventilación primaria, traumatismos craneales o accidentes cerebrovasculares) o en las enfermedades que alteran la mecánica ventilatoria (enfermedades neuromusculares).

La oxigenoterapia corrige rápidamente la hipoxemia, si bien el objetivo fundamental en estas enfermedades ha de ser la restauración de la ventilación.

3. Hipoxemia por un defecto de difusión en la membrana alveolocapilar: Se debe al engrosamiento de la membrana alveolocapilar (enfermedades intersticiales), pérdida de superficie (enfisema) o llenado alveolar (neumonía).

Disminuye la PaO₂ en el gas inspirado

4. Hipoxemia hipóxica: por una disminución en la presión de O₂ del aire inspirado por una caída en la presión atmosférica (grandes alturas) o por una disminución de la concentración de O₂ del aire, situación que se da por envenenamiento por gases tóxicos, por ejemplo.

Ante una situación de hipoxemia, se desarrolla una serie de mecanismos de compensación dirigidos a preservar el aporte de O₂ a los tejidos. (figura 1).

- **Respiratorio:** incremento de la ventilación alveolar con aumento del trabajo respiratorio, lo que puede conducir al agotamiento de la musculatura respiratoria y al fracaso respiratorio secundario.
- **Cardiológico:** incremento de la frecuencia cardíaca y del gasto cardíaco, lo que favorecerá el transporte de O₂, pero a su vez aumentará el esfuerzo del miocardio y las necesidades de aporte de O₂.
- La hipoxemia crónica determina vasodilatación e hipotensión.
- **Hematológico:** la hipoxemia a largo plazo producirá un aumento en la síntesis de eritropoyetina y, secundariamente, poliglobulia, un fenómeno que va a potenciar el desarrollo de HTP.

Estos fenómenos se deben a la disminución de la afinidad del O₂ por la hemoglobina cuando la PaO₂ disuelta cae por debajo de 55mmHg. Este comportamiento tiene como finalidad facilitar la difusión del O₂ desde la sangre hasta los tejidos, pero al mismo tiempo determina una pérdida en el contenido total de O₂.

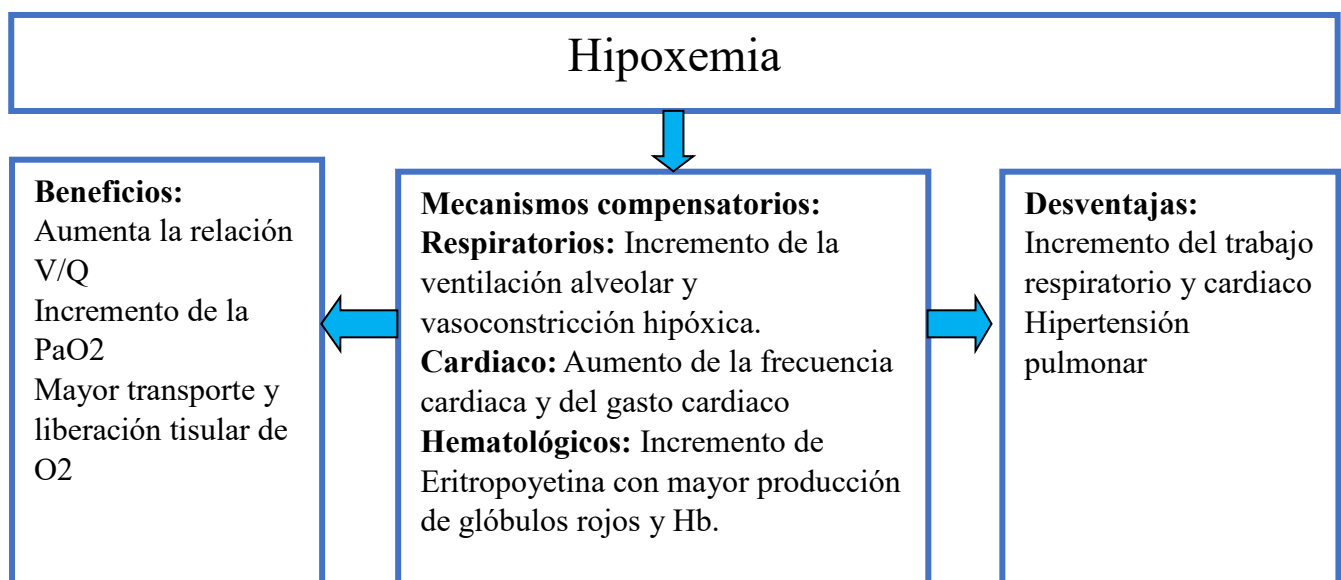


Figura 1. Mecanismos de la hipoxemia.

Cuando aumenta la PaO₂ los mecanismos de compensación natural dejan de ser necesarios, revirtiendo la hiperventilación, la taquicardia y la vasoconstricción hipóxica. Además, al normalizarse el aporte tisular de O₂, se corrigen las alteraciones neurológicas, miocárdicas y renales.

Factores que influyen en la oxigenación tisular:

- **Adecuado intercambio de gases a nivel de la membrana alveolocapilar pulmonar.** La cantidad de oxígeno en el gas inspirado debe ser tal que su presión parcial en el alvéolo alcance niveles suficientes para saturar completamente la hemoglobina.
- **Garantizar un gasto cardíaco** que mantenga un flujo sanguíneo pulmonar uniforme y suficiente para mantener una óptima relación V/Q.
- **Concentración de hemoglobina adecuada en sangre.**

La existencia de una alteración en algunos de estos factores puede producir hipoxia.

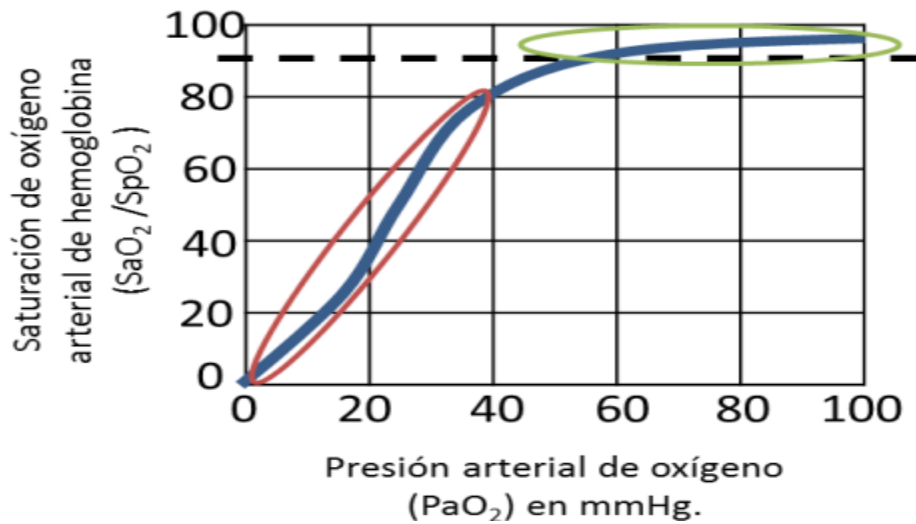


Figura 2. Curva de disociación de la Hb.

Del análisis de esta curva de disociación hemoglobina surge que, por debajo de una PaO_2 de 60, pequeños cambios representan una caída peligrosa en la SO_2 .

En cambio, a una $PaO_2 > 60$, cambios importantes en la PaO_2 solo producen pequeñas modificaciones en la SO_2 , dado que la hemoglobina se encuentra en su estado de oxihemoglobina.

Indicaciones de oxigenoterapia

La indicación absoluta es la documentación de un fracaso respiratorio evidenciada por o PaO_2 inferior a 60 mm Hg o SaO_2 menor al 90% en sujetos que respiran aire ambiente o PaO_2 o SaO_2 por debajo del rango deseable para una situación clínica específica (trauma de cráneo, shock, coronariopatía etc).

Sin embargo, en pediatría no es necesario su diagnóstico gasométrico, bastando solo la presencia de manifestaciones clínicas de hipoxemia.

Manifestaciones de hipoxemia indicativos de oxigenoterapia en paciente pediátrico:

- Saturación de $O_2 < 90$.
- Cianosis central.
- Quejido espiratorio
- Deterioro del sensorio
- Retracciones severas
- Frecuencia respiratoria ≥ 70 / min.
- Aleteo nasal.
- Cabeceo.
- Incapacidad para beber o alimentarse (cuando se debe a problemas respiratorios).

1. Hipoxemia con hipoxia tisular:

1.a. Enfermedades pulmonares: provocan hipoxemia-hipoventilación debido a:

- **Alteración en la relación ventilación-perfusión:** síndrome de distrés respiratorio agudo por neumonías, las bronquiolitis, el asma, atelectasias, edema pulmonar, tromboembolismo pulmonar.
- **Hipoventilación alveolar:** por enfermedades neuromusculares.

La oxigenoterapia corrige rápidamente la hipoxemia, si bien el objetivo fundamental en estas enfermedades ha de ser la restauración de la ventilación

1.b. Enfermedades cardíacas con cortocircuito derecha-izquierda (extrapulmonar): es el caso de las cardiopatías congénitas cianozantes con cor pulmonale, fístulas arteriovenosas, tromboembolias, etc. Cuando el shunt supera el 20%, la hipoxemia persiste pese a la oxigenoterapia.

1.c. Alteración del SNC con hipoventilación alveolar: por deterioro de la conciencia, enfermedades neuromusculares, depresión central y respiratoria por fármacos.

2. Hipoxia tisular sin hipoxemia:

2.a. Bajo gasto cardíaco: anemia, insuficiencia cardíaca y shock.

2.b. Intoxicación por CO (monóxido de carbono): a pesar de una PaO₂ normal, la administración de O₂ es beneficiosa debido a su competencia con el CO en su unión a la hemoglobina, que logra reducir la vida media de la carboxihemoglobina (de 320 a 80min).

Patología crónica

El objetivo de SO₂ en patologías crónicas sería mayor al 92%, lo cual, garantiza un conseguir un adecuado desarrollo y un crecimiento del niño.

- **Enfermedades pulmonares:** displasia broncopulmonar, enfermedad pulmonar crónica neonatal, hipoplasia pulmonar, enfermedades pulmonares intersticiales, fibrosis pulmonar idiopática y quística avanzada, hernia diafragmática congénita, bronquiolitis obliterante, bronquiectasias, enfermedad pulmonar restrictiva.

En patologías que cursan con hipercapnia e hipoxia crónica, administrar oxígeno a altas concentraciones, puede disminuir el impulso ventilatorio y/o agravar el fallo respiratorio por hipercapnia.

- **Hipertensión pulmonar primaria o secundario a:**

- Cardiopatías congénitas cianotizantes con HTP, hipertrofia del ventrículo derecho.

En las cardiopatías cianosantes sin HTP, la oxigenoterapia domiciliar es poco útil porque no resuelve la baja SatO₂ debida al *shunt* intracardíaco. Si el niño está pendiente de cirugía correctora o trasplante cardíaco y presenta HTP que aún revierte con O₂, puede beneficiarse de su administración.

- Enfermedad pulmonar (tromboembolismo pulmonar, conectivopatías, etc.).

La oxigenoterapia, al evitar los daños endoteliales y de la musculatura vascular producidos por la hipoxia mantenida, puede enlentecer el progreso de la enfermedad.

- **Enfermedad pulmonar restrictiva:** enfermedades neuromusculares (distrofias musculares), de la pared torácica (cifoescoliosis severa).

La hipoxia transitoria o persistente suele deberse a la formación de atelectasias secundarias a los escasos volúmenes corrientes que movilizan. En estos pacientes la oxigenoterapia sin presión positiva puede empeorar su insuficiencia respiratoria.

- **Obstrucción de la vía aérea superior:** síndrome de apnea e hipopnea del sueño (desaturación inferior al 90% durante más del 20% del tiempo de registro), secundario a malformaciones craneofaciales, a trisomía 21 o a obesidad mórbida. Estas enfermedades se benefician más de la ventilación no invasiva, controlando si hay hipercapnia o si ésta aumenta con la administración de O₂.

Beneficios de la oxigenoterapia:

- Corrección del estado hipóxico tisular.
- Mejora el funcionamiento de todos los sistemas.
- Incrementa la energía (él oxígeno brinda un 90 % de la energía corporal, los alimentos solo el 10 % restante).
- Mejora la digestión, el trabajo metabólico, la memoria y el rendimiento físico.
- Reduce la fatiga, mejora el descanso y el sueño natural.
- Fortalecer el sistema inmunológico.
- Estimulación de los procesos biosintéticos y reparativos mediante la reproducción celular, la angiogénesis capilar, la proliferación de fibroblastos y la síntesis de colágeno.
- Modulador del proceso de osteogénesis.
- Potencia la acción de ciertos antibióticos: Aminoglucósidos, Vancomicina y Sulfonamidas entre otros.
- Bactericida directo sobre gérmenes anaerobios y bacteriostáticos.
- Detiene la producción de alfa toxina por los gérmenes anaerobios y ayuda a su filtración de la sangre.
- Rompe la acción sinérgica propia de las infecciones por flora bacteriana mixtas
- Restablecedor de la capacidad fagocítica de los leucocitos PMN.

Efectos beneficiosos de la oxigenoterapia domiciliar en lactantes con enfermedad pulmonar crónica:

- Menor frecuencia de desaturaciones de O₂ intermitentes.
- Menor riesgo de muerte súbita.

- Disminución de la HTP.
- Reversión de la enfermedad obstructiva pulmonar.
- Prevención del cor pulmonale.
- Efecto positivo sobre el crecimiento y el desarrollo neuropsicológico.

Procedimiento de administración de oxígeno

El estado del paciente, la causa y la severidad de la hipoxemia determinan el dispositivo para la administración de oxigenoterapia.

Por ser el oxígeno un medicamento, debe ser administrado según cinco principios fundamentales: dosificado, continuado, controlado, calentado y humidificado.

Preparación del material:

1. Toma o fuente de oxígeno central de pared o cilindro de oxígeno gaseoso o líquido o concentrador de oxígeno.
2. Manómetro y manorreductor conectados al cilindro: con el manómetro se mide la presión a la que se encuentra el oxígeno dentro del cilindro y con el manorreductor se regula la presión a la que sale el oxígeno del cilindro.

En los hospitales, el O₂ que procede del tanque ya llega a la toma de O₂ con la presión reducida, por lo que no son necesarios ni el manómetro ni el manorreductor.

3. Flujómetro: Se acopla al manorreductor y sirve para controlar el flujo que sale de la fuente de suministro de oxígeno al paciente.

El flujo viene indicado mediante una «bolita» que sube o baja por un cilindro que también posee una escala graduada.

4. Humidificador – calentador de O₂: el O₂ se guarda comprimido y para esto hay que licuarlo, enfriarlo y secarlo.

Es un recipiente que va unido al flujómetro y se le introduce agua destilada estéril hasta aproximadamente dos tercios de su capacidad.

Está indicado a partir de un flujo de 4lpm, ya que seco irrita y deshidrata la mucosa respiratoria.

Su mayor riesgo es la contaminación bacteriana.

Fuentes de oxígeno

Oxígeno central: el gas se encuentra en un depósito central (tanque) que está localizado fuera de la edificación hospitalaria. Desde el tanque parte un sistema de tuberías que distribuye el O₂ hasta las diferentes dependencias hospitalarias.

Bombonas de O₂ gaseoso: Son cilindros de acero que contienen O₂ comprimido en forma gaseosa a una presión de 2×10^4 kPa. En función del flujo utilizado requiere recambios cada 2 a 4 días. Son muy voluminosas e impiden la autonomía del paciente por su elevado peso. Hay cilindros de 400 y de 1.000l con una duración entre 2 y 8hs, respectivamente.

Concentrador de O₂: se compone de un compresor eléctrico que hace pasar el aire ambiente a través de un filtro, que por absorción y por las diferencias de pesos moleculares entre el nitrógeno y el O₂ retiene el nitrógeno y proporciona una concentración de O₂ superior al 90% (administrado a un flujo de 2l/min). La ventaja más importante es que permite la movilidad del paciente (conexión de 15 a 20m) y que no precisa recambios. Es, en la actualidad, la fuente de O₂ más utilizada.

No es posible su empleo cuando se requiere un flujo de O₂ superior a 3l/min (figura 3).



Figura 3. Concentrador de oxígeno (O₂) y mochila de O₂ líquido.

Oxígeno líquido: el O₂ líquido a temperaturas muy bajas ocupa menor volumen, de modo que un litro de O₂ líquido libera 850l de O₂ gaseoso a presión y a temperatura ambiente. Se han desarrollado pequeños tanques para la distribución domiciliar de unos 40kg de peso y de unos 20 a 40l de O₂ líquido. Tienen que recargarse semanalmente. El paciente tiene el tanque nodriza y un dispositivo portátil que va recargando 1,3l de O₂ y que pesa unos 3,5kg y le ofrece una autonomía de 7 a 8h a un flujo de 2l/min.

Los tanques y las mochilas se vacían espontáneamente a medida que pasa el tiempo por pérdidas espontáneas (el tanque en 50 días).

Precauciones de uso de los dispositivos de oxígeno:

- Mantener la vía aérea permeable, libre de secreciones.
- Equipo necesario: dispositivos de oxígeno indicado, humidificador, agua destilada, fuente de oxígeno y flujómetro.
- Vigilar acodamiento de las conexiones
- Si se utiliza la humidificación debe establecerse un seguimiento y cambio de las soluciones de humidificación cada 24hs, con el fin de evitar contaminación.
- Revisar el flujómetro y los litros de oxígeno indicados.

Sistemas de aporte de oxígeno

La oxigenoterapia en pacientes con ventilación espontánea se administra mediante diferentes dispositivos. Su finalidad es aumentar la concentración de oxígeno inspirado o fracción de O₂ (FiO₂).

Estos son las interfases que llevarán el O₂ al paciente, y éstas deberán escogerse de forma individualizada en función de las necesidades de cada paciente, tanto clínicas, de edad como de grado de tolerabilidad y cumplimiento.



Figura 3. Dispositivos de oxígeno.

De acuerdo con el flujo administrado, se clasifican en dos grupos: sistemas de bajo y alto flujo.

Sistemas de bajo flujo

Los dispositivos de bajo flujo suministran O₂ a un flujo menor que el flujo inspiratorio del paciente, es decir, un porcentaje de la totalidad del gas inspirado.

El paciente para alcanzar su volumen inspiratorio máximo o flujo pico lo toma del medio ambiente, por lo que, el O₂ administrado se mezcla y diluye con aire ambiente, aportándose una FiO₂ variable y fluctuante según frecuencia respiratoria y volumen corriente del niño, del dispositivo y flujo administrado.

Este método se utiliza cuando el volumen corriente del paciente está por encima de las $\frac{3}{4}$ partes del valor normal y si el patrón ventilatorio es estable. En los pacientes en que no se cumplan estas especificaciones, se deben utilizar sistemas de alto flujo.

Dentro de los sistemas de bajo flujo se encuentran:

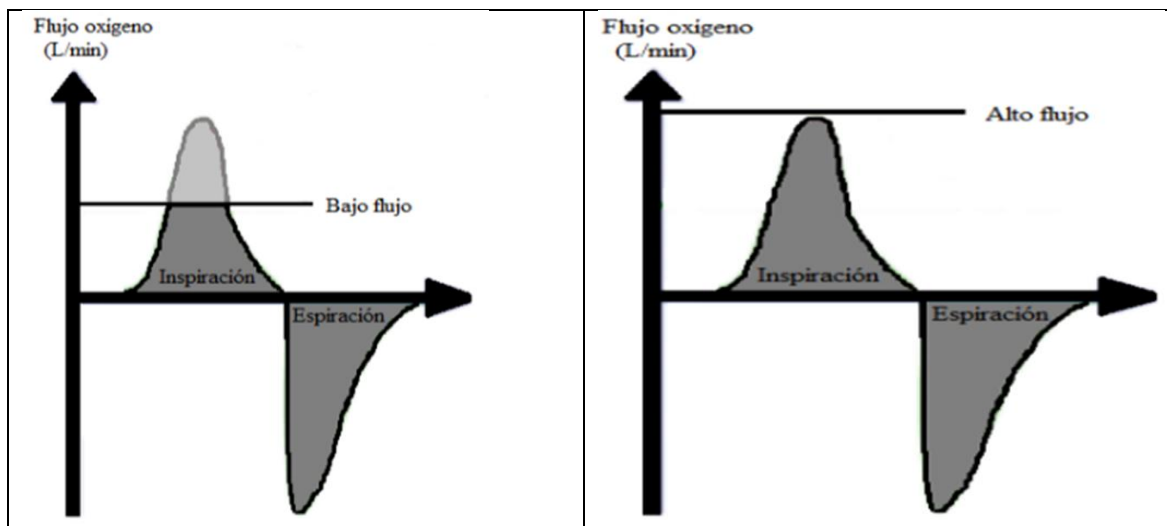
- Cánula nasal.
- Máscara de flujo libre.
- Máscara con reservorio con re-inhalación parcial.

En la población **pediátrica la estimación de la FIO₂ en equipos de bajo flujo se puede determinar mediante la fórmula documentada por Finer y cols, para efectos de cálculo consideraron un volumen corriente (V_t) de 5-7 ml O₂/kg, volumen minuto equivale al Volumen corriente por frecuencia respiratoria, ver tabla 5. (10)**
Estimación de FiO₂ proporcionada por sistemas de bajo flujo en población pediátrica (7)

FIO₂ estimada: Flujo de oxígeno (ml/min x 0.79) + (0.21 x Volumen minuto) X 100
Volumen minuto

Estimación de FiO₂ proporcionada por sistemas de bajo flujo (5) Para los pacientes adulto con una frecuencia respiratoria y patrón ventilatorio normal, cada 1 L/min de O₂ nasal, la FIO₂ aumenta aproximadamente 4%. Por ejemplo, un paciente que usa una cánula nasal a 4 L/min tiene una FiO₂ estimada de aproximadamente 37% (21 + 16).

Bajo flujo:	Alto flujo
--------------------	-------------------



Sistemas de alto flujo

El sistema de alto flujo proporciona un flujo mayor que el flujo inspiratorio máximo del paciente, por lo que, el paciente recibirá la totalidad del gas inspirado por el sistema sin que haya mezcla con aire ambiental.

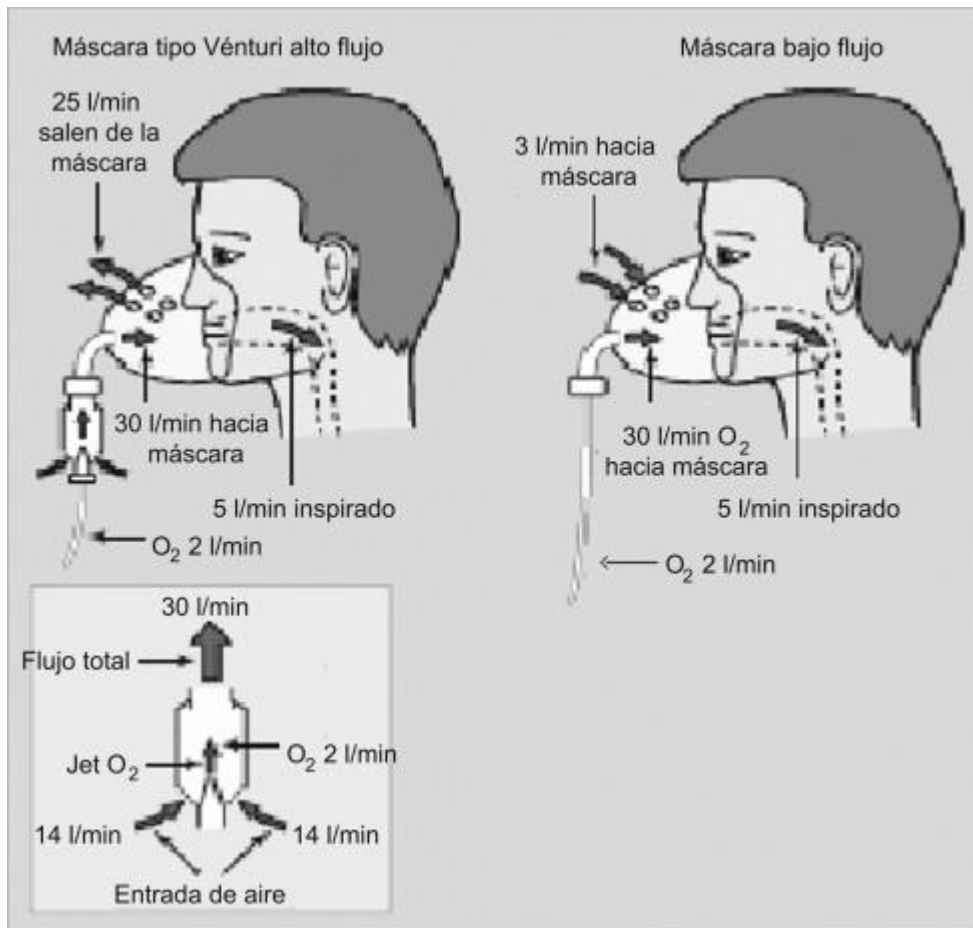
El sistema proporciona una FIO₂ conocida entre 24-50%, precisa y constante, independientemente de las alteraciones del patrón respiratorio del paciente.

Dentro de los sistemas de alto flujo se encuentran:

- Máscara de Vénturi o de flujo controlado.
- Máscara con reservorio con válvulas, de no reinhalación.
- Catéter nasal de alto flujo (CNAF).
- Máscaras de traqueostomía, los adaptadores de tubo en T para tubos endotraqueales y las tiendas faciales si se conectan a un sistema Venturi. Requieren humidificadores de aerosol (micronebulizado) o humidificadores de cascada o reservorios.

La máscara de Vénturi y máscara con reservorio de no reinhalación: utilizan el sistema Vénturi, con base en el principio de Bernuolli, por el cual el equipo mezcla en forma estandarizada el O₂ con aire proveniente del ambiente a través de orificios de diferente diámetro.

La cánula nasal de alto flujo: logran la mezcla a través de un mezclador. Se suministra al paciente una FiO₂ conocida.



- Figura 4. Diferencia entre las máscaras de bajo y alto flujo.

Dispositivos para administración de oxígeno

Oxigenoterapia en cánula nasales:

Es la interfase más utilizada y mejor aceptada por el paciente.

Son una doble cánula de plástico flexible o silicona de poco peso que consta de una tubuladura, una zona central con dos tutores, que se introduce en las fosas nasales.

Existe el tamaño neonatal, pediátrico y adulto.

Puede suministrar una FIO₂ variable en un rango entre 24% al 44%, en función del flujo utilizado y del volumen minuto del paciente. Ejemplo: 24% con O₂ a 1 l/min, 28% con O₂ a 2 l/min, 32% con O₂ a 3 l/min, 36% con O₂ a 4 l/min, 40% con O₂ a 5 l/min y 44% con O₂ a 6 l/min

En pediatría se recomienda utilizar flujos hasta 3 L/min (32% de FIO₂), debido a que flujos más elevadas pueden producir sequedad de mucosas, irritación nasal y epistaxis, cefalea, distensión gástrica, además de no aumentar la FiO₂. En estos casos debe utilizarse un frasco humidificador.

Es adecuada para uso tanto a corto como a largo plazo en pacientes que requieren bajos rangos de FIO₂, tales como niños con displasia pulmonar, pacientes con EPOC y con fallo cardíaco.



Figura 1. Dispositivo de bajo flujo. Cánulas nasales simples.

Ejemplo:

Niño de 20 Kg: FR 40 rpm.

VM respiratorio: FR x VC (normal 6-8 ml/kg)

VC: $6 \times 20 = 120$ ml

VMR: $40 \text{ rpm} \times 120 \text{ ml} = 4800 \text{ ml/min}$ o 4,8 L/min

Si aportamos un flujo de 2 L/min deberá incorporar aire ambiente para salisfacer sus necesidades.

Si tenemos un niño de 4 kg con una FR de 40 rpm

VC: $6 \times 4 \text{ kg} = 24 \text{ ml}$

VMR: $40 \text{ rpm} \times 24 \text{ ml} = 960 \text{ ml/min} = 0,96 \text{ L/min}$

Si aportamos un flujo de 2 L/min todo el volumen minuto esta cubierto por el flujo del oxigeno aportado.

Mascarilla simple de oxígeno

Se trata de una mascarilla que cubre boca y nariz.

Dispone de 2 orificios laterales por donde entra el aire ambiente y sale el aire espirado.

Requiere de un flujo de O_2 entre 5-10 l/min aportando una FiO_2 variable por el ajuste de la máscara, el flujo y patrón ventilatorio del paciente, alcanzando aportes entre 0,3 a 0,6.

Es necesario mantener un flujo mínimo de 5l/min con el fin de evitar la reinhalación de CO_2 secundario a la acumulación de aire espirado en la máscara.

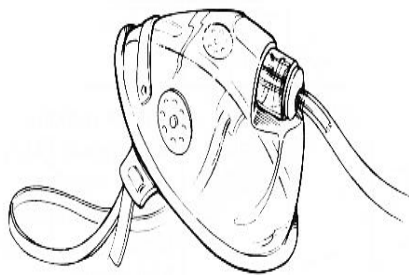


Figura 2. Dispositivo de bajo flujo. Mascarilla de oxígeno asociada a nebulizador.

Mascara reservorio de reinhalación parcial (sin válvulas):

Consiste en una máscara simple con una bolsa de reservorio en su extremo inferior de 600 a 800 ml, en la cual, se concentra oxígeno y hasta 1/3 del aire exhalado por el paciente.

El flujo de O_2 debe ser siempre entre 10 y 15 l/min para asegurar el insuflado completo del reservorio y evitar su colapso durante la inspiración.

Se logra una concentración de oxígeno o FIO₂ variable del 35% al 60% al mezclarse el O₂ de la máscara del depósito del reservorio y del aire ambiente que ingresa a través de sus puertos laterales y dependiendo del patrón ventilatorio y flujo de O₂

Está indicada en procesos de hipoxia moderada en pacientes que requieran FiO₂ media-altas, que presenten enfermedad pulmonar crónica agudizada y durante un periodo no superior a 48hs.

El término de reinhalación parcial se refiere a que el primer tercio del gas espirado entra en la bolsa de reservorio, con un alto contenido de O₂ y bajo CO₂ que se retiene y el restante gas es exhalado por los puertos de la mascarilla.

El reservorio permite mayor concentración de oxígeno en la mezcla gaseosa.



Figura 3. Dispositivo de bajo flujo. Mascarilla asociada a bolsa reservorio.



	Canula nasal	Mascara simple	Mascara reservorio de reinhalacion parcial
Ventaja	Económicas, fáciles de colocar, desechable, cómodas, no	se considera ligera, fácil de poner, desechable, no	es efectiva al lograr altas concentraciones de oxígeno.

	produce claustrofobia, permite la alimentación y la comunicación del paciente.	retiene CO ₂ y no impide la movilidad. Permite administrar medicamentos. Mayor seguridad en el traslado	Es desechable, fácil de instalar y ligera. No requiere humidificación.
Desventaja	La FIO ₂ disminuye en respiradores bucales o durante el sueño. Riesgo de obstrucción por secreciones. Deslizamiento externo. Su uso durante un tiempo prolongado puede causar laceraciones en la piel por presión en las zonas de contacto (mantener la piel bien hidratada).	claustrofobia, dolor o irritación y úlceras de presión en sitio de aplicación cuando se emplea por un largo plazo. Úlcera corneal ante el contacto de la mascarilla sobre los ojos. Dificulta la alimentación (debe utilizar cánula de O ₂ para evitar hipoxemia) y la comunicación.. Puede fugar oxígeno si el tamaño no se adapta.	poco tolerada por los pacientes, dificulta la expectoración, incomoda en trauma o quemaduras faciales y puede producir resequedad o irritación en los ojos. Imposibilidad de conocer la FiO ₂ entregada. Su uso debe ser por períodos breves de tiempo, debido a que el O ₂ a altas concentraciones es tóxico a nivel pulmonar y podrían provocar retención de CO ₂

Mascara con reservorio y válvula de no reinhalación:

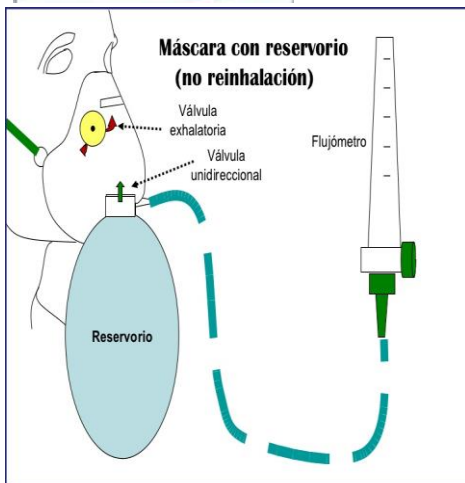
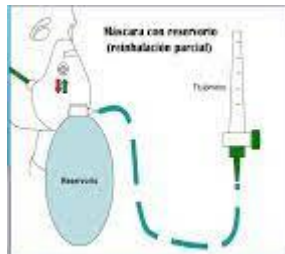
Este tipo de mascarilla incorpora válvulas unidireccionales sobre la bolsa de reservorio impidiendo que el aire exhalado entre al reservorio y sobre los puertos laterales con un efecto valvular con un efecto valvular:

- Se abren durante la espiración para la salida de aire, evitando así su reinhalación
- Permanecen cerrados durante la inspiración para evitar la entrada y contaminación con aire ambiente, permitiendo el aporte de mayores FiO₂, entre 0,6-0,9.

Ventaja: No retiene CO₂, durante la espiración el gas no por las válvulas unidireccionales no ingresa al reservorio y es eliminado por la válvulas laterales

No requiere humidificación.

Desventajas: requiere revisión para el correcto funcionamiento de las válvulas, el factor tiempo y humedad pueden hacer que estas se cierren en una posición abierta o cerrada que sea inadecuada para su funcionamiento. es poco tolerada, dificulta la expectoración y puede producir irritación de ojos.



Máscara Venturi o de arrastre de aire:

Es una máscara que cubre boca y nariz, asociado a una boquilla de chorro debajo de la máscara y orificios de arrastre que actúan como regulador de FiO_2 .

Son máscaras de flujo controlado y FiO_2 fija.

El flujo de oxígeno pasa a través de la boquilla de chorro y por las aberturas laterales arrastra a alta velocidad el aire ambiente y de ahí por el orificio jet se que entrega dicha mezcla al paciente.

Este regulador determina una FiO_2 deseada y constante, a través de una mezcla graduada y controlada de O_2 y aire ambiente, según el diámetro del orificio de comunicación, los puertos de arrastre, del flujo de O_2 y es independiente del patrón respiratorio del paciente..

En la válvula se indica el flujo que se debe colocar y la FiO_2 resultante

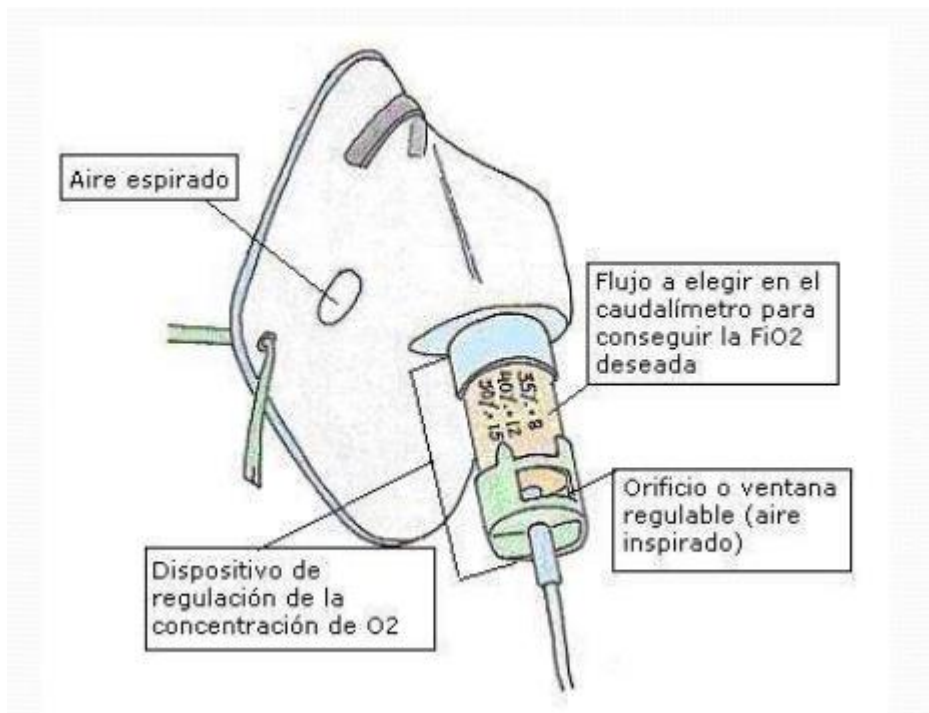
Ejemplos: FiO_2 24 a 3L/min, 28% a 6 L/min, 31% a 8L/min , 35% a 12 L/min, 40% y 50 % a 15 L/min.

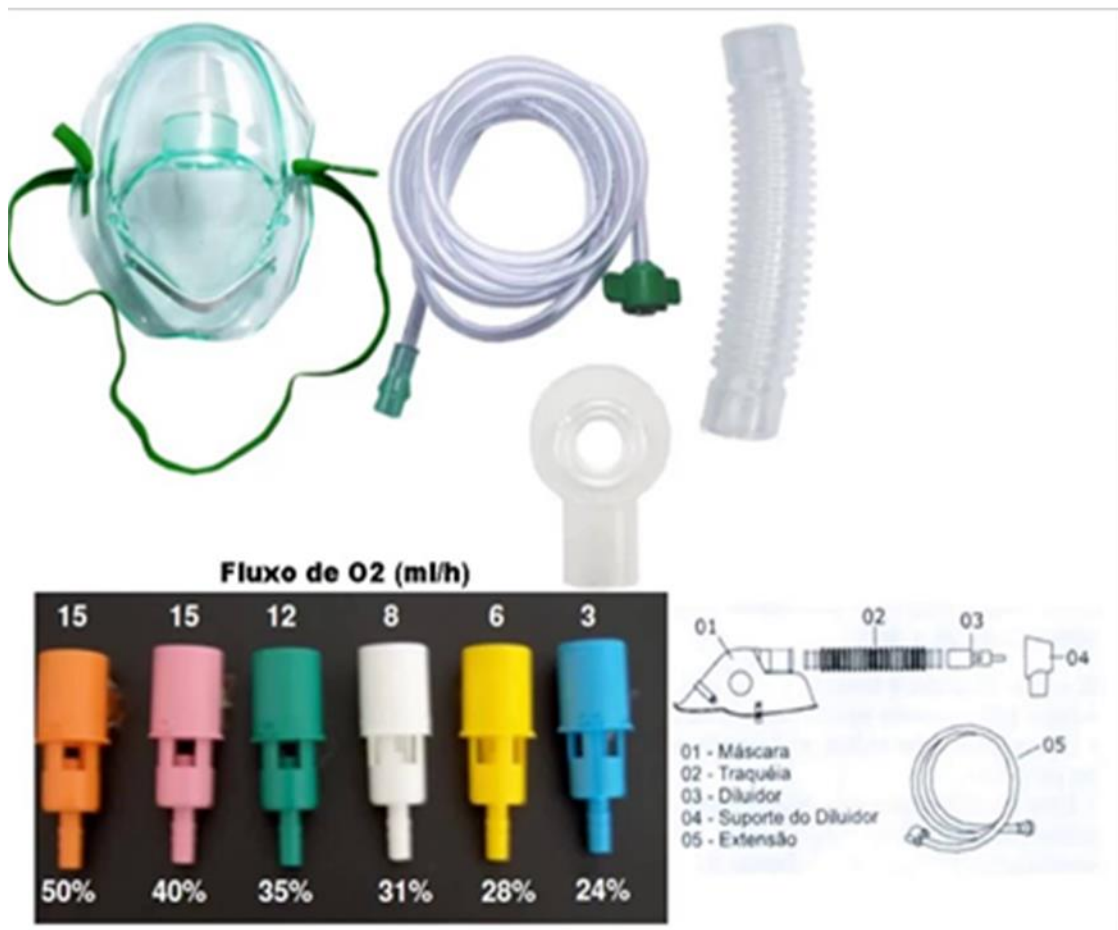
El exceso de gas y el CO_2 respirado sale de la máscara por el mango perforado evitando la inhalación de CO_2 .

Es necesario mantener un flujo mínimo de 5 litros por minuto, para evitar la reinhalación del CO_2 , secundaria a la acumulación de aire espirado en la máscara.

Debe utilizarse siempre con humidificación, mediante frasco lavador.

Este tipo de equipo de oxigenoterapia es ideal para suministrar una FiO_2 precisa a pacientes que requieren aportes menores de 0.35 de O_2 ; pacientes con enfermedad pulmonar crónica que hipoventilan cuando se exponen a altos valores de FiO_2 también son candidatos, pacientes con altas y cambiantes demandas ventilatorias. Se utiliza de preferencia en pacientes que retienen CO_2 , en quienes concentraciones altas de O_2 pueden determinar hipoventilación.





Figura

5. Dispositivo de alto flujo. Mascarilla de efecto Venturi. Regulador de FIO₂.

Cada dispositivo, en función del modelo comercializado, dispone de una **tabla orientativa** para ajustar el flujo de oxígeno.

Ventajas: se suministra una concentración exacta de oxígeno independiente del patrón respiratorio del paciente y aun cuando la llave del flujómetro se mueve accidentalmente. Para puede cambiarse los adaptadores jet o girar el dial, según el adaptador que se esté usando. No produce sequedad de mucosas.

Desventajas: puede dar sensación de calor y confinamiento. Puede irritar la piel.

La concentración de O₂ puede variar si no se ajusta adecuadamente la mascarilla, si se angulan los tubos conectores, si se obstruyen los orificios de arrastre por la ropa y otros elementos o del jet con basura, impidiendo el paso del flujo de O₂ o si se aplica un flujo de O₂ inferior al recomendado

Puede acumular secreciones mucosas dentro de la misma.

Impide al paciente comer y hablar.

Halo o tiendas de campana

El halo es un dispositivo cilíndrico, plástico, transparente y abierto en sus extremos, genera un flujo en espiral. Posee una abertura para el cuello del niño en la parte inferior y otra para la entrada del tubo corrugado de O₂ al cual se le conecta una pieza en T. Este orificio está ubicado a una distancia de 5-7 cms de la base, produciendo un flujo ascendente.

Debe ser usado junto con un mezclador de oxígeno, un humidificador y un calentador.

Reciben oxígeno desde un sistema de humidificación de alto flujo o bien de un sistema Venturi de 3 a 15 l/min consiguiendo una FiO₂ constante entre 0.24 a 0.9 y no retiene CO₂ dado el alto flujo de O₂

Se emplea principalmente para administrar O₂ a lactantes menores de 18 m.



Ventajas:	Desventajas:	Precauciones
Es bien tolerado Permite la manipulación del niño, lo cual garantiza una FIO ₂ estable en cualquier concentración.	Limitación de acceso al niño Dificulta la alimentación Dificultad en la atención de enfermería No permite grandes movimientos para el niño Enfriamiento en R N y lactantes menores Presentan reducida interacción con el medio.	Usar solamente agua bidestilada Verificar el funcionamiento del filtro del nebulizador y permeabilizar cuando sea necesario Cambiar el circuito cada 24 hs Vaciar cada cierto tiempo el agua depositada en las paredes del tubo corrugado, evite que este se acode Mantener en lo posible al niño en posición semi-Fowler Mantener la piel del cuello seca y limpia, así también la ropa de cuna de la zona cefálica

Campana de oxígeno

Es una campana cerrada y compacta que se utiliza en lactantes. Proporciona un alto grado de humedad y funciona como un sistema de alto flujo si se conecta a un sistema Venturi.

Es indispensable utilizarla con un nebulizador.

Desventajas: dificulta la alimentación y dificultad para su aplicación en niños activos. Se recomienda eliminar la condensación acumulada en los tubos por lo menos cada 2 h y si se utiliza calentador, asegurar una temperatura de 34,5 a 35,6°C en el interior de la cámara con controles cada 4hs.

Tienda facial

La tienda facial son de material plástico que encierran al paciente pediátrico, funciona como un sistema de alto flujo cuando se acopla a un nebulizador Venturi, lo cual disminuye el riesgo de reinhalación de CO₂. Es útil en pacientes que no toleran la mascarilla facial o en caso de traumatismo facial.

Es poco práctica para tratamiento a largo plazo debido a que en algunos pacientes produce sensación de calor y de confinamiento.

Tubo en T

El tubo en T funciona como un sistema de recirculación parcial en pacientes intubados con tubos endotraqueales

Ventajas: es ligera, produce una alta humidificación.

Desventaja

- Puede acumularse agua en las conexiones
- A bajo flujo induce reinhalación del gas inspirado
- Favorece la tracción sobre el traqueostoma

Máscara de traqueostomía

Proporciona un alto grado de humedad. Debe eliminarse la condensación acumulada, por lo menos cada 2 h, con el propósito de evitar el drenaje hacia la traqueostomía. La mascarilla debe limpiarse cada 4 h con agua puesto que las secreciones acumuladas producen infección en el estoma.

El orificio frontal de la máscara permite la aspiración de secreciones y no debe ocluirse. Se recomienda evitar el uso de aerosoles calientes en traqueostomías recientes por el riesgo de causar hemorragias.

Monitorización de la oxigenoterapia

La detección de hipoxemia puede realizarse mediante dos procedimientos: la gasometría arterial de la PaO₂ (método invasivo) y la SO₂ de la hemoglobina por oximetría de pulso (método no invasivo).

Oximetría de pulso

Método no invasivo que refleja la proporción de hemoglobina oxigenada respecto a la hemoglobina total en sangre.

El oxímetro emite luz en dos longitudes de onda, la hemoglobina absorbe la luz y la transmite a un detector. El fotodetector mide la cantidad de luz que atraviesa los tejidos, y con la ayuda de un microprocesador se calcula el porcentaje de hemoglobina saturada (saturación de O₂).

Los rangos normales de SO₂ a nivel del mar fluctúan entre 97-99%, con un límite mínimo de 92-93%. Debe mantenerse una saturación de O₂ entre 93% y 95%, con la menor FiO₂ posible. Para suspender la oxigenoterapia, es necesario disminuir gradualmente la FiO₂ aportada, evitando la suspensión de O₂ en forma brusca.

Tabla Ventajas y desventajas de la oximetría de pulso:

Ventajas	Desventajas
- No invasiva, permite una monitorización continua. - Disminuye el número de muestras arteriales. - Método sencillo, barato, de fácil acceso. - Fiable para valores entre 80% a 100%.	- No valora la ventilación. - La saturación no se afecta hasta que la PaO₂ cae por debajo de 60 mm Hg. - Medición falsa en presencia de metahemoglobina o carboxihemoglobina, o ante cifras altas de bilirrubina. - Puede haber errores en la medición causados por mala perfusión periférica, movimientos excesivos del niño, luz ambiental intensa, interferencias con otros aparatos eléctricos.

Técnica:

- Tranquilizar al niño.
- Utilizar el sensor de tamaño adecuado a la edad.
- Verificar que la piel esté cálida y seca.
- Lograr una onda pletismografica uniforme y estable, verificando que la frecuencia cardíaca que indica el saturómetro concuerde con la que tiene el niño.

Gasometría

Puede realizarse de sangre venosa o arterial. La gasometría venosa permite evaluar al niño con insuficiencia respiratoria mediante la valoración del pH y la pCO₂.

Tabla : Valores normales de gasometría arterial y venosa

	Gasometría arterial	Gasometría venosa
pH	7,38–7,42	7,36–7,40
pO ₂	90–100 mmHg	35–45 mmHg
pCO ₂	35–45 mmHg	40–50 mmHg
SatO ₂	95–97%	55–70%
HCO ₃	21–29 mmol/l	24–30 mmol/l
BE	-2 a +2	-2 a + 2

Si se dispone de datos confiables de saturación, no es necesaria la punción arterial, que es muy dolorosa.

• PaO_2 : presión parcial arterial de oxígeno. Permite medir de forma indirecta la cantidad de oxígeno disuelto en el plasma.

Valores normales: 80-100 mmHg en sangre arterial y 40 mmHg en sangre venosa (FiO_2 0,21).

Nombre	Fórmula	Valores de normalidad (VN)
Transporte de oxígeno		
PaO_2	Oxígeno disuelto en plasma	80-100 mmHg Hipoxemia aceptable 60-80 mmHg; hipoxemia grave 40-60 mmHg; hipoxemia crítica < 45 mmHg (con FiO_2 0,21)

• Cociente $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$: proporciona un mayor grado de información respecto a la PaO_2 . A mayor PaO_2 y menor el aporte de FiO_2 , más positiva será la relación, y refleja una menor gravedad del paciente.

Clasificación del grado de hipoxemia: normal > 300; leve 300-200; moderado 100-200; y grave < 100 (pacientes con PEEP >5 cm H₂O).

• Índice de oxigenación (IO): valora la oxigenación en relación a la FiO_2 y grado de ARM.

Fórmula: $\text{IO} = (\text{FiO}_2 \times \text{PMVA en cm H}_2\text{O}) / \text{PaO}_2$.

Clasificación del daño pulmonar: leve = 4 a 7,9; moderado = 8 a 15,9; y grave ≥ 16 .

• Contenido arterial de oxígeno: resulta de la suma del oxígeno disuelto en plasma y del unido a hemoglobina, en sangre arterial.

• Contenido venoso de oxígeno: resulta de la suma del oxígeno disuelto en plasma y del unido a hemoglobina, en sangre venosa.

• Niveles adecuados de hemoglobina: dado que el oxígeno no se disuelve fácilmente en el agua, y dado que el plasma es un 93% agua, para facilitar su transporte se requiere de su transportador “hemoglobina”.

Contenido arterial de oxígeno	$\text{CaO}_2 = [1,34 \times \text{Hb (g/dl)} \times \text{SvO}_2] + [\text{PvO}_2 \text{ (mmHg)} \times 0,003]$	16-20 ml/dL
Contenido venoso de oxígeno	$\text{CvO}_2 = [1,34 \times \text{Hb (g/dl)} \times \text{SvO}_2] + [\text{PvO}_2 \text{ (mmHg)} \times 0,003]$	12-16 ml/dL

Disponibilidad de oxígeno (DO_2):

El oxígeno pasa a la sangre en el circuito pulmonar, y es transportado a los órganos a través del flujo de sangre, es decir, el gasto cardiaco (Q). Se define como el volumen de oxígeno que alcanza los capilares sistémicos cada minuto.

Consumo de oxígeno (VO_2)

Cuando la sangre alcanza los capilares sistémicos, el oxígeno se disocia de la hemoglobina y es cedido a los tejidos. El ritmo con el que esto sucede se denomina captación y describe el volumen de oxígeno (ml) que abandona el lecho capilar y se desplaza a los tejidos cada minuto.

• Proporción de extracción de oxígeno: fracción de oxígeno proporcionado a los capilares que es captada por los tejidos.

• Saturación venosa mixta (SvO_2): refleja la extracción tisular de oxígeno por parte de los tejidos.

Aporte o distribución de oxígeno			
Aporte o distribución de oxígeno (AO ₂)	AO ₂ = Q (L/min) x 1,34 x Hb (g/dl) x SaO ₂ x 10	520-600 ml/min/m ²	
Captación de oxígeno			
Captación de oxígeno (VO ₂)	VO ₂ = Q(L/min) x (CaO ₂ – CvO ₂) x 10	110-160 ml/min/m ²	Valores aumentados indicarían un aumento en la captación-extracción de oxígeno por parte de los tejidos
Proporción de extracción de oxígeno (PEO ₂)	PEO ₂ = VO ₂ /AO ₂ PEO ₂ = (SaO ₂ – SvO ₂) / SaO ₂	0,20-0,30	
Saturación venosa mixta (SvO ₂)	SVO ₂ = AO ₂ /VO ₂	VN: > 70% Valores inferiores, indicarían un aumento en la captación de oxígeno por parte de los tejidos	

Complicaciones de la oxigenoterapia

La concentración del oxígeno y la duración del tratamiento son factores determinantes.

Toxicidad por oxígeno o microatelectasia

La administración de concentraciones de oxígeno por encima del 50% durante un tiempo prolongado puede provocar en los leucocitos la producción de radicales libres (RLO₂) que eliminan nitrógeno que disminuyen la síntesis de surfactante, alteran la relación V/Q al afectar la membrana alveolo capilar incrementado su permeabilidad con el consiguiente edema, exudación y fibrosis pulmonar.

Estos RLO₂ han sido implicado en la patogénesis de síndromes respiratorios agudos (traqueo bronquitis y SDRA) o crónicos (displasia broncopulmonar con enfisema y fibrosis) y también en la retinopatía (fibroplasia retrolental) en pacientes prematuros.

La exposición a suplementos de O₂ podría alterar la sensibilidad de los quimiorreceptores arteriales y prolongar la latencia de la respuesta ventilatoria a los cambios en la presión arterial de O₂.

Como norma, los niveles de FIO₂ no excederán nunca de 50%, salvo condiciones críticas.

Signos y síntomas tardíos: Sufrimiento retroesternal, parestesias en extremidades, náuseas y vómitos, fatiga, letargo, malestar, disnea, tos, anorexia, intranquilidad, dificultad respiratoria progresiva, cianosis disnea y asfixia.

Los cambios que se observan en la intoxicación por O₂ son disminución de la elasticidad y la capacidad vital y del aumento del gradiente A-a de oxígeno.

Respuestas fisiológicas de individuos sanos a la exposición al oxígeno 100% inspirado	
Tiempo de exposición	Respuesta fisiológica
0-12	Función pulmonar normal
	Traqueobronquitis
	Dolor subesternal
12-24	Disminución de la capacidad vital
25-30	Disminución del compliance pulmonar
	Incremento $P(A-a)PO_2$
	Disminución de PO_2 en ejercicio
30-72	Disminución de la capacidad de difusión

Figura 4. Toxicidad del oxígeno según el tiempo de exposición.

Fibroplasia retro lenticular:

Proceso fibroso detrás del cristalino que se genera por vasoconstricción retiniana provocada por PaO_2 alta. Para prevenirlo hay que conservar en lo posible la concentración de O_2 tan baja como sea posible para mantener PaO_2 adecuada.

Retinopatía del prematuros:

Afecta principalmente a RN pretérmino de menos de 1500 gramos, expuestos a altos niveles de oxígeno, provocándose necrosis de vasos sanguíneos de la retina inmaduros, dada su fragilidad son susceptibles al oxígeno.

Hipoventilación inducida:

La oxigenoterapia debe usarse con especial cuidado en pacientes hipercápnicos (enfermedad obstructiva crónica y depresión del centro respiratorio por uso de sedantes o narcóticos).

La exposición a altos niveles de O_2 en sangre suprime a los quimiorreceptores periféricos que actúan sobre el centro respiratorio.

Atelectasias por absorción:

La disminución de la síntesis de surfactante y de la actividad mucociliar favorecen la formación de atelectasias.

Agravamiento de la hipoxia o hipoxia “rebote”:

Se da ante la supresión brusca del oxígeno suplementario, produciéndose cianosis más marcada. Los órganos más susceptibles: encéfalo, suprarrenales, corazón, riñones e hígado.

Hipotensión arterial:

Ante FIO_2 elevadas se produce una vasodilatación refleja, lo que conlleva una disminución secundaria de la presión arterial.

Infecciones:

Hay que cambiar los equipos de forma rutinaria para minimizar el riesgo de contaminación cruzada, causada por agentes víricos y/o bacterianos, evitando puedan causar infecciones en el paciente.

Otros:

Los flujos superiores a 3 L/min administrados con gafas nasales pueden dar lugar a sequedad y a irritación de la mucosa nasal y ocular.

El O₂ no es un gas inflamable, pero favorece a que ardan otras materias.

Traumatismos en los puntos de apoyo del dispositivo con irritación y úlceras por presión.

Medidas para evitar riesgos de toxicidad:

- Los pacientes con hipercapnia o hipoxia crónica o tienen alteraciones en el centro respiratorio, administrar oxígeno a altas concentraciones, puede disminuir el impulso ventilatorio y agravar el fallo respiratorio por hipercapnia con acidosis respiratoria. Para prevenirlo utilizar flujos reducidos y controlados como máscara de Venturi al 32%. En lo posible utilizar Fio₂ menores al 50% se puede presentar atelectasia de absorción, toxicidad por oxígeno y depresión de la función ciliar y leucocitaria. En prematuros debe evitarse llegar a una PaO₂ de más 80 mmHg. por la posibilidad de retinopatía.
- Evitar la hiperoxia en cardiopatías ductus dependiente el incremento en la PaO₂ puede contribuir al cierre o constricción del conducto arterioso.
- El oxígeno suplementario está contraindicado en intoxicación por paraquat y en pacientes que reciben bleomicina por que incrementa la lesión pulmonar.
- Evitar los sistemas de nebulización y humidificación por el riesgo de contaminación bacteriana.
- Durante la broncoscopia con láser o la traqueotomía, se debe usar FiO₂ mínima para evitar la inflamación intratraqueal.

Conclusiones:

El oxígeno es considerado un fármaco por tanto tiene indicaciones y efectos adversos con manifestaciones toxicas secundarias que se asocian a altas dosis y uso prolongado. Debe ser este administrado según cinco principios fundamentales que son: dosificado, continuado, controlado, atemperado y humidificado. El estado del paciente, la causa y la severidad de la hipoxemia determinan el método a usar para la administración de oxigenoterapia.

La oxigenoterapia es un procedimiento dirigido a la prevención y el tratamiento de la insuficiencia respiratoria, tanto aguda como crónica, en el paciente pediátrico, ya que aumenta el contenido de oxígeno en sangre arterial y permite un trabajo respiratorio eficiente.

Desde el punto de vista hemodinámico, la distribución de oxígeno depende de la relación aporte/consumo, oxihemoglobina, presión parcial de oxígeno en las arterias, perfusión y la difusión de oxígeno.

Para elegir la forma adecuada de oxígeno se debe tener en cuenta los factores manifestados por el paciente, la patología y la respuesta ante la administración, comprobando la eficacia y la efectividad del tratamiento mediante la vigilancia de la saturación, el valor de oxígeno en la gasometría y demás signos y síntomas.

La falta de consenso en muchos aspectos y la escasez de estudios amplios requieren ensayos multicéntricos diseñados apropiadamente para que se puedan obtener pruebas para optimizar el tratamiento con O2 en Pediatría.

Bibliografía:

1. Amaddeo A, Khirani S, Griffon L, Teng T, Lanzeray A, Fauroux B. Non-invasive Ventilation and CPAP Failure in Children and Indications for Invasive Ventilation. *Front Pediatr.* 2020; 8: 544921. doi: 10.3389/fped.2020.544921.
2. Cataño-Jaramillo ML, Jaramillo-Bustamante JC, Florez ID. Continuous Positive Airway Pressure vs. High Flow Nasal Cannula in children with acute severe or moderate bronchiolitis. A systematic review and Meta-analysis. *Med Intensiva.* 2020; S0210-5691: 30324-7. doi: 10.1016/j.medin.2020.09.008.
3. Slubowski D, Ruttan T. High-flow nasal cannula and noninvasive ventilation in pediatric emergency medicine. *Review Pediatr Emerg Med Pract.* 2020; 17: 1-24.