

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS MÉDICAS
ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO**



**COMPARACIÓN DE DOS TIPOS DE OXIMETRÍA
DE PULSO DE FORMA INTERMITENTE EN
EL PACIENTE PEDIÁTRICO**

BÉLGICA BETSABÉ TACAM GARCÍA

Tesis

**Presentada ante las autoridades de la
Escuela de Estudios de Postgrado de la
Facultad de Ciencias Médicas
Maestría en Ciencias Médicas con Especialidad en Pediatría
Para obtener el grado de
Maestra en Ciencias Médicas con Especialidad en Pediatría**

Enero 2020



ESCUELA DE
ESTUDIOS DE
POSTGRADO

Facultad de Ciencias Médicas

Universidad de San Carlos de Guatemala

PME.OI.236.2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE CIENCIAS MÉDICAS

ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

HACE CONSTAR QUE:

El (la) Doctor(a): Bélgica Betsabé Tacam García

Registro Académico No.: 200830469

No. de CUI: 1804174440801

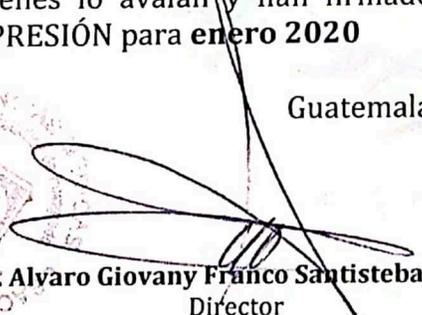
Ha presentado, para su EXAMEN PÚBLICO DE TESIS, previo a otorgar el grado de Maestro(a) en Ciencias Médicas con Especialidad en **Pediatría**, el trabajo de TESIS **COMPARACIÓN DE DOS TIPOS DE OXIMETRÍA DE PULSO DE FORMA INTERMITENTE EN EL PACIENTE PEDIÁTRICO**

Que fue asesorado por: Dr. Carlos Enrique Sánchez Rodas, MSc

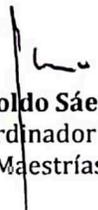
Y revisado por: Dr. Carlos Enrique Sánchez Rodas, MSc

Quienes lo avalan y han firmado conformes, por lo que se emite, la ORDEN DE IMPRESIÓN para **enero 2020**

Guatemala, 15 de noviembre de 2019


Dr. Alvaro Giovany Franco Santisteban, MSc.

Director
Escuela de Estudios de Postgrado


Dr. José Arnoldo Sáenz Morales, MA.

Coordinador General
Programa de Maestrías y Especialidades

/ce

2ª. Avenida 12-40, Zona 1, Guatemala, Guatemala

Tels. 2251-5400 / 2251-5409

Correo Electrónico: especialidadesfacmed@gmail.com

Guatemala, 07 de mayo de 2019

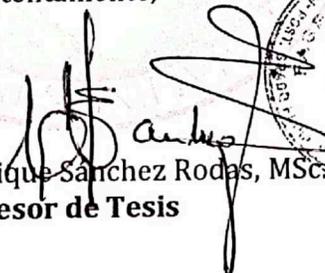
Doctor
Oliver Adrián Valiente Hernández, MSc.
Coordinador Específico
Programa de Maestrías y Especialidades
Facultad de Ciencias Médicas
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente

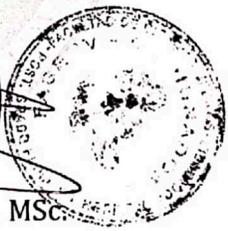
Respetable Dr. Valiente Hernández:

Por este medio informo que he **ASESORADO** a fondo el informe final de graduación que presenta la Doctora **BÉLIGICA BETSABÉ TACAM GARCÍA** carne **200830469**, de la carrera Maestría en Ciencias Médicas con Especialidad en Pediatría, el cual se titula: **COMPARACIÓN DE DOS TIPOS DE OXIMETRIA DE PULSO DE FORMA INTERMINETE EN EL PACIENTE PEDIATRICO.**

Luego de la asesoría, hago constar que la Doctora **BÉLIGICA BETSABÉ TACAM GARCÍA**, ha incluido las sugerencias dadas para el enriquecimiento del trabajo. Por lo anterior emito el dictamen positivo sobre dicho trabajo y confirmo está listo para pasar a revisión de la Unidad de Tesis de la Escuela de Postgrado de la Facultad de Ciencias Médicas.

Atentamente,


Dr. Carlos Enrique Sánchez Rodas, MSc.
Asesor de Tesis



Guatemala, 07 de mayo de 2019

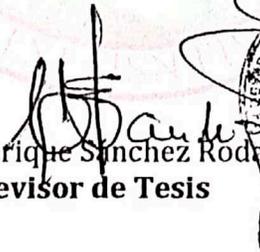
Doctor
Oliver Adrián Valiente Hernández, MSc.
Coordinador Específico
Programa de Maestrías y Especialidades
Facultad de Ciencias Médicas
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente

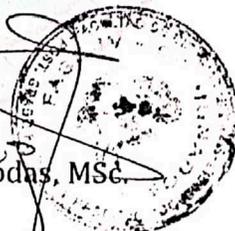
Respetable Dr. Valiente Hernández:

Por este medio informo que he **REVISADO** a fondo el informe final de graduación que presenta la Doctora **BÉLIGICA BETSABÉ TACAM GARCÍA** carne **200830469**, de la carrera Maestría en Ciencias Médicas con Especialidad en Pediatría, el cual se titula: **COMPARACIÓN DE DOS TIPOS DE OXIMETRIA DE PULSO DE FORMA INTERMINETE EN EL PACIENTE PEDIATRICO.**

Luego de la revisión, hago constar que la Doctora **BÉLIGICA BETSABÉ TACAM GARCÍA**, ha incluido las sugerencias dadas para el enriquecimiento del trabajo. Por lo anterior emito el dictamen positivo sobre dicho trabajo y confirmo está listo para pasar a revisión de la Unidad de Tesis de la Escuela de Postgrado de la Facultad de Ciencias Médicas.

Atentamente,


Dr. Carlos Enrique Sánchez Rodas, MSc.
Revisor de Tesis





Facultad de Ciencias Médicas Universidad de San Carlos de Guatemala

A: **Dr. Carlos Enrique Sánchez Rodas, MSc.**
Docente Responsable
Maestría en Ciencias Médicas con Especialidad en Pediatría
Hospital Roosevelt

Fecha Recepción: 27 de mayo 2019

Fecha de dictamen: 29 de agosto 2019

Asunto: Revisión de Informe Examen Privado

Bélgica Betsabé Tacam García

"Comparación de dos tipos de oximetría de pulso de forma intermitente en el paciente pediátrico"

Sugerencias de la Revisión: Autorizar examen privado.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"



Dra. María Victoria Pimentel Moreno, MSc.
Unidad de Apoyo Técnico de Investigación de Tesis
Escuela de Estudios de Postgrado

Cc. Archivo
MVPM/karín

CONTENIDO

RESUMEN

I	INTRODUCCION	1
II	ANTECEDENTES	3
III	OBJETIVOS	18
IV	MATERIALES Y METODOS	19
V	RESULTADOS	26
VI	DISCUSION Y ANALISIS	32
VII	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	37
VIII	ANEXOS	39

INDICE DE TABLAS**PÁGINA**

TABLA 1	26
TABLA 2	27
TABLA 3	27
TABLA 4	28
TABLA 5	28
TABLA 6	29
TABLA 7	29
TABLA 8	30
TABLA 9	31

RESUMEN

La oximetría de pulso es un método con el que se establece la saturación del oxígeno en sangre periférica (SpO₂) en función de la determinación del nivel de absorción de luces infrarrojas, al hacerlas incidir sobre la hemoglobina; convirtiéndose en un instrumento en la atención de pacientes, incorporada en nuestro medio pero sin un proceso de capacitación en paralelo, sus limitación y aplicaciones en pediatría, y en específico en la detección del riesgo de hipoxia en pacientes pediátricos con enfermedad respiratoria aguda.

Objetivo: Evaluar la utilidad del oxímetro de pulso Masimo® avalado por la FDA y oxímetro del pulso de “bolsillo o popular” en la evaluación intermitente, para la detección de hipoxia en pacientes pediátricos con enfermedad respiratoria aguda, ingresados al servicio de infantes y cuarto piso de pediatría de Hospital Roosevelt.

Metodología: Se realizó un estudio analítico transversal, en el que se incluyeron 220 pacientes de 1 mes a 12 años de edad, con enfermedad respiratoria aguda: neumonía bacteriana/viral, bronquiolitis y asma agudizada; se realizaron mediciones con el oxímetro de pulso Masimo® y con oxímetro de “bolsillo”, y así comparar ambos dispositivos.

Resultados: OR 1.1359 IC: 95%: 0.7814 – 1.6513 P=0.5044 esto es traducido a 53% de probabilidad de obtener oximetrías de pulso <88% al utilizar oxímetro de “bolsillo”, sin embargo los límites de IC de 95% están de 0.7814 – 1.6513, no hubo diferencia estadísticamente significativa entre ambos oxímetros de pulso. La utilidad de ambos oxímetros se comparó a través de mediciones de sensibilidad y especificidad del oxímetro de pulso Masimo® y el oxímetro de “bolsillo” vs PaO₂ en gases arteriales (estándar de oro). La sensibilidad del oxímetro de pulso Masimo® fue de 68% (intervalo de confianza [IC] del 95% 59.2-76.3). La especificidad fue del 70% [IC del 95%:60.7-78.3] VPP: 70.9% VPN: 66.4% Razón de verosimilitud (positiva): 2.22. La sensibilidad del oxímetro de pulso de “bolsillo fue del 52% [IC de 95%: 43.04–61.30] y especificidad 48 % [IC de 95%: 36.18-55.24]

Conclusiones: Con el oxímetro de pulso de “Bolsillo” podría tener más probabilidades/asociación de mediciones de SpO₂ <88%, en pacientes con enfermedad respiratoria aguda, sin embargo con respecto a la sensibilidad y especificidad el oxímetro de pulso Masimo® fue mejor que el oxímetro de “bolsillo”.

Palabras clave: Oxímetro, Masimo®, comparación, sensibilidad, especificidad

I) INTRODUCCION

La oximetría de pulso, es la medición del estado de oxigenación, utilizando las propiedades diferenciales de absorción de la luz de la forma oxigenada y no oxigenada de la hemoglobina. Los oxímetros de pulso evalúan la transmisión de la luz roja e infrarroja a través de un tejido translúcido con buen flujo sanguíneo (dedo o pabellón auricular) de manera no invasiva y estiman el porcentaje de oxihemoglobina y hemoglobina no oxigenada en el componente pulsátil de la señal (SpO_2). (1) A partir del cociente de transmisión de luz roja/luz infrarroja se puede estimar la SpO_2 . Durante cada pulsación existe un incremento transitorio del volumen de sangre arterial en el lugar de la medición, lo cual produce una mayor absorción de luz comparada con la absorción basal, que es detectada por el oxímetro. La absorción “basal” se debe a la piel, tejidos blandos y a la sangre venosa mientras que la absorción adicional, en la parte pulsátil, permite estimar de manera muy eficiente el componente arterial. El estándar de oro (SaO_2), es una medición basada en el mismo principio (espectrofotometría) en una muestra de sangre arterial, aunque usando la absorción en general de cuatro diferentes longitudes de onda, en lugar de las dos del oxímetro de pulso. Debido a que el oxímetro de pulso utiliza sólo dos longitudes de onda, no es capaz de diferenciar la oxihemoglobina de la carboxihemoglobina ($HbCO$) y cuando esta última se encuentra en niveles por arriba de 3 a 4%, genera una SpO_2 que se encuentra por sobre el porcentaje de oxihemoglobina (HbO_2) de la sangre.(1)

Aunque la oximetría de pulso se ha convertido en el estándar para la evaluación de oxigenación en el paciente pediátrico con enfermedad respiratoria aguda, las limitaciones técnicas pueden producir bajas lecturas, falsamente indicativas de hipoxemia, esto se debe a que el pulso es menos fiable que la medición de SaO_2 y PaO_2 en sangre arterial, para la detección de hipoxemia o hiperoxia, la oximetría de pulso disminuye su precisión gradualmente cuando las SpO_2 están debajo de 70%. En pacientes anémicos el oxímetro de pulso puede funcionar normal como también dar resultados de SpO_2 bajos. (1)

En la ciudad de Guatemala y en otras ciudades con altitud moderada, la hipoxemia es más frecuente y por lo tanto existe una mayor probabilidad de medir la hipo oxigenación por lo que el objetivo del presente estudio fue analizar la utilidad del oxímetro de pulso Masimo avalado por la FDA ® vs el “oxímetro de bolsillo” en la evaluación intermitente para la detección de riesgo de hipoxia en pacientes pediátricos con enfermedad respiratoria aguda. Determinar la sensibilidad, especificidad de ambos oxímetros vs SaO_2 en gases arteriales (estándar oro), y la asociación entre los valores obtenidos de SpO_2 con el oxímetro de pulso Masimo ® y la hemoglobina, puntaje en la escala de Wood Downes.

Se realizó un estudio analítico transversal en el que se incluyeron 220 pacientes con enfermedad respiratoria aguda (neumonía, bronquiolitis y asma aguda), de los cuales 110 tenían pulsioximetría <88% y 110 con pulsioximetría 88-95%, para la comparación entre el oxímetro de pulso Masimo® vs “bolsillo”; obteniéndose resultados de OR 1.1359 IC: 95%: 0.7814 – 1.6513 P=0.5044 esto es traducido a 53% de probabilidad de obtener oximetrías de pulso <88% al utilizar oxímetro de “bolsillo” sin embargo los límites de

intervalo de confianza de 95% están de 0.7814 a 1.6513, una asociación no estadísticamente significativa.

La pulsioximetría presenta una serie de limitaciones, que pueden proporcionar una información errónea y que, en ocasiones, puede inducir a tomar actitudes terapéuticas, que finalmente, pueden resultar perjudiciales. Entre dichas limitaciones podemos encontrar la hipoxemia. Por lo que la utilidad de ambos oxímetros se evaluó sensibilidad y especificidad, para el oxímetro de pulso Masimo® y el oxímetro de “bolsillo” vs PaO₂ en gases arteriales que se utilizó en este estudio como estándar de oro. Resultados de sensibilidad: 68% y especificidad: 70.9% del oxímetro de pulso Masimo® y con razón de verosimilitud positiva es 2.22 para la detección de pacientes enfermos, vs el oxímetro de pulso de “bolsillo” con sensibilidad de 52% IC de 95%: 43.04 – 61.30 y especificidad 48 % IC de 95%: 36.18-55.24.

En pacientes anémicos el oxímetro de pulso puede funcionar normal como también dar resultados de SpO₂ bajos. (1) La asociación tanto de los niveles hemoglobina como el puntaje de la escala de Wood Downes en los pacientes con enfermedad respiratoria aguda se demostró; no hubo diferencia significativa a menor nivel de hemoglobina (Hemoglobina 8-10g/dl) y SpO₂ <88% y puntajes. Y los puntajes > 5 puntos en la escala de Wood Downes si se asociaron a mediciones bajas de SpO₂ con el oxímetro de pulso Masimo®.

II ANTECEDENTES

Fisiología del intercambio de gases

El transporte de O₂ es el producto del gasto cardíaco y de la cantidad de dicho gas contenido en la sangre. En la sangre más del 97% de las moléculas de O₂ están ligadas de forma reversible con la hemoglobina, siendo la cantidad disuelta una fracción mínima del total, aunque sea la que determine la presión parcial del gas en la sangre. La mayoría del O₂ va unido al hierro de la hemoglobina formando oxihemoglobina. La relación entre la PaO₂ y la cantidad del mismo combinada con la hemoglobina viene descrita por la curva de disociación de la hemoglobina, Figura 1. (2) (3)

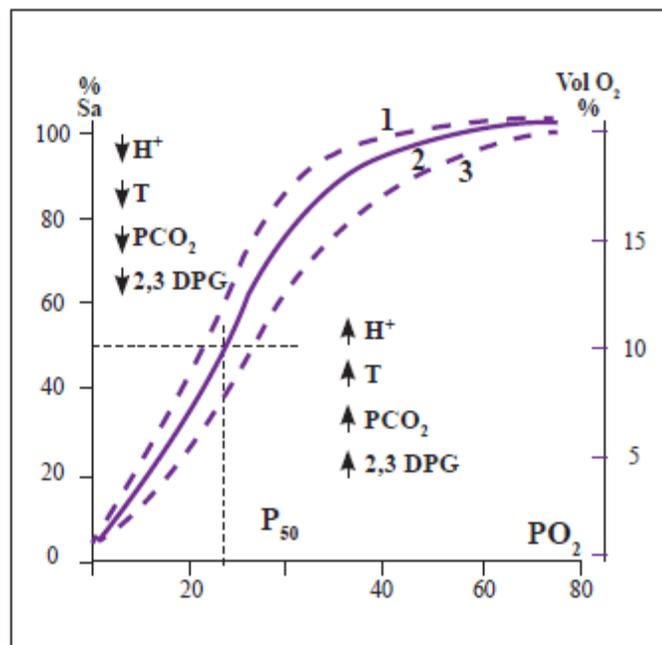


Figura 2. Curva de disociación de la hemoglobina y sus posibles variantes

Podemos observar que cuando la PaO₂ baja de 60 mmHg la cantidad contenida por la sangre se reduce considerablemente, sin embargo, cuando la presión parcial está por encima de dicha cifra sólo se consigue pequeños incrementos del contenido de O₂. (4) Como medida de esta afinidad se utiliza la denominada P₅₀ o cifra de PaO₂ necesaria para saturar la hemoglobina en un 50%. En condiciones normales, su valor oscila entre 26-28 mmHg. Si la curva se desplaza hacia la derecha, es decir, si la P₅₀ aumenta, la afinidad de la hemoglobina para el oxígeno disminuye. El fenómeno contrario se produce si la curva de disociación se desplaza hacia la izquierda (P₅₀ disminuye). (3)

La disminución del pH plasmático o el aumento de la PaCO₂, de la concentración intraeritrocitaria de 2,3 difosfoglicerato (2,3-DPG) o de la temperatura provocan un incremento de la P₅₀, con lo que disminuye la afinidad de la hemoglobina por el oxígeno y se facilita su liberación a los tejidos. La alcalosis, hipocapnia, hipotermia y/o disminución del 2,3-DPG tiene un efecto contrario.(2) (3)

Si conocemos la presión parcial del oxígeno podemos calcular el contenido de oxígeno de la sangre, usando la siguiente relación: (3)

$$CaO_2 = (1,36 \times Hb \times SatO_2\%) + (0,003 \times PaO_2)$$

Donde:

CaO₂ = contenido de oxígeno en sangre arterial (ml de O₂ /100 ml de sangre).

Hb = concentración de hemoglobina (gramos/100 ml de sangre)

SatO₂% = fracción de Hb ligada con el oxígeno.

PaO₂ = presión parcial de O₂ en sangre arterial.

Respecto al CO₂, una proporción significativa de moléculas de la sangre venosa sistémica también están ligadas reversiblemente con la hemoglobina. Sin embargo, la mayor parte de las moléculas o están disueltas en solución, o están involucradas en el equilibrio ácido carbónico-bicarbonato: (3)



Este equilibrio explica las relaciones entre la PCO₂ (reflejado en el número de moléculas de CO₂ disueltas) y el pH sanguíneo (una expresión logarítmica de la concentración de H⁺). La elevación de la presión parcial de CO₂ disuelta desvía este equilibrio hacia la derecha, e incrementa la concentración de H⁺, disminuyendo el pH; al igual que el O₂, el CO₂ alcanza un equilibrio instantáneo con el ácido carbónico-bicarbonato y la carboxihemoglobina. (2)

La igualdad local entre ventilación (V) y perfusión (Q) alveolar es el determinante principal del intercambio gaseoso. La distribución de la ventilación alveolar en relación con el flujo sanguíneo (equilibrio V/Q) optimiza la eliminación de CO₂.

Las relaciones entre ventilación y flujo sanguíneo se muestran de forma esquemática en la siguiente:(3)

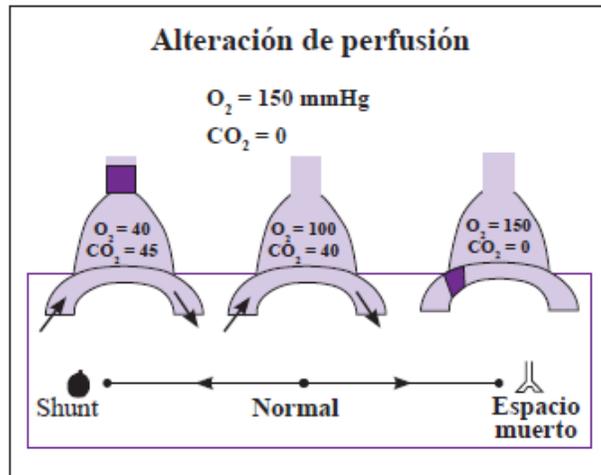


Figura 3. Esquema de las alteraciones de ventilación por alteraciones en la perfusión (3)

Al centro la ventilación y el flujo sanguíneo son uniformes (intercambio ideal del gas), por lo que no hay diferencias de PO_2 alveolo-arterial. En las restantes condiciones existirán diversas alteraciones en la relación V/Q . Sin embargo, el intercambio de gas no es perfecto, aún en el pulmón humano normal. Normalmente es más baja la ventilación alveolar que el flujo sanguíneo, y las relaciones V/Q global en el pulmón es de 0,8. Las zonas pulmonares bajas reciben mayor ventilación y flujo sanguíneo que las zonas superiores. Sin embargo, el gradiente gravitacional, es mayor para la perfusión. Por lo tanto, la zonas pulmonares inferiores tienen por término medio una relación V/Q relativamente más baja, mientras que en las superiores es relativamente más alta. Además, los valores normales para PO_2 , pero no para la PCO_2 , cambian de forma considerable con la edad, siendo ambos influenciados por la altitud. (2)

Fisiopatología de la hipoxemia

La hipoxemia consiste en la disminución de la pO_2 por debajo de 60mmHg , lo que se corresponde con saturaciones de O_2 ($SatO_2$) del 90%. La detección de hipoxemia se consigue con la medición de la pO_2 y de la $SatO_2$ de la hemoglobina mediante el pulsioxímetro y gases arteriales. La hipoxia consiste en el déficit de O_2 en los tejidos. (2)

Se puede producir hipoxemia por 4 mecanismos distintos. En primer lugar, cuando hay una disminución en la presión de O_2 del aire inspirado por una caída en la presión atmosférica (grandes alturas) o por una disminución de la concentración de O_2 del aire, situación que se da por envenenamiento por gases tóxicos, por ejemplo. En segundo lugar, se puede producir 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. En tercer lugar, otra causa de hipoxemia son los procesos en los que se produce un defecto de difusión en la membrana alveolo capilar. En estos casos la hipoxemia ocurre por engrosamiento de la membrana

alveolo capilar (enfermedades intersticiales), pérdida de superficie (enfisema) o llenado alveolar (neumonía). Por último, la causa más habitual de hipoxemia serían las situaciones en las que se altera la integración entre el espacio alveolar y el lecho vascular, es decir, las alteraciones de la ventilación/perfusión (V/Q). Cuando hay ocupación del espacio alveolar u obstrucción de la vía aérea, se tiene una disminución de la ventilación con un índice V/Q bajo, mientras que cuando hay descenso de la perfusión en áreas bien ventiladas, el índice V/Q será elevado. (2) (3)

Cuando se produce una situación de hipoxemia, se desarrolla una serie de mecanismos de compensación dirigidos a preservar el aporte de O₂ a los tejidos. Algunos de estos mecanismos serán beneficiosos en cuanto a que mejorarán los aportes de O₂, pero otros serán contraproducentes. Desde el punto de vista ventilatorio, la hipoxemia se acompaña de un incremento de la ventilación alveolar que consigue elevar la pO₂, pero al mismo tiempo aumenta el trabajo respiratorio, lo que puede conducir al agotamiento de la musculatura respiratoria y al fracaso respiratorio secundario. Desde el punto de vista cardiovascular, la hipoxemia lleva a un 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. Desde el punto de vista sistémico, la hipoxemia crónica determina vasodilatación e hipotensión. En cuanto a los cambios hematológicos, 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 pO₂ 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. (2) (5)

Efectos de la oxigenoterapia

Cuando aumenta la pO₂ al incrementar la concentración de O₂ del aire ambiente, los mecanismos de compensación natural dejan de ser necesarios. Cuando se incrementa la pO₂, revierten la hiperventilación, la taquicardia y la vasodilatación hipóxica. Además, al normalizarse el aporte tisular de O₂, se corrigen las alteraciones neurológicas, miocárdicas y renales. (5)

Sin embargo, la administración de O₂ puede tener un impacto en los determinantes fisiológicos de la presión arterial de O₂. Así, para un determinado flujo de O₂ adicional suministrado, la FiO₂ ('fracción inspiratoria de O₂') real que se consigue depende del grado de ventilación alveolar. Además, el incremento de la presión de O₂ en el alvéolo favorece la difusión de éste hacia el capilar. Por otra parte, cuando desaparece la vasoconstricción hipóxica, pueden empeorar las alteraciones de la relación V/Q. También un aumento excesivo de la pO₂ tendrá un efecto perjudicial sobre la ventilación alveolar por depresión de los centros que la controlan.(5)

Se pueden distinguir indicaciones agudas, según haya o no hipoxemia

Hipoxemia arterial. Es la indicación más frecuente. Responde a varios mecanismos fisiopatológicos:(5)

- **Desequilibrio V/Q:** la respuesta a la oxigenoterapia depende de la relación V/Q en las diferentes áreas del pulmón y, por tanto, es impredecible. Las neumonías, las bronquiolitis, el asma o las atelectasias son algunos ejemplos.(6)
- **Hipoventilación alveolar (central o periférica):** la oxigenoterapia corrige rápidamente la hipoxemia, si bien el objetivo fundamental en estas enfermedades ha de ser la restauración de la ventilación. En este grupo se incluyen las enfermedades neuromusculares o las depresiones respiratorias por fármacos.
- **Shunt derecha-izquierda (intrapulmonar o extrapulmonar):** es el caso de las cardiopatías congénitas cianosantes, fístulas arteriovenosas, tromboembolias, etc. Cuando el shunt supera el 20%, la hipoxemia persiste pese a la oxigenoterapia.
- **Disminución de la FiO2 en el aire ambiente:** grandes alturas.
- **Hipoxia tisular sin hipoxemia.** En este grupo puede estar indicada la oxigenoterapia pese a haber una pO2 superior a 60mmHg porque hay un deterioro del aporte tisular. Resulta imprescindible la corrección de la causa subyacente a fin de mejorar la oxigenación tisular:
- **Situaciones de bajo gasto cardíaco:** anemia, insuficiencia cardíaca y shock hipovolémico.
- **Intoxicación por CO (monóxido de carbono):** a pesar de una pO2 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).
- La oxigenoterapia en situaciones agudas debe finalizar cuando se alcanza una pO2 de 60mmHg equivalente a una SatO2 del 90%. En pacientes sin hipoxemia, pero con riesgo de hipoxia tisular, el tratamiento debe finalizar cuando el equilibrio acidobásico y la situación clínica del paciente indiquen la desaparición de este riesgo.(5)

Hipoxia hipoxémica (PO2 baja y contenido bajo de oxígeno): ocurre en atmósfera baja en oxígeno, hipoventilación, alteración en la relación ventilación perfusión, afectación de difusión del oxígeno y cortocircuito arteriovenoso.(5)

Hipoxia por deficiencia de hemoglobina (PO2 normal y de oxígeno): ocurre en anemia e intoxicación por monóxido de carbono contenido bajo. (5)

Hipoxia por isquemia (PO2 normal con alteración en entrega o utilización de oxígeno): ocurre en insuficiencia circulatoria generalizada o localizada, edema tisular y demandas tisulares anormales.(5)

Hipoxia por anoxia histotóxica (PO2 y contenido de oxígeno normales): ocurre en intoxicación por cianuro. (5)

PULSIOXIMETRIA

La oximetría de pulso es un método no invasivo que permite la estimación de la saturación de oxígeno de la hemoglobina arterial y también vigila la frecuencia cardiaca y la amplitud del pulso. La presión parcial de oxígeno disuelto en la sangre arterial se denomina PaO₂. El porcentaje de saturación de oxígeno unido a la hemoglobina en la sangre arterial se denomina SaO₂ y cuando se mide por un oxímetro de pulso, este valor se denomina SpO₂. El estándar de oro (SaO₂), es una medición basada en el mismo principio (espectrofotometría) en una muestra de sangre arterial, aunque usando la absorción en general de cuatro diferentes longitudes de onda, en lugar de las dos del oxímetro de pulso. (1)

Los primeros avances en el concepto de la oximetría fueron realizados en el año 1918 durante la primera Guerra Mundial cuando Krogh en Copenhague intento medir la oxigenación de pilotos. En 1930 Millikan y Wood desarrollaron un oxímetro de pabellón auricular de dos longitudes de onda y en 1949 Wood y Geraci pudieron medir la saturación absoluta de oxígeno a través de determinación fotoeléctrica en lóbulo de la oreja. En 1974, el ingeniero Takuo Aoyagi de la Nihon Kohden, basado en que las pulsaciones arteriales cambian el color de la sangre y pueden ser leídas usando el radio de la absorción de luz roja e infrarroja, desarrolló el primer oxímetro de pulso. En 1977 Minolta comercializa el "Oximet" añadiendo dos sensores de fibras ópticas. Posteriormente se realizan ensayos clínicos en la Universidad de Stanford y en 1981 "Biox y Nellcor" añaden los sensores de luz y la señal pulsátil que actualmente se usan en la práctica clínica. (1) (7)

¿Cómo opera un oxímetro de pulso?

Para la determinación de la saturación de hemoglobina arterial con oxígeno (SpO₂), el oxímetro de pulso o pulsioxímetro usa la espectrofotometría basada en que la oxihemoglobina u hemoglobina oxigenada (HbO₂) y la desoxihemoglobina o hemoglobina reducida (Hb) absorben y transmiten determinadas longitudes de onda del espectro luminoso para la luz roja (640-660nm) y la luz infrarroja (910-940nm). La HbO₂ absorbe más la luz infrarroja y permite el paso de la luz roja; por el contrario, la Hb absorbe más la luz roja (R) y permite el paso de la luz infrarroja (IR). El ratio de la absorción de la luz R e IR mide el grado de oxigenación de la hemoglobina. Los oxímetros de pulso tienen dos sensores o sondas con diodos emisores de luz (DEL), uno para luz IR y otro para la R, además, de un fotodiodo detector. Para medir el oxígeno los DEL y el fotodiodo detector deben ponerse en puntos opuestos dejando en medio el tejido translucido (pulpejo del dedo, pabellón auricular, etc). El mecanismo que permite la lectura de la oxigenación es que en cada pulsación de la sangre arterial se transmiten valores lumínicos, detectando al mismo tiempo la frecuencia cardiaca. (8)

Asumiendo que solo la sangre arterial pulsa a esto se denomina componente arterial pulsátil (CA). La cantidad de luz absorbida cambia de acuerdo a la cantidad de sangre en el lecho tisular y la presencia de HbO₂/Hb. Por otro lado existe un componente estático

(CE) que está formado por los tejidos, huesos, piel y la sangre venosa. La siguiente fórmula muestra como del cociente de la luz R e IR se obtiene a SpO2: (1)

$$(CA \text{ luz R} / CE \text{ luz R}) = SpO_2$$

$$(CA \text{ luz IR} / CE \text{ luz IR})$$

El resultado de la anterior fórmula es llevado a algoritmos calibrados que están almacenados en el microprocesador del aparato. Los algoritmos derivan de mediciones en voluntarios sanos sometidos a diferentes concentraciones mezcladas y decrecientes de oxígeno que generalmente son únicas para cada fabricante. Los actuales oxímetros además de la SpO2 y la frecuencia cardiaca, muestran una onda pletismográfica de la absorción de luz. La SpO2 mostrada en la pantalla representa la media de la medición de los últimos 3 a 6 segundos, los datos se actualizan cada 0.5 a 1 segundo. (9)

La precisión y exactitud dependen de las diferentes marcas y estudios realizados que van de desde más o menos 10% a menos de 2%, pero en sujetos con saturaciones de oxígeno por encima de 70%; por esto se ha visto que el funcionamiento de los oxímetros disminuyen su precisión grandemente cuando las SpO2 están por debajo de 70% (esto se debe a que se tiene un número limitado de sujetos para calibrar a bajos niveles de saturación), lo cual llevaría a serias dudas de su interpretación en pacientes muy hipoxémicos sobre todo en grandes alturas; como menciona un autor, el oxímetro puede fallar "cuando más se lo necesita". La Food and Drug Administration (FDA) considera que las mediciones de cada nuevo oxímetro y sensor deben ser comparados con muestras medidas en sangre arterial con un co-oxímetro en un rango de 70 a 100%. (10)

Los sitios del cuerpo que generalmente se usan para medir la SpO2 son los dedos de la mano, dedo gordo del pie y lóbulo de la oreja. En neonatos y lactantes menores se usan las palmas y plantas.(11) Otros lugares menos frecuentes son la lengua, alas de la nariz y las mejillas.

La SatO2 representa los gramos de hemoglobina (Hb) que son portadores de oxígeno. Por ejemplo si la SpO2 es del 85 % y la concentración de (Hb) es de 15 g/dl, entonces 12,75 g/dl de Hb están portando O2, lo que no ocurre con el 2,25 g/dl restante. El aporte y la entrega de O2 a los tejidos dependen de varios factores, no sólo del porcentaje de SatO2. Entre ellos se encuentra el contenido de oxígeno disuelto en la sangre PaO2. (10)

Por otro lado, es importante recordar que los oxímetros de pulso funcionan normalmente en pacientes anémicos, que tienen reducida la cantidad de glóbulos rojos. Hay que considerar que en pacientes muy anémicos, la saturación de oxígeno puede ser normal, pero hay insuficiente hemoglobina para transportar una cantidad adecuada de oxígeno a los tejidos. (6)

¿Cómo se afecta la exactitud de las mediciones en los oxímetros de pulso?

La validez (medir lo que quiere medir) y confiabilidad de las mediciones (reproducibilidad de la medición) de los oxímetros de pulso convencionales, puede verse afectada por diversas circunstancias:

El movimiento, esta es la más común, sobre todo en niños muy pequeños o recién nacidos. La premisa clave de la oximetría de pulso convencional era que el único componente pulsátil en movimiento era la sangre arterial. Esta premisa es errónea, especialmente cuando hay movimiento. Durante el movimiento o “ruido”, la longitud de la óptica se modifica y supera la señal real; por lo tanto, el movimiento constituye una limitación física para la oximetría de pulso. Esto se debe que el movimiento de la sangre venosa, que el oxímetro de pulso detecta como si fuera sangre arterial pulsátil; durante el movimiento, existe una especie de “chapoteo o movimiento de vaivén” de la sangre venosa a baja presión. En estas situaciones, el CA es variable debido principalmente al movimiento de la sangre venosa. Dado que la oximetría de pulso convencional mide los componentes pulsátiles arteriales y los no arteriales, el movimiento de la sangre venosa “confunde” al monitor, que ofrecerá niveles de saturación falsamente bajos. Los sensores con adhesivos son una potencial solución a este problema.(6)

- **Baja perfusión:** la perfusión del lecho vascular entre el diodo emisor de luz (DEL) y el sensor de la sonda del monitor determina la magnitud de la señal disponible para el oxímetro de pulso. Al disminuir la perfusión, también lo hace la magnitud de la señal, como la pulsación arterial es necesaria para la medición, los estados de baja perfusión como el choque, gasto cardiaco bajo y la hipotermia puede alterar las lecturas. Cuando la perfusión desciende hasta niveles demasiado bajos, la magnitud de la señal se aproxima al nivel de ruido básico del sistema en la electrónica del SpO₂, lo que permite que el ruido supere a la señal fisiológica. Esta situación puede darse en los niños que recibieron un gran volumen de transfusiones y tienen elevada la presión venosa. La dopamina puede ocasionar lo mismo por vasoconstricción que se asocia a pulsación venosa inversa. Estas situaciones que producen alteraciones de la lectura de SpO₂, serían salvadas actualmente por los oxímetros de última generación. (6) (12)

- **Pigmentación de la piel y pintura de uñas:** la piel oscura potencialmente tendría errores con lecturas de SpO₂ menores de 80% y el esmalte de uñas, absorbe la luz a 660 nm o 940 nm pueden interferir con la capacidad del oxímetro de pulso para interpretar la SaO₂. (12) (13)

- **Interferencia electromagnética:** la energía electromagnética externa como la proveniente de tomógrafos, electrocauterios, celulares u otros pueden ocasionar interferencia de la correcta lectura del oxímetro y además producir un sobrecalentamiento del sensor, lo cual lleva a lecturas bajas de SpO₂ y falsas alarmas.(13)

- **Interferencia de la luz ambiental,** la luz intensa blanca (fototerapia, luces de quirófanos, etc.) o roja pueden interferir con la lectura de los oxímetros porque alteran la

función de los foto detectores. Esta dificultad puede evitarse cubriendo el sensor con un material no transparente.(13)

- **Variantes de Hemoglobinas**, existen 2 situaciones en las que se puede afectar la lectura de los oxímetros: (12)

Carboxihemoglobina (COHb), la mayor presencia de esta molécula en la sangre sobreestima los valores de oxigenación arterial porque la COHb absorbe la luz roja en un grado similar al de la HbO₂ (oxihemoglobina), por lo cual incrementaría 1% de la SO₂ por cada 1% de COHb circulante. Esto tendría sobre todo implicancia en las intoxicaciones por CO (frecuentes en pediatría por el sahumero aplicado a los niños en nuestro medio) donde los valores de saturación debe corroborarse por un co-oxímetro (aparato para determinar COHb y Metahemoglobina) o determinación de gases en sangre arterial. (12) (15)

Metahemoglobina, su presencia es normalmente menor al 1% y no da problemas, pero en intoxicaciones por sulfonamidas, uso de anestésicos, óxido nítrico y hemoderivados artificiales puede elevarse causando alteración de la lectura porque la metahemoglobina absorbe la luz en forma similar a la HbO₂, lo cual no puede ser discriminado por el microprocesador del oxímetro. Ante la sospecha de esta alteración también debe usarse un co-oxímetro. (12)

La policitemia, la Hb fetal, la anemia con Hb > a 5g/dl con función cardiovascular preservada no parecen interferir la lectura de los oxímetros. En niños con enfermedad de células falciformes las lecturas pueden ser poco confiables.(14) (12)

Las múltiples causas de errores en la lectura de las SPO₂ hacen que casi el 86% de las alarmas sean falsas cuando un oxímetro es regulado a umbrales normales de saturación, por lo cual se postula que el monitoreo continuo con oxímetro de pulso no tiene valor en pacientes relativamente estables. (12) (14)

Oximetría de pulso en la altura

La SpO₂ media a nivel del mar es 97-99%, con límites inferiores de 94%. La SpO₂ tiene relación con la tensión arterial de oxígeno (PaO₂), es decir que pequeños cambios en la SpO₂ reflejan grandes cambios en la PaO₂; porque la curva de disociación oxígeno/hemoglobina es relativamente plana para PaO₂ mayores a 60mmHg y con SpO₂ menores de 90% la curva es más pronunciada, por lo cual pequeñas caídas de PaO₂ se manifestaran en grandes caídas de SpO₂. Por esto, se recomienda que a nivel del mar se use oxígeno en pacientes con SpO₂ menor a 90% y no menor a 94%.(4)

El nivel de SpO₂ también depende de adaptaciones fisiológicas o patológicas como ocurre en niños que viven en la altura, sobre todo mayor a 2500 metros sobre el nivel del mar (msnm), donde existe una menor presión de oxígeno. Esto también sucede en niños con cardiopatías congénitas cianóticas que se adaptan a hipoxia crónica. (15)

Una revisión sistemática de la literatura sobre hipoxemia en la altura y otra acerca de la epidemiología de la hipoxemia en niños con infección respiratoria; reportan como valores normales a SpO₂ por encima de 85% en niños que residen a más de 2500 msnm.(15)

Tamizaje de hipoxemia en servicios de emergencia: la oximetría debe ser usada en pacientes seleccionados, en quienes la hipoxemia es más probable; es decir niños con probable neumonía, bronquiolitis, dificultad respiratoria, cianosis, choque, coma, convulsiones o deshidratación grave. El riesgo de aplicar mediciones rutinarias a todos los pacientes (incluso a niños de bajo riesgo de hipoxemia) es que se tendrán falsos positivos debido a artefactos por el movimiento o el sonido que pueden afectar las lecturas. (16)

Enfermedades respiratorias: la oximetría de pulso facilita la selección de pacientes que deben ser internados debido a hipoxemia como es el caso de pacientes con neumonía, asma, bronquiolitis; donde la ventilación/perfusión está alterada. Del mismo modo cuando los pacientes son internados y reciben tratamiento, la oximetría permite evaluar la respuesta al mismo como es el caso particular de la neumonía, Fu y cols, demostraron que la SpO₂ tomada a las 24 horas de tratamiento antimicrobiano con amoxicilina oral en niños con neumonía grave; puede predecir la respuesta al tratamiento, es decir los pacientes que mejoraran su saturación respecto al ingreso responden mejor al tratamiento y no requieren cambio de antimicrobiano. La AAP recomienda usar oxígeno cuando la SpO₂ es menor a 90% a nivel del mar. En pacientes que residen a alturas mayores a 2500 msnm, se debe usar oxígeno cuando la SpO₂ es menor de 85%. No se recomienda el monitoreo continuo con oxímetro, sino más bien intermitente. (16)

La infección respiratoria baja aguda es una causa importante de morbimortalidad en la infancia. Además de la mortalidad y morbilidad ocasionadas, esta patología insume importantes recursos de salud, particularmente cuando se requiere hospitalización. En la Ciudad de Buenos Aires representa 15-25% de los egresos hospitalarios (dependiendo de la época del año). En el orden nacional, en 2005 las infecciones respiratorias agudas bajas fueron responsables de 65.475 egresos hospitalarios en menores de 5 años, un 21,2% del total. En EE.UU., las internaciones debido sólo a bronquiolitis pueden ocasionar gastos por alrededor de 500 millones de dólares al año. Los principales cuadros clínicos involucrados en la infección respiratoria baja aguda en pediatría son neumonía y bronquiolitis. Es muy frecuente que estas entidades clínicas se manifiesten por medio del denominado "síndrome bronquial obstructivo" (SBO), que se caracteriza por signos de obstrucción bronquial de diversa intensidad (espiración prolongada, sibilancias), acompañados o no por taquipnea y empleo de músculos accesorios de la respiración. Como además de los signos clínicos nombrados, este síndrome puede acompañarse de grados variables de hipoxemia, uno de los principales objetivos del tratamiento es evitar o resolver oportunamente la hipoxemia que este cuadro puede generar. Esta condición decidirá si el paciente requerirá hospitalización inmediata, se valorará su respuesta al tratamiento durante un período acotado o será pasible de tratamiento ambulatorio directamente. (17)

La evaluación de la saturación arterial de oxígeno (SaO_2) por medio de oximetría de pulso es el mejor método en la práctica clínica para valorar hipoxemia. Sin embargo, dada la elevada prevalencia de esta patología, su manejo debe ser asumido habitualmente por el personal de salud responsable del primer nivel de atención, donde esta tecnología puede no estar disponible. Debido a esto, es habitual que se recurra a elementos clínicos que permitan inferir el nivel de SaO_2 .-En muchas situaciones clínicas se ha demostrado que las reglas de predicción o escalas de puntaje que reúnen varios elementos para predecir un resultado tienen mejor desempeño que el empleo de elementos clínicos aislados. En el caso específico de las infecciones respiratorias agudas bajas en pediatría, desde hace unos años se ha establecido y generalizado el uso de escalas de puntaje de este tipo. Dichas escalas han recibido diverso grado de difusión, aunque no siempre hayan sido debidamente validadas. (17)

Ventajas respecto a la gasometría (14)

- Proporciona una monitorización instantánea, continua y no invasiva.
- No requiere de un entrenamiento especial. Es fácil de usar.
- Es fiable en el rango de 80-100% de saturación que es el más interesante en la práctica clínica.
- Además informa sobre la frecuencia cardíaca y puede alertar sobre disminuciones en la perfusión de los tejidos.
- Es una técnica barata y existen aparatos portátiles muy manejables.
- La gasometría es una técnica cruenta, que produce dolor y nerviosismo durante la extracción, dando lugar a hiperventilación, lo que puede llevar a sobreestimación de la oxigenación.

Desventajas respecto a la gasometría: (14)

- La pulsioximetría no informa sobre el pH ni PaCO_2 .
- No detecta hiperoxemia.
- No detecta hipoventilación (importante en pacientes respirando aire con concentración elevada de O_2).
- Los enfermos críticos suelen tener mala perfusión periférica.

1. Oximetría de pulso por transmitancia o convencional.

Es un método simple, continuo, no invasivo, para vigilar de manera periférica el porcentaje de hemoglobina (Hb) saturada con oxígeno (O_2), por el paso de longitudes de onda específicas a través de la sangre (SpO_2). Se basa en la ley de Lambert-Beer-Bouguer. (18)

Ley de Beer-Lambert: El principio en el que se funda la determinación de la saturación de O_2 , con el oxímetro de pulso, es la ley de Beer. Todas las técnicas de oximetría se

basan en análisis espectrofotométricos que miden las porciones de luz transmitida y absorbida por la hemoglobina, combinado con el principio de la pletismografía.(15)

Las sustancias químicas son capaces de absorber luz (o radiación electromagnética) de determinadas longitudes de onda. Cuando un haz de luz monocromática (de una sola longitud de onda) incide sobre una solución de una sustancia que se absorbe, la intensidad de la luz transmitida (la que atraviesa la solución) es menor que la incidente. Así pues, la transmitancia (T) de una solución se define como la fracción incidente de luz transmitida por la solución. Se expresa en porcentaje: (16) (18)

$$T = I/I_0$$

I = Intensidad de luz después del paso a través de una muestra (transmitida).

I_0 = Intensidad de luz inicial (incidente).

La absorbancia es el logaritmo decimal del inverso de la transmitancia. La ecuación es la siguiente:

$$A = -\log_{10} T = -\log(I/I_0)$$

La fracción de luz absorbida en una longitud de onda específica, se denomina absortividad o coeficiente de extinción. La absorbancia de una sustancia en solución depende del espesor de la muestra, de la concentración del compuesto absorbente y de la naturaleza química de éste. Esto se expresa mediante la ley de Lambert-Beer, mejor conocida como ley de Beer. (18)

Ley de Beer: La absorbancia de una radiación monocromática es directamente proporcional al espesor de la radiación a través de la solución y a la concentración de la especie absorbente que se encuentra en solución: $A = abc$.(18)

Esta ley se aplica a sustancias que absorben energía radiante y relaciona la concentración de un soluto en solución con la intensidad de la luz transmitida a través de la solución.8-10 Cuando se trabaja en unidad de molaridad, la a cambia a ϵ (18)

Longitudes de onda: El oxímetro de pulso cuantifica la saturación de O₂, al valorar la absorbancia de luz en dos longitudes de onda. En el espectro luminoso, la longitud de onda entre 400 y 700 nanómetros (nm) corresponde a la luz visible. Una longitud de onda menor a 400 nm a la luz ultravioleta, y una mayor de 700 nm a la luz infrarroja.(18)

El oxímetro de pulso emite luz con dos diferentes longitudes de onda. Las características del espectro de absorción de luz de la hemoglobina oxigenada (O₂Hb) y no oxigenada, desoxihemoglobina o reducida (RHb), presentan diferencias que son máximas en la región roja e infrarroja del espectro. A una longitud de onda de 660 nm, la luz roja visible se absorbe más por la RHb y, a 940 nm, la luz infrarroja se absorbe más por la O₂Hb. Estas dos luces de diferente longitud de onda, roja e infrarroja, se pasan a través del árbol arterial y el porcentaje de O₂Hb y RHb es determinado por el fotodetector. (18)

2. Oximetría de pulso por reflectancia.(18)

En el presente, el oxímetro de pulso por transmitancia o convencional (SpO₂) es el que más se utiliza. Se basa en el análisis espectrofotométrico de las propiedades de absorción de la sangre, combinado con el principio de la fotopleletismografía. Sin embargo, la SpO₂ limita su aplicación a las áreas del cuerpo suficientemente delgadas para que penetre la luz roja e infrarroja. Brinkman y Zijlstra WG, en 1949, describen la medición de la saturación de oxígeno con el uso de la reflexión de la luz, mediante la utilización de sensores frontales.19-21 En 1983, Mendelson Y. demuestra que la saturación de O₂ de la hemoglobina se puede medir cuantitativamente con la técnica de la reflectancia. En 1992, inicia el desarrollo de sensores ópticos para la RSpO₂.

La RSpO₂ se sustenta en la reflexión de la sangre en los tejidos. Es un método no invasivo que proporciona un monitoreo continuo, exacto, confiable y económico de la saturación de O₂, con el empleo de la tecnología de reflectancia. Los diodos emisores de luz y el fotodetector permiten la absorción en la superficie de la piel.

Ventajas: La RSpO₂ ofrece varias ventajas sobre los oxímetros convencionales. El oxímetro de pulso convencional utiliza la tecnología de la transmisión de la luz para calcular la saturación de O₂. El oxímetro de pulso por reflectancia emplea el método de la reflexión de la luz. El oxímetro convencional tiene un sensor semejante a una pinza para tender ropa, que abraza el dedo. Un lado del sensor envía luz a través del tejido, dentro del lecho vascular, y el otro lado la recibe. El sensor del oxímetro de pulso por reflectancia emite luz hacia abajo a través del tejido y del lecho capilar y recoge la luz que se refleja hacia arriba, y calcula la saturación de O₂.

Sensores reflectantes: El sensor convencional envuelve el dedo de la mano, del pie, el lóbulo de la oreja o el dorso de la nariz. El sensor reflectante es plano y se adhiere a la piel con un adhesivo. Se coloca en la frente, tórax o dorso. El funcionamiento del sensor incluye el principio que emite luz roja e infrarroja múltiples longitudes de onda, y la detección de campos definidos por dos anillos fotodetectores que se colocan concéntricamente alrededor del origen de la luz. Los anillos constituyen una forma anular que permite la obtención de la señal desde una amplia zona tisular, por la cantidad de luz que se absorbe por la sangre.

Indicaciones: En algunas ocasiones, la oximetría de pulso por transmitancia o convencional dificulta la señal exacta de la oxigenación, debido a una hipoperfusión en brazos y piernas, particularmente en pacientes críticos y también al continuo movimiento, especialmente en neonatos. El sistema de RSpO₂ está diseñado e indicado para resolver estos problemas asociados con los sensores periféricos, ya que, debido a su localización corporal central, proporcionan mayor exactitud en las lecturas de la saturación de O₂.

Oxímetro de pulso MASIMO SET®

El oxímetro de pulso **RAD-5V** brinda La precisión y la fiabilidad de la pulsioximetría de Masimo SET® en un dispositivo compacto, perfecto para verificación rápida y selección de pacientes de urgencia.(19)

La oximetría de pulso convencional funciona bajo el supuesto de que al enfocarse solamente en el pulso y la normalización de la señal pulsátil sobre la señal no pulsátil, la saturación de oxígeno (SpO₂) puede medirse sin calibración. Aunque esto significó un gran avance en la evolución de la oximetría de pulso, tenía un defecto importante: asumir que el único factor pulsátil es la sangre arterial. Desafortunadamente para la oximetría de pulso convencional, la sangre venosa se mueve con cada movimiento o respiración del paciente. Esto ocasiona que los oxímetros de pulso convencionales indiquen una frecuencia de pulso y una SpO₂ falsas que pueden ser altas o bajas, lo que tiene como resultado falsas alarmas que pueden llegar hasta un 90 % en las UCI y en salas de recuperaciones. (19)

CARACTERÍSTICAS (20)

- Equipo comprobado científica y clínicamente, que la tecnología Masimo SET® ofrece mediciones de Pulsioximetría precisas durante condiciones de movimiento y baja perfusión.(20)
- Dispositivo portátil liviano y cómodo, con larga duración de las baterías: más de 30 horas con 4 baterías AA.
- FastStart™ permite efectuar una medición rápida al inicio.
- El índice de perfusión (PI) indica la fuerza de la señal de pulso arterial.
- La barra Signal I.Q.® (SIQ) permite identificar la señal e indicar su calidad en situaciones de movimiento y de baja relación señal-ruido.
- Alarma visual y audible en caso de sensor desconectado y de batería baja.
- Funda protectora opcional con soporte de sobremesa incorporado.



(21)

Medición de forma no invasiva de Metahemoglobina, Carboxihemoglobina, Oxihemoglobina y pulso en segundos.

El pulsioxímetro Rad- 57 emplea un sistema pulsátil de 7 longitudes de onda en el rango de 400 a 1000nm para coleccionar y analizar parámetros de la sangre oxigenada (Oxihemoglobina), desoxigenada (Carboxihemoglobina y Metahemoglobina) y Monóxido de Carbono.(21)

El Indicador de alerta continua de color de SpCO revela instantáneamente niveles peligrosos de CO₂. Provee la mayor sensibilidad, alertando sólo eventos reales de desaturación de oxígeno y especificidad, pues evita las falsas alarmas, esto ayuda a un mejor cuidado y a reducir errores de diagnóstico del paciente. Modo APODTM (AdaptativeProbe Off Detection) detecta si se ha capturado la señal (si está el sensor conectado o está el dedo del paciente).(21)

Modo de FastSatTM permite medir cambios rápidos en oxígeno arterial. Adicionalmente permite realizar una rápida medición desde el momento que el instrumento se enciende.(21)

Memoria hasta 3 días de almacenamiento de tendencias de SpO₂, SPMET, SPCO, pulso e Índice de perfusión. Ahorra costos: en requerimientos de oxígeno, en análisis postquirúrgicos de gases en sangre arterial, en sensores adhesivos y en reducción de la hospitalización del paciente.(22)

Con Tecnología Masimo SET de gran exactitud. Extrae la señal minimizando el ruido provocado por: Luz ambiental, interferencia Electromagnética y pulso venoso. Analiza señales con amplitud diez veces menores, que cualquier otra tecnología de pulsoximetría. Rango de medición: SpO₂, de 1 - 100% SpCO, de 0 - 99% SpMet, de 0 - 99,9% Ritmo cardíaco (Fp o Fc) de 25 - 240 pulsos por minuto Índice de perfusión de 0,02% - 20% Para uso en pacientes: Adultos, pediátricos y neonatos. Precisión de saturación de oxígeno (%SpO₂) del 70% a 100% Sin movimiento: +/- 2 dígitos en adultos y pediátricos, y +/- 3 dígitos en neonatos.(22)

Precisión de saturación de Carboxihemoglobina (%SpCO) del 1% a 40% Pacientes: Adultos, pediátricos y neonatos +/- 3 dígitos Precisión de saturación de Metahemoglobina (%SpMet) del 1% a 15% Pacientes: Adultos, pediátricos y neonatos +/- 1 dígito. Precisión de la frecuencia cardíaca: de 25 a 240; +/-3 dígitos en adultos, pediátricos y neonatos, sin movimiento.(22)

III) OBJETIVOS

3.1 General

3.1.1 Determinar la utilidad del oxímetro de pulso avalado por la FDA Masimo® versus oxímetro “de bolsillo o populares”, en la evaluación intermitente, para detección de hipoxia en pacientes pediátricos con enfermedad respiratoria aguda, ingresados en el hospital Roosevelt.

3.2 Específicos

- 3.2.1. Evaluar la sensibilidad y especificidad del oxímetro de pulso Masimo® y el oxímetro “de bolsillo” para detección de hipoxia.
- 3.2.2. Asociar la escala de Wood Downes en pacientes con distrés respiratorio con los valores obtenidos en oximetrías de pulso Masimo®.
- 3.2.3. Relacionar el valor de hemoglobina sérica con el valor obtenido con el oxímetro de Pulso Masimo®.

IV) MATERIALES Y METODOS

4.1 Tipo de estudio

- Estudio Analítico transversal

4.2 Población: Pacientes pediátricos de 1 mes a 12 años de edad, con enfermedad respiratoria aguda que asistieron a la emergencia y fueron ingresados al servicio de infantes y 4to piso de Pediatría del Hospital Roosevelt.

4.3 Marco Muestral: Pacientes con síntomas agudos de bronquiolitis, asma y neumonía que asistieron a la emergencia y fueron ingresados a los servicios de infantes y 4to piso de Pediatría hospital Roosevelt.

- 110 pacientes con enfermedad respiratoria aguda (bronquiolitis, asma y neumonía bacteriana o viral) con oximetría de pulso menor a 88%.
- 110 pacientes con enfermedad respiratoria aguda (bronquiolitis, asma y neumonía bacteriana o viral) con oximetría de pulso entre 88 y 95%.

Diseño de muestreo

Basado en la estimación de un coeficiente de correlación poblacional. Método de coeficientes de correlación bivariada, familia de test de T, Software G*Power 3.1.9. <http://www.gpower.hhu.de/> Por lo tanto, se estudió a 110 pacientes para poder estudiar ambos eventos con suficiente potencia estadística y un nivel de confianza del 95%.

4.4 Selección de los sujetos a estudios

- **Criterios de inclusión:**
 - Pacientes pediátricos ingresados con diagnóstico de enfermedad respiratoria aguda.
 - Pacientes pediátricos con bronquiolitis, asma y neumonía bacteriana/viral.
 - Pacientes a quienes es factible hacer mediciones de oximetría en las 4 extremidades.
- **Criterios de exclusión:**
 - Pacientes quienes cursaban con hipovolemia.
 - Pacientes con laceraciones, abrasión o excoriación que dificultaba la medición en las extremidades.
 - Pacientes con anemia con hemoglobina menor de 8 mg/dl.
 - Pacientes con ictericia.
 - Pacientes con enfermedad pulmonar crónica.
 - pacientes con cardiopatías

4.5 Variables estudiar

1. Edad
2. Sexo
3. Oxímetro de pulso
4. Enfermedad respiratoria aguda.
5. Escala de Wood Downes
6. Hemoglobina
7. Hipoxia

4.5 Operalización de Variables

VARIABLE	DEFINICION TEORICA	DEFINICION OPERACIONAL	TIPO DE VARIABLE	ESCALA DE MEDICION	UNIDAD DE MEDIDA
EDAD	Tiempo transcurrido a partir del nacimiento de un individuo.	Son los días, meses o años que la población pediátrica a estudio tiene.	Cuantitativo	Intervalos	1- 3 meses 3-12 meses 1-4 años 5-9 años Mayor de 10 años
SEXO	Se refiere a las características biológicas y fisiológicas que definen a hombres y a mujeres	Se refiere a la diferenciación de masculino y femenino	Cualitativo	nominal	Masculino Femenino
Oxímetro de pulso.	La oximetría de pulso es un método no invasivo que permite la estimación de la saturación de oxígeno de la hemoglobina arterial. Evalúan la transmisión de la luz roja e infrarroja a través de un tejido translúcido con buen flujo sanguíneo (dedo o pabellón auricular) de manera no invasiva y estiman el porcentaje de oxihemoglobina y hemoglobina no oxigenada en el componente pulsátil de la señal (SpO ²). A partir del cociente de transmisión de luz roja/luz infrarroja se puede estimar la SpO ₂ .	Comparación del oxímetro de pulso Masimo® versus “bolsillo o popular” para la detección del riesgo de hipoxia.	Cuantitativo	nominal	Masimo® SpO ₂ ≥88 – 95% Y SpO ₂ <88 % “de bolsillo o popular” SpO ₂ ≥88 – 95% Y SpO ₂ <88 %
ENFERMEDAD RESPIRATORIA AGUDA	Las infecciones respiratorias agudas (IRA) son el conjunto de infecciones del	Bronquiolitis: Es una inflamación difusa aguda bilateral de las vías aéreas inferiores	Cualitativo	Nominal	Bronquiolitis Asma Neumonía (viral o bacteriana)

	<p>tracto respiratorio causadas por microorganismos virales, bacterianos causan daño desde vías respiratorias altas a bajas, a nivel alveolo capilar y bronquial que interfieren con el adecuado intercambio de gases interfiriendo con el adecuado índice de ventilación perfusión en el paciente, lo que causa respuestas fisiopatológicas que del organismo para compensar este desbalance. Que se reflejan en los signos y síntomas clínicos. Generalmente con una duración en un periodo menor de 15 días, con la presencia de uno o más signos y síntomas</p>	<p>de etiología viral, caracterizada clínica y funcionalmente por incapacidad ventilatoria en < de 2 años. Asma aguda El asma es una enfermedad inflamatoria crónica de las vías aéreas, caracterizada por crisis agudizadas de tos dificultad respiratoria y sibilancias, usualmente reversibles. Neumonía (viral o bacteriana) La neumonía es una infección de uno o los dos pulmones. Muchos gérmenes, como bacterias, virus u hongos, pueden causarla.</p>			
<p>Escala de Wood Downes modificada</p>	<p>Escala de Wood Downes, es una escala de evaluación utilizada en la valoración de la gravedad de enfermedad respiratoria aguda.</p>	<p>Signos clínicos de enfermedad respiratoria aguda. Entre estos: Sibilancias Tiraje costal FR FC Entrada de aire Cianosis. (Ver anexo)</p>	<p>cualitativo</p>	<p>Ordinal</p>	<p>< 4 puntos 5 >puntos</p>
<p>Hemoglobina</p>	<p>La hemoglobina (HB) es una proteína globular, que está presente en altas concentraciones en lo glóbulos rojos y se encarga del transporte de</p>	<p>Evaluación del nivel de hemoglobina en la Hematología de ingreso del paciente con enfermedad respiratoria aguda.</p>	<p>Cualitativa</p>	<p>Nominal</p>	<p>8mg/dl - < 10 mg/dl >10 mg/dl</p>

	O ₂ del aparato respiratorio hacia los tejidos periféricos; y del transporte de CO ₂ y protones (H ⁺) de los tejidos periféricos hasta los pulmones para ser excretados,				
Hipoxia	Es un estado de deficiencia de oxígeno en la sangre, células y tejidos del organismo, con compromiso de la función de los mismos.	La gasometría arterial nos permiten hacer este diagnóstico con una PaO ₂ <80 mmHg o una saturación de oxígeno (Sat O ₂) menor o igual a un 90 %. Presión parcial de oxígeno	Ordinal	Nominal	PaO ₂ <80% PaO ₂ ≥80%

4.6 Instrumentos

Sérica

Hematología

Gases arteriales

1. Oximetría

Oxímetro de pulso estándar Masimo ®

Oxímetro de pulso de “bolsillo o popular”

2. Boleta de recolección de datos.

4.7 PROCEDIMIENTO PARA LA RECOLECCION DE DATOS

Primera etapa: Obtención al institucional.

- Autorización por el Comité de Investigación de Facultad de Ciencias Médicas de USAC.
- Autorización por parte de la Jefatura de Pediatría del Hospital Roosevelt.
- Autorización por el Comité de Docencia e Investigación del Hospital Roosevelt

Segunda etapa: Validación del instrumento de recolección de datos.

- Antes del inicio de la recolección de datos, se evaluaron a 10 pacientes para determinar las fortalezas y debilidades del instrumento.

Tercera etapa: Recolección de datos y toma de Muestra

- Pacientes con diagnóstico de neumonía, bronquiolitis, o asma que con signos y síntomas agudos que son ingresados a Hospital Roosevelt, en los servicios de infantes y 4to piso, que cumplieran los criterios de inclusión se realizaran mediciones de oximetrías intermitentes, durante 1 minuto con el oxímetro Masimo®, con el que se clasificaron 110 pacientes con oximetrías <88% y 110 pacientes con oximetrías de 88-95%.
- Posteriormente a los pacientes ya clasificados, se le colocó el oxímetro de pulso de “bolsillo” en las extremidades, durante 1 minuto, intermitentemente.
- En la medición de Oximetrías, se utilizó el oxímetro a evaluar MASIMO®, posteriormente se realizó mediciones con el oxímetro de “bolsillo”, para la comparación de ambos oxímetros para la detección de riesgo de hipoxia en el paciente con enfermedad respiratoria aguda.
- Se tomaron datos del registro médico de cada paciente incluido, Sao₂, PoO₂ en gases arteriales y hemoglobina sérica.
- Se documentó también el puntaje de la escala de Wood Downes en cada paciente.

Quinta etapa: Tabulación y análisis de los datos

- Recolectada toda la información, se procedió con la introducción de los datos obtenidos del instrumento, a una base de datos estandarizada.
- Se ingresaron los datos de las boletas a una base de datos electrónica en el programa Epiinfo a fin de minimizar y corregir oportunamente eventuales errores de codificación o digitación.
- Sensibilidad y especificidad, través de tablas de contingencia para evaluar pruebas diagnósticas; para evaluar la probabilidad de riesgo de hipoxia en la relación entre las mediciones del oxímetro de pulso estándar Masimo® y el oxímetro de pulso de “bolsillo o popular”, y PaO₂ en gases arteriales como

estándar de oro; la asociación de la mediciones con el oxímetro de pulso Masimo® y la escala de Wood Downes.

Sexta etapa: Informe final y presentación de resultados

- Se elaboró el informe final
- Se presentó el informe final al Comité de Tesis de la Facultad de Ciencias Médicas y Posgrados de USAC.
- Se presentaron los resultados a las autoridades del Departamento de Pediatría.

4.8 PROCEDIMIENTO DE ANALISIS DE INFORMACION

- A todos los 220 pacientes pediátricos incluidos en el estudio con enfermedad respiratoria aguda: neumonía bacteriana, bronquiolitis, asma agudizada, se le tomo oximetría de pulso con Masimo® y también con el oxímetro de “bolsillo”, y así realizar la comparación de ambos oxímetros de pulso en la detección de hipoxia.
- Por lo que se analizaron por medio tablas de contingencia 2x2 para evaluar los oxímetros de pulso; asociación del oxímetro del “bolsillo o popular” en la relación a las mediciones con el oxímetro de pulso Masimo®, a través de OR.
- También se realizaron tablas de contingencia 2x2 para evaluar los oxímetros de pulso; evaluando la sensibilidad y especificidad del oxímetro del “bolsillo” y el oxímetro de pulso Masimo® en relación al estándar de oro para ambos: la PaO2 en gases arteriales.

La **sensibilidad** es la proporción de individuos con la enfermedad que presentan un resultado positivo e indica la utilidad de la prueba para identificar a las personas enfermas. $Sensibilidad = a/(a+c)$.

La **especificidad** es la proporción de individuos sin la enfermedad que presentan un resultado negativo e indica la utilidad de la prueba para identificar a los individuos que no tienen la enfermedad. $Especificidad = d/(b+d)$

El **valor predictivo positivo** es la probabilidad de que un individuo con un resultado positivo tenga la enfermedad.

El **valor predictivo negativo** es la probabilidad de que un individuo con resultado negativo no tenga en realidad la enfermedad.

$$Sensibilidad = \frac{VP}{VP + FN} \quad Especificidad = \frac{VN}{VN + FP}$$

- Se documentó la relación/asociación de las mediciones de SpO2 que se obtuvieron con el oxímetro de pulso Masimo® vs la escala de Wood Downes, y niveles de hemoglobina

V) RESULTADOS

Tabla No. 1

Característica de la población de estudio

Edad (n=220)	No.	%
1 – 3 meses	42	19
4 – 12 meses	76	34
1 – 4 años	68	31
5 – 9 años	24	11
10 – 12 años	10	5
Sexo (n=220)		
Femenino	97	44
Masculino	123	56
Enfermedad respiratoria aguda (n=220)		
Neumonía Bacteriana o viral	124	56
Bronquiolitis	70	32
Asma Agudizada	26	12

Fuente: Boleta de recolección de datos

TABLA No. 2

Comparación del oxímetro de pulso Masimo ® vs “bolsillo” en pacientes pediátricos ,110 con SpO₂<88% y 110 con SpO₂ 88-95% con enfermedad respiratoria aguda: neumonía bacteriana o viral, bronquiolitis y asma.

	Pulsioximetría <88%	Pulsioximetría 88-95%	Totales
Oxímetro de bolsillo	117	103	220
Masimo ®	110	110	220
TOTALES	227	213	440 oximetrías

Fuente: Boleta de recolección de datos

ODDS RADIO: 1.1359

IC 95%: 0.7814 – 1.6513

P= 0.5044

INTERPRETACION: 1.1359 de probabilidad de obtener oximetrías de pulso debajo de 88% al utilizar oxímetro de “bolsillo”. Los límites de intervalo de confianza para el 95% se encuentran entre 0.7814 – 1.6513, una asociación no estadísticamente significativa entre ambos oxímetros de pulso.

Tabla No. 3

62 Pacientes pediátricos con neumonía bacteriana o viral con oximetrías de pulso <88% y 62 pacientes pediátricos con neumonía bacteriana o viral con oximetrías de pulso ≥ 88 - 95%.

	Neumonía SpO ₂ <88%	Neumonía SpO ₂ 88-95%	Totales
Oxímetro de bolsillo	64	60	124
Masimo ®	62	62	124
TOTALES	126	122	248

Fuente: Boleta de recolección de datos

ODDS RADIO: 1.0667

IC: 95%: 0.6483 – 1.7551

P=0.7995

INTERPRETACION: 1.0667 de probabilidad de obtener oximetrías de pulso debajo de 88% al utilizar oxímetro de “bolsillo”; esto es traducido a 51% de probabilidad. Los límites de intervalo de confianza de 95% están de 0.6483-1.7551, una asociación no estadísticamente significativa entre ambos oxímetros del pulso.

Tabla No. 4

35 Pacientes pediátricos con bronquiolitis con oximetrías de pulso <88% y 35 pacientes pediátricos con bronquiolitis con oximetrías de pulso ≥ 88-95%.

	Bronquiolitis SpO2 <88%	Bronquiolitis SpO2 88-95%	Totales
Oxímetro de bolsillo	39	31	70
Masimo ®	35	35	70
TOTALES	74	66	140

Fuente: Boleta de recolección de datos

ODDS RADIO: 1.2581

IC 95%= 0.6471 – 2.4458

P=0.4985

INTERPRETACION: 1.2581 de probabilidad de obtener oximetrías de pulso debajo de 88% al utilizar oxímetro de “bolsillo”; esto es traducido a 55% de probabilidad. Los límites de intervalo de confianza de 95% están de 0.2645-1.8298, no hay diferencia estadísticamente significativa entre ambos oxímetros de pulso.

Tabla No. 5

13 Pacientes pediátricos con asma aguda con oximetrías de pulso <88% y 13 pacientes pediátricos con asma aguda con oximetrías de pulso ≥ 88-95%.

	Asma Oximetría <88%	Asma Oximetría 88-95%	Totales
Oxímetro de bolsillo	14	12	26
Masimo ®	13	13	26
TOTALES	27	25	52

Fuente: Boleta de recolección de datos

ODDS RADIO: 1.1667

IC 95%: 0.3927-3.4659

P=0.7815

INTERPRETACION: 1.16 de probabilidad de obtener oximetrías de pulso debajo de 88% al utilizar oxímetro de “bolsillo”; esto es traducido a 54% de probabilidad, los límites de intervalo de confianza de 95% está de 0.3927-3.4659, no hay diferencia estadísticamente significativa entre ambos oxímetros de pulso.

Tabla No. 6

Pacientes pediátricos con enfermedad respiratoria aguda: neumonía bacteriana o viral, bronquiolitis y asma, con oximetrías de pulso Masimo® Vs escala de Wood Downes.

	Wood Downes >5 pts.	Wood Downes < 4 pts.	Totales
OXIMETRIA <88% (MASIMO®)	48	62	110
OXIMETRIA 88-95% (MASIMO®)	28	82	110
TOTALES	76	144	220

Fuente: Boleta de recolección de datos

ODDS RADIO: 2.2673
IC 95%: 1.2809-4.0132
P=0.0050

Interpretación: 2.2673 de probabilidad de obtener oximetrías de pulso debajo de 88% al tener puntuaciones >5 pts. en la escala de Wood Downes en los pacientes con enfermedad respiratoria aguda. Los límites de intervalo de confianza para el 95% están de 1.2809-4.013, una asociación estadísticamente significativa.

Tabla No.7

Hemoglobina sérica asociado a oxímetro de pulso Masimo®, en pacientes con enfermedad respiratoria aguda: neumonía bacteriana o viral, bronquiolitis y asma aguda.

	OXIMETRIA Masimo® <88%	OXIMETRIA Masimo® 88-95%	Totales
Hemoglobina 8-10 g/dl	72	62	86
Hemoglobina >10 g/dl	38	48	134
TOTALES	110	110	220

Fuente: Boleta de recolección de datos

ODDS RADIO: 1.46
IC 95%: 0.8510-2.5285
P=0.16

Interpretación: Para un OR en 1.46, los límites de intervalo de confianza de 95% están de 0.8510-2.5285, una asociación no estadísticamente significativa.

Tabla No. 8

Sensibilidad y especificidad de SpO₂ por oximetría de pulso Masimo® vs estándar de oro PaO₂ en gases arteriales de pacientes pediátricos con enfermedad respiratoria aguda: neumonía bacteriana o viral bronquiolitis y asma aguda.

	GASES ARTERIALES PaO₂ < 80mmHg	GASES ARTERIALES PaO₂ ≥80mmHg	Totales
OXIMETRIA <88% MAXIMO®	78	32	110
OXIMETRIA 88-95% MAXIMO®	37	73	110
TOTALES	115	105	220

Fuente: Boleta de recolección de datos

Sensibilidad: 68%

IC de 95%: 59.2-76.3

Especificidad: 70%

IC de 95%: 60.7-78.3

VPP: 70.9%

VPN: 66.4%

Razón de verosimilitud (positiva): 2.22

Razón de verosimilitud (negativa):0.46

Razón de falsos positivos: 30.48 %

Razón de falsos negativos: 32.17%

Tabla No. 9

Sensibilidad y especificidad de SpO2 por oximetría de pulso “de bolsillo” vs estándar de oro PaO2 en gases arteriales de pacientes pediátricos con enfermedad respiratoria aguda: neumonía bacteriana o viral bronquiolitis y asma aguda.

	Gases Arteriales PaO2 <80mmHg	Gases Arteriales PaO2 ≥80mmHg	Totales
“Oxímetro de bolsillo” <88%	60	57	117
“Oxímetro de bolsillo” 88-95%	55	48	103
TOTALES	115	105	220 Pacientes

Fuente: Boleta de recolección de datos

Sensibilidad: 52%

IC de 95%: 43.04 – 61.30

Especificidad: 48 %

IC de 95%: 36.18-55.24

VPP: 51.3%

VPN: 46.6 %

Razón de verosimilitud (positiva): 0.96

Razón de verosimilitud (negativa):1.05

Razón de falsos positivos: 54.29 %

Razón de falsos negativos: 47.83 %

VI) DISCUSION Y ANALISIS

La detección del riesgo de hipoxia en pacientes con enfermedad respiratoria aguda como bronquiolitis, neumonía y asma agudizada, basado en la oximetría de pulso, es un problema en el tamizaje de pacientes que necesiten o no la utilización de oxigenoterapia, ya que si no se acompaña de un adecuado examen físico, se cae en el error de considerar por medio oximetría de pulso intermitente una $SpO_2 < 88\%$ igual a requerimiento de oxígeno suplementario, no tomando en cuenta que diferentes factores pueden interferir en una adecuada oximetría de pulso en el paciente pediátrico, como lo son el movimiento, la pigmentación, anemia, el oxímetro de pulso utilizado. En este estudio se comparó el oxímetro de pulso “de bolsillo” con el oxímetro de pulso Masimo® avalado por la FDA, de uso intermitente en pacientes pediátricos de 1 mes a 12 años de edad con enfermedad respiratoria aguda tales como neumonía viral o bacteriana, bronquiolitis y asma aguda, ingresados al servicio de infantes y cuarto piso de pediatría del Hospital Roosevelt, con la finalidad de evaluar el riesgo de detección de hipoxia con estos aparatos de diagnóstico.

Se realizó un estudio analítico transversal, para la comparación de dos tipos de oximetría de pulso de forma intermitente en el paciente pediátrico; se incluyeron 220 pacientes con enfermedad respiratoria aguda de los cuales el 56% tenían neumonía bacteriana o viral, 32% bronquiolitis y el 12% asma agudizada; no se observó una tendencia significativa de la enfermedad con respecto al sexo, ya que el 56% fueron masculinos y el 46% femeninos, sin embargo las edades más afectas se encontraron dentro de los rangos de 1-12 meses y 1 – 4 años de edad con el 34% y 31% respectivamente.

Los 220 pacientes distribuidos en 110 con Pulsioximetría Masimo® $< 88\%$ y 110 con Pulsioximetría Masimo® 88-95%, a los mismos posteriormente se les colocó el oxímetro de “bolsillo”, los resultados se documentaron en tablas de contingencia 2x2, obteniendo resultados de OR 1.1359 IC 95%: 0.7814 – 1.6513 P= 0.5044; lo anterior es una probabilidad del 53% de obtener oximetrías de pulso debajo de 88% al utilizar oxímetro de “bolsillo” en comparación con el Masimo®, por lo que no hubo diferencia significativa entre ambos oxímetros.

En base a lo anterior se analizó por separado a los 220 pacientes incluidos en el estudio según los diagnósticos de enfermedad respiratoria aguda: 124 pacientes con neumonía bacteriana y viral, 70 pacientes con bronquiolitis y 26 pacientes con asma agudizada, Los resultados de OR fueron > 1 en las tres patologías, una asociación positiva, sin embargo los intervalos de confianza del 95% fueron estadísticamente no significativos, por lo que también no hubo diferencias entre ambos oxímetros, al analizarlos por patología.

La diferencia entre ambos oxímetros no fue significativa, la pequeña diferencia entre ambos oxímetros puede deberse a que la oximetría de pulso convencional o de “bolsillo” funciona bajo el supuesto de que al enfocarse solamente en el pulso y la

normalización de la señal pulsátil sobre la señal no pulsátil, la saturación de oxígeno (SpO₂) puede medirse sin calibración. Aunque esto significó un gran avance en la evolución de la oximetría de pulso, tenía un defecto importante: asumir que el único factor pulsátil es la sangre arterial. Desafortunadamente para la oximetría de pulso convencional, la sangre venosa se mueve con cada movimiento o respiración del paciente. Esto ocasiona que los oxímetros de pulso convencional o de “bolsillo” indiquen una frecuencia de pulso y una SpO₂ falsas que pueden ser altas o bajas, lo que tiene como resultado falsas alarmas que pueden llegar hasta un 90 % en las UCI y en salas de recuperaciones. (10)

La escala de Wood Downes considerado como parte de la evaluación clínica del paciente con enfermedad respiratoria aguda; por lo que en los 110 pacientes con oximetría de pulso Masimo® <88% y 110 con oximetría de pulso Masimo® 88-95% se les califico con dicha escala. La puntuación obtenida por la escala de Wood Downes mostro un OR de 2.2673 con intervalos de confianza para el 95% en 1.2809-4.013, una asociación estadísticamente significativa, una probabilidad 2 veces más de presentar puntajes >5 puntos en la escala cuanto menor sea la SpO₂ en la oximetría de pulso Masimo®. La escala WD fue validada por consenso y está basada en los mecanismos de compensación activados ante la dificultad respiratoria por la obstrucción de la vía aérea. (22) Su fortaleza principal es incluir síntomas clínicos. Lo anterior también fue evidente al existir una buena correlación con la saturación de oxígeno. Su uso en la clínica podría permitir estandarizar las evaluaciones en cualquier sitio donde se atienden pacientes con enfermedad respiratoria aguda, realizando su importancia en la evaluación del paciente.

La asociación de los niveles hemoglobina encontrada en los 110 pacientes con oximetría de pulso <88% MASIMO ® y en los 110 con oximetría de pulso MASIMO ® 88-95% con enfermedad aguda respiratoria, para un OR en 1.46, los límites de intervalo de confianza de 95% están de 0.8510-2.5285, una asociación no estadísticamente significativa, es decir que la presencia de niveles de hemoglobina sérica <10 g/dl no se asoció a mayor ocurrencia de mediciones de oximetría de pulso debajo de 88%. La importancia es que en la anemia hay disminución del contenido de oxígeno arterial por reducción del número de moléculas de hemoglobina necesarias para el transporte de O₂. Esto relacionado con la literatura de tomar en cuenta la hemoglobina de los pacientes, ya que una hemoglobina menor de 5 g/dl, el oxímetro muestra una saturación falsa, y también hay hipoxemia debido a la disminución de los niveles de hemoglobina y, por lo tanto, disminución del contenido total de O₂. (23)

La oximetría de pulso es la estimación de la saturación arterial de oxígeno (SaO₂) en forma no invasiva, usando dos emisores de luz (roja e infrarroja, las cuales viajan a diferentes longitudes de onda) y un receptor colocados a través de un lecho capilar pulsátil, logran una medición del estado de oxigenación utilizando las propiedades diferenciales de absorción de la luz de la forma oxigenada y no oxigenada de la hemoglobina (1).

Evaluando la sensibilidad y la especificidad de cada oxímetro de pulso (oxímetro Masimo® y oxímetro de “bolsillo”) vs la PaO₂ en gases arteriales (estándar de oro). La sensibilidad del oxímetro de pulso Masimo® fue de 68% (intervalo de confianza [IC] del 95% 59.2-76.3). La especificidad fue del 70% (IC del 95%:60.7-78.3) VPP: 70.9% VPN: 66.4% Razón de verosimilitud (positiva): 2.22. La sensibilidad del oxímetro de pulso de “bolsillo fue del 52% IC de 95%: 43.04 – 61.30 y especificidad 48 % IC de 95%: 36.18-55.24 Reflejando que la utilización de oxímetro pulso Masimo ® en comparación con el oxímetro de “bolsillo”, utilizados de forma intermitente difieren; según los intervalos de confianza el oxímetro de pulso Masimo® es más sensible y específico en comparación con el oxímetro de “bolsillo”, y tiene una razón de verosimilitud positiva de 2.2 veces más probable encontrar un resultado positivo en un enfermo que en un sano.

El problema es que la oximetría de pulso de “bolsillo” no funciona principalmente a causa de artefactos de movimientos y/o mala perfusión, el 50-90 % de las alarmas son falsas, y durante más del 10 % del tiempo estos oxímetros no ofrecen una medición constante y adecuada, debido a mala perfusión, movimientos o luz; en comparación de los conceptos fundamentales invocados por la teoría de Masimo ® son: que la luz se absorbe de un modo muy diferente cuando hay movimiento, y que las mediciones con baja amplitud de la señal arterial son posibles con una tecnología adecuada. (8)

Por último, las mediciones de SpO₂ por debajo de 80 % y por encima de 95 % no predicen la PaO₂ de un modo fidedigno y exacto. Debemos recordar que además de la inexactitud de la SpO₂, que tiene errores entre 0,07 hasta incluso 5 % a SatO₂ de 85 a 100 %, los oxímetros de SpO₂ no permiten estimar la PaO₂ con exactitud cuando las saturaciones son superiores al 95 % en niños que respiran oxígeno. En este nivel de saturación, pequeños cambios en la SpO₂ (de 1 a 2 %) pueden asociarse con cambios relativamente grandes de la PaO₂(8). Por otra parte las oximetrías de pulso tomadas a los pacientes incluidos en este estudio se obtuvieron por lo menos 24 horas después de la toma de gases arteriales en los pacientes con enfermedad respiratoria aguda. Por lo que estas pudieron ser una de las razones por la cual los resultados de sensibilidad y especificidad de ambos oxímetros de pulso no se acercaron al 100%.

6.1 CONCLUSIONES

1. La utilidad del oxímetro de pulso Masimo® versus oxímetro “de bolsillo o populares”, en la evaluación intermitente, para detección de hipoxia en pacientes pediátricos con enfermedad respiratoria aguda, evaluada a través de OR en 1.1359, con IC de 95% de 0.7814 – 1.6513, no se observó diferencia estadísticamente significativas entre ambos oxímetros de pulso.
2. La sensibilidad y especificidad del oxímetro de pulso Masimo® en comparación el oxímetro de “Bolsillo”, ofreció mejores resultados en la detección de hipoxia, a pesar de que ambos oxímetros de pulso no se acercaron a resultados del 100%
3. La baja sensibilidad y especificidad observada en este estudio del oxímetro de “bolsillo o popular” se debe a que con este aparatos no avalados resulta difícil obtener lecturas precisas durante períodos de movimientos, baja perfusión y "ruido", lo que da lugar a frecuentes falsas lecturas.
4. La escala de Wood Downes en el paciente pediátrico con enfermedad respiratoria aguda se asoció a los niveles obtenidos con el oxímetro de pulso Masimo®, ya que a mayor puntaje en la escala clínica, los resultados de SpO2 por oximetría de pulso fueron menor a 88%
5. La presencia de niveles de hemoglobina sérica 8-10 g/dl, de los pacientes con enfermedad respiratoria aguda incluidos en el estudio no se asociaron a mayor ocurrencia de mediciones de Spo2 oximetría de pulso debajo de 88%.
6. La PaO2 y SaO2 en gasometría arterial sigue siendo el estándar de oro para la detección de hipoxia, sin embargo la oximetría de pulso es un forma indirecta, menos invasiva de detección de hipoxia en el paciente con enfermedad respiratoria aguda.

6.2 RECOMENDACIONES:

1. La oximetría de pulso es una herramienta útil sin embargo no debe sustituir la evaluación clínica del paciente con enfermedad respiratoria, sino ser un instrumento de apoyo en el diagnóstico de riesgo de hipoxia, en el paciente pediátrico con enfermedad respiratoria aguda, ya que son medidas indirectas de hipoxia.
2. La gasometría arterial es el estándar de oro para la detección de hipoxia en el paciente con enfermedad respiratoria aguda, sin embargo la oximetría de pulso puede ser útil en la detección de riesgo, como método indirecto cuando no se disponga de gases arteriales.
3. Ofrecer a nuestros pacientes la tecnología más precisa para su bienestar, por lo observado en el presente estudio el oxímetro Masimo® ofrece mejores resultados por su sensibilidad y especificidad documentada en comparación al de “bolsillo”.

VII REFERENCIA BIBLIOGRAFICAS

1. Mejía Salas H, Mejía Suárez M. Oximetría de pulso. Rev Soc Boliv Pediatría. 2012;51(2):149-55.
2. Hall J.E, Guyton A. Guyton & Hall. Tratado de Fisiología Medica. 12.^a ed. Elseiver; 2005. 485-493 p.
3. Muñoz FRG. Insuficiencia respiratoria aguda. [en línea] 2010 [citado el 30 julio de 2016] ;12. Disponible en file:///C:/Users/kimip/Zotero/storage/E7XFQKHU/Muñoz%20-%202010%20-%20Insuficiencia%20respiratoria%20aguda.pdf
4. Respiratory Failure: Background, Pathophysiology, Etiology. 15 de julio de 2019 [citado 25 de julio de 2019]; Disponible en: <https://emedicine.medscape.com/article/167981-overview>
5. Luna Paredes MC, Asensio de la Cruz O, Cortell Aznar I, Martínez Carrasco MC, Barrio Gómez de Agüero MI, Pérez Ruiz E, et al. Fundamentos de la oxigenoterapia en situaciones agudas y crónicas: indicaciones, métodos, controles y seguimiento. An Pediatría. agosto de 2009;71(2):161-74.
6. Fouzas S, Priftis KN, Anthracopoulos MB. Pulse oximetry in pediatric practice. Pediatrics. octubre de 2011;128(4):740-52.
7. Ahmad M. Accuracy of pulse oximetry during neonatal resuscitation [Internet]. [Egypt]: Ulm University; 2014. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/9926/ce8c509d786a8361f428bf8afc5f6e65d72d.pdf>
8. Sola A, Chow L, Rogido M. Oximetría de pulso en la asistencia neonatal en 2005. Revisión de los conocimientos actuales. An Pediatría. 1 de marzo de 2005;62(3):266-81.
9. Mejía Salas H, Mejía Suárez M. Oximetría de pulso. Rev Soc Boliv Pediatría. 2012;51(2):149-55.
10. Jensen LA, Onyskiw JE, Prasad NG. Meta-analysis of arterial oxygen saturation monitoring by pulse oximetry in adults. Heart Lung J Crit Care. diciembre de 1998;27(6):387-408.
11. American Academy of Pediatrics, American College of Obstetricians and Gynecologists, editores. Guidelines for perinatal care. 7th ed. Elk Grove Village, IL : Washington, DC: American Academy of Pediatrics ; American College of Obstetricians and Gynecologists; 2012. 580 p.
12. Rojas-Pérez DEM. Factores que afectan la oximetría de pulso. Revista Mexicana de Anestesiología. 2006;6.
13. Bickler PE, Feiner JR, Severinghaus JW. Effects of skin pigmentation on pulse oximeter accuracy at low saturation. Anesthesiology. abril de 2005;102(4):715-9.

14. O'Driscoll BR, Howard LS, Earis J, Mak V. BTS guideline for oxygen use in adults in healthcare and emergency settings. *Thorax*. junio de 2017;72(Suppl 1):ii1-90.
15. Luna Paredes MC, Asensio de la Cruz O, Cortell Aznar I, Martínez Carrasco MC, Barrio Gómez de Agüero MI, Pérez Ruiz E, et al. Fundamentos de la oxigenoterapia en situaciones agudas y crónicas: indicaciones, métodos, controles y seguimiento. *An Pediatría*. 1 de agosto de 2009;71(2):161-74.
16. Rasooly IR, Beidas RS, Wolk CB, Barg F, Landrigan CP, Schondelmeyer A, et al. Measuring overuse of continuous pulse oximetry in bronchiolitis and developing strategies for large-scale deimplementation: study protocol for a feasibility trial. *Pilot Feasibility Stud*. 2019;5:68.
17. Coarasa A, Giugno H, Cutri A, Loto Y, Torres F, Giubergia V, et al. Validación de una herramienta de predicción clínica simple para la evaluación de la gravedad en niños con síndrome bronquial obstructivo. *Arch Argent Pediatría*. abril de 2010;108(2):116-23.
18. López-Herranz GP. Oximetría de pulso: A la vanguardia en la monitorización no invasiva de la oxigenación. *Revista Médica del Hospital General de México*. Septiembre 2003:11.
19. Malviya S, Reynolds PI, Voepel-Lewis T, Siewert M, Watson D, Tait AR, et al. False alarms and sensitivity of conventional pulse oximetry versus the Masimo SET technology in the pediatric postanesthesia care unit. *Anesth Analg*. junio de 2000;90(6):1336-40.
20. Giuliano KK, Higgins TL. New-Generation Pulse Oximetry in the Care of Critically patients. *Am J Crit CARE*. 2005;14(1):15.
21. Barker SJ. «Motion-resistant» pulse oximetry: a comparison of new and old models. *Anesth Analg*. octubre de 2002;95(4):967-72, table of contents.
22. Shah N, Ragaswamy HB, Govindugari K, Estanol L. Performance of three new-generation pulse oximeters during motion and low perfusion in volunteers. *J Clin Anesth*. agosto de 2012;24(5):385-91.
23. Chamorro G, Coll E. Patrones de saturación Ergoespirometricos en función de la Edad. *Rev.int.med.cienc.act.fís.deporte*. Junio 2005:18.



VIII ANEXOS

UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA
DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA SALUD
PEDIATRIA



BOLETA DE RECOPIACIÓN DE DATOS USO OXIMETROS DE PULSO INTERMITENTE EN EL PACIENTE PEDIATRICO HOSPITAL ROOSVELT

NO. DE REGISTRO: _____

GÉNERO

 F M

EDAD DEL PACIENTE: _____ AÑOS

ENFERMEDAD RESPIRATORIA AGUDA:

Bronquiolitis

asma

Neumonía viral

Neumonía Bacteriana

OXIMETRIA DE PULSO MASIMO ®		
MSD		
<input type="checkbox"/>	<88 %	
<input type="checkbox"/>	89 %	
<input type="checkbox"/>	90 %	
<input type="checkbox"/>	91%-92	
<input type="checkbox"/>	93-94%	
<input type="checkbox"/>	>95%	

OXIMETRIA DE PULSO DE "BOLSILLO"		
MSD		
<input type="checkbox"/>	<88 %	
<input type="checkbox"/>	89 %	
<input type="checkbox"/>	90 %	
<input type="checkbox"/>	91%-92	
<input type="checkbox"/>	93-94%	
<input type="checkbox"/>	>95%	

OXIMETRIA DE PULSO MASIMO ®		
MSI		
<input type="checkbox"/>	<88 %	
<input type="checkbox"/>	89 %	
<input type="checkbox"/>	90 %	
<input type="checkbox"/>	91%-92	
<input type="checkbox"/>	93-94%	
<input type="checkbox"/>	>95%	

OXIMETRIA DE PULSO DE "BOLSILLO"		
MSI		
<input type="checkbox"/>	<88 %	
<input type="checkbox"/>	89 %	
<input type="checkbox"/>	90 %	
<input type="checkbox"/>	91%-92	
<input type="checkbox"/>	93-94%	
<input type="checkbox"/>	>95%	

OXIMETRIA DE PULSO MASIMO ®		
MII		
<input type="checkbox"/>	<88 %	
<input type="checkbox"/>	89 %	
<input type="checkbox"/>	90 %	
<input type="checkbox"/>	91%-92	
<input type="checkbox"/>	93-94%	
<input type="checkbox"/>	>95%	

OXIMETRIA DE PULSO "BOLSILLO"		
MII		
<input type="checkbox"/>	<88 %	
<input type="checkbox"/>	89 %	
<input type="checkbox"/>	90 %	
<input type="checkbox"/>	91%-92	
<input type="checkbox"/>	93-94%	
<input type="checkbox"/>	>95%	

OXIMETRIA DE PULSO MASIMO ®		
MID		
<input type="checkbox"/>	<88 %	
<input type="checkbox"/>	89 %	
<input type="checkbox"/>	90 %	
<input type="checkbox"/>	91%-92	
<input type="checkbox"/>	93-94%	
<input type="checkbox"/>	>95%	

OXIMETRIA DE PULSO "BOLSILLO"		
MID		
<input type="checkbox"/>	<88 %	
<input type="checkbox"/>	89 %	
<input type="checkbox"/>	90 %	
<input type="checkbox"/>	91%-92	
<input type="checkbox"/>	93-94%	
<input type="checkbox"/>	>95%	

WOOD DOWNES

- Cianosis
- Frecuencia Cardiaca
- Sibilancia
- Puntaje < de 4 puntos

- Tiraje Costal
- Ventilación
- Frecuencia.Respiratoria
- Puntaje > de 5 puntos

HEMOGLOBINA

- 8 -10 MG/DL
- >10 MG/DL

GASES ARTERIALES

SaO2

- <90%
- ≥90%

PaO2

- < 80mmHg
- 80mmHg

Escala de Wood Downes Modificada.

Anexo

Puntos	Sibilantes	Tiraje	FR	FC	Ventilación	Cianosis
0	No	No	<30	<120	Buena Simétrica	No
1	Final espiración	Subcostal Intercostal		>120	Regular Simétrica	Sí
2	Toda espiración	Supraclavicular Aleteo Nasal	35- 45		Muy disminuida	
3	Inspiración y espiración	Intercostal supraesternal	46- 60		Tórax silente	

PERMISO DE AUTOR PARA COPIAR EL TRABAJO

El autor concede permiso para reproducir total o parcialmente y por cualquier medio la tesis titulada “**COMPARACIÓN DE DOS TIPOS DE OXIMETRÍA DE PULSO DE FORMA INTERMITENTE EN EL PACIENTE PEDIÁTRICO**” para propósitos de consulta académica. Sin embargo, quedan reservados los derechos de autor que confiere la ley, cuando sea cualquier otro motivo diferente al que se señala lo que conduzca a su reproducción o comercialización total o parcial.