



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE MEDICINA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
INSTITUTO NACIONAL DE PEDIATRÍA**

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE ESPECIALISTA EN:

PEDIATRÍA

TITULO DE LA TESIS:

**COCIENTE PAO_2/FIO_2 O ÍNDICE DE KIRBY: DETERMINACIÓN
Y USO EN POBLACIÓN PEDIÁTRICA**

PRESENTA:

HAYDEÉ DEL PILAR SALAZAR ROSALES

TUTOR DE TESIS:

DRA. CLEOTILDE MIREYA MUÑOZ RAMIREZ



MÉXICO, D. F SEPTIEMBRE, 2015.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

"COCIENTE PAO_2/FIO_2 O ÍNDICE DE KIRBY:
DETERMINACIÓN Y USO EN POBLACIÓN PEDIÁTRICA"



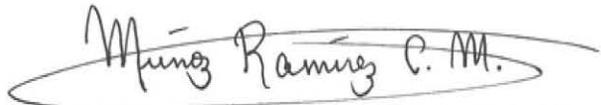
DR. ALEJANDRO SERRANO SIERRA
PROFESOR TITULAR DEL CURSO DE
ESPECIALIZACIÓN EN PEDIATRIA



DRA. ROSAURA ROSAS VARGAS
DIRECTORA DE ENSEÑANZA



DR. MANUEL ENRIQUÉ FLORES LANDERO
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE PRE Y POSGRADO



DRA. CLEOTILDE MIREYA MUÑOZ RAMÍREZ
TUTOR DE TESIS

INDICE

OBJETIVOS	1
JUSTIFICACIÓN	2
RESUMEN.....	3
ANTECEDENTES	4
COCIENTE PAO₂/FIO₂ O ÍNDICE DE KIRBY: DETERMINACIÓN Y USO EN POBLACIÓN PEDIÁTRICA.	6
INTRODUCCIÓN	6
USO EN LA CLÍNICA	10
CONCLUSIONES	13
BIBLIOGRAFIA.....	14

OBJETIVOS

1. Aplicar el cociente $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ en niños críticamente enfermos que cursen con patología pulmonar.
2. Hacer una interpretación clínica de el cociente $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ y $\text{SpO}_2/\text{FiO}_2$.
3. Clasificar la severidad del Síndrome de dificultad respiratoria aguda según el cociente $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$.

JUSTIFICACIÓN

Al ser el cociente $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ un valor útil para determinar el grado de hipoxemia y severidad de disfunción pulmonar aguda lo consideramos de utilidad para aplicarlo como parte del monitoreo en niños con afectación pulmonar severa y así poder auxiliarnos en la toma de decisiones y hacer un evaluación objetiva de los pacientes en estado crítico.

RESUMEN

Introducción: La hipoxemia es una consecuencia de muchas enfermedades y es imperioso que el médico tenga las herramientas necesarias para evaluarla. El índice de Kirby o $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ se trata de un cociente que mide indirectamente la lesión pulmonar, en la etapa pediátrica su aplicación más comprobada es como factor pronóstico de mortalidad. Las entidades que se manifiestan con síndrome de dificultad respiratoria aguda se benefician de dicha fórmula. En el siguiente texto se exponen las indicaciones para su uso, las limitaciones y ajustes necesarios en ciudades como la capital de México.

Métodos: Se realizó una revisión de la literatura, actualizada, y se consensó la información encontrada. Así mismo se explicarán las fórmulas que evalúan el cociente $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ y finalizaremos con cálculos con ejemplos de los ajustes de dicho cociente ante cambios de presión barométrica secundarias a las diferentes altitudes en las ciudades de México.

Conclusión: mediante el cociente $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ podremos determinar el grado de hipoxemia que presentan los pacientes pediátricos y al usar la fórmula corregida que incluye los cambios en la presión barométrica se podrá evaluar a los pacientes sin sobre estimar el grado de hipoxemia, así como se describirán las causas que condicionan esta alteración.

Palabras Claves: $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$, síndrome de dificultad respiratoria

ANTECEDENTES

El síndrome de insuficiencia respiratoria aguda fue descrito en su inicio por Ashbaugh y colaboradores en 1967 con modificaciones a través del tiempo en relación a criterios diagnósticos y fisiopatología. En 1994 Bernard y colaboradores incluyeron como criterio diagnóstico el cociente PaO_2/FiO_2 o Índice de Kirby.

En un estudio sobre correlación entre la SpO_2/FiO_2 con el Cociente PaO_2/FiO_2 en una muestra heterogénea de niños en estado crítico, incluyeron 3248 gasometrías y saturaciones de oxígeno por pulso oximetría, midieron en 298 pacientes SpO_2/FiO_2 y valores del Cociente PaO_2/FiO_2 de 100 (IC 95% 142-150) de 146, PaO_2/FiO_2 de 200 (IC 95% 228-244) de 236 y PaO_2/FiO_2 de 300 (IC 95% 285-308) de 296. Concluyendo que el cociente SpO_2/FiO_2 es una medida no invasiva adecuada y un marcador sustituto del cociente PaO_2/FiO_2 en pacientes con insuficiencia respiratoria hipoxémica.

En el 2007 se investigó la variación del cociente PaO_2/FiO_2 con el FiO_2 , concluyendo que es dependiente de la FiO_2 y nivel de PaO_2 . Al cambiarse el nivel de FiO_2 , la clasificación de lesión pulmonar aguda o síndrome de dificultad respiratoria aguda cambia en un 30% de los pacientes.

En México

Se realizó un estudio sobre la relación de SpO_2/FiO_2 y grado de correlación con el cociente PaO_2/Fi_2 en la evaluación de las alteraciones de la oxigenación pulmonar en neumonía adquirida en la comunidad, donde concluyen que tiene muy buena correlación y proponen su utilización para evitar punciones arteriales por medio de la ecuación lineal simple ajustada de $y = 61.5 + 0.97(x)$.

En el 2008 se realizó un estudio sobre corrección del índice de oxigenación en los pacientes críticos al nivel de la ciudad de México donde se muestra que el índice

de Kirby corregido con respecto a la escala de Murray tiene una sensibilidad del 100% y una especificidad del 66%.

Concluyendo que el ajuste o corrección de acuerdo a la altura o presión barométrica, es necesaria para evitar sobrevaluar el diagnóstico de lesión pulmonar aguda y síndrome de distres respiratorio agudo con una significativa estadística $p < 0.001$

En el 2010 se realizó un ajuste de la relación PaO_2/FiO_2 a la presión barométrica ya que a medida que disminuye la presión barométrica como consecuencia de la disminución de la presión atmosférica, disminuye la presión parcial de oxígeno. La PaO_2/FiO_2 ajustada = $\frac{PaO_2}{P_{atm}} \times P_{atm} \times \frac{PaO_2}{FiO_2}$

COCIENTE PaO₂/FIO₂ O ÍNDICE DE KIRBY: DETERMINACIÓN Y USO EN POBLACIÓN PEDIÁTRICA

Introducción

La fisiopatología de la hipoxemia observada en muchas enfermedades se da por desequilibrio en la ventilación y perfusión (V/Q) y shunts. Se conoce como falla respiratoria hipoxémica o tipo I. Los alveolos bien ventilados sin gran perfusión son unidades con un cociente alto de V/Q y, por el contrario, los alveolos con poca ventilación y ampliamente perfundidos tienen un cociente bajo de V/Q. Esto sucede normalmente en el pulmón dependiendo de la zona. El desequilibrio V/Q es la causa más común de hipoxemia con las dos unidades previamente descritas que contribuyen a la hipoxemia; es decir, las unidades V/Q con cociente alto se ventilan pero no aportan a la oxemia por su pobre perfusión y las unidades V/Q con cociente bajo pueden aumentar debido a la disminución de la ventilación, por enfermedad intersticial o de vía respiratoria. Un shunt o derivación verdadera se define como la persistencia de hipoxemia pese al suministro de oxígeno al 100%. La sangre desoxigenada se salta el alveolo ventilado y se mezcla con sangre que sí se ha oxigenado, causando una disminución de oxígeno en la sangre. Causas de shunts incluyen: atelectasia, neumonía, insuficiencia cardíaca congestiva, malformación arteriovenosa (Cuadro I).

Cuadro I. Causas de alteración de la desviación del <i>shunt</i> y del equilibrio V/Q.	
Se suministra oxígeno al 100%	
La hipoxemia no se corrige Derivación verdadera o shunt	La hipoxemia se corrige Desequilibrio V/Q
Colapso alveolar (atelectasia)	Vía respiratoria (asma, enfermedad pulmonar obstructiva crónica)
Llenado alveolar (neumonía, insuficiencia cardíaca congestiva)	Alveolar (neumonía, insuficiencia cardíaca congestiva)
Derivación intrapulmonar (MAV = malformación arteriovenosa)	Vascular (embolia pulmonar)

Cuando disponemos de gasometría arterial, se revisa la respuesta del paciente al suministro de oxígeno como a continuación se muestra. En esta sub población es difícil distinguir la falla respiratoria hipoxémica o tipo I de la hipercapnia o falla respiratoria tipo II, ya que hay muchos más factores implicados en la fisiopatología que imbrican uno u otro tipo de insuficiencia respiratoria (Cuadro II).

Cuadro II. Enfermedades que causan falla respiratoria.
Enfermedades que involucran de manera primaria al tracto respiratorio
Obstrucción de la vía aérea superior (Crup, aspiración de cuerpo extraño, epiglotitis, hipertrofia linfoidea)
Obstrucción de la vía aérea inferior (bronquiolitis, asma, displasia broncopulmonar)
Enfermedad pulmonar (neumonía, SDRA, edema pulmonar, ahogamiento)
Dificultad mecánica en la ventilación
Desórdenes neuromusculares/miopatías/botulismo/Guillain-Barré
Trauma y malformaciones de la pared torácica, escoliosis congénita severa
Derrame pleural, neumotórax
Falla del SNC para controlar la ventilación
Status epiléptico, infección del SNC, intoxicaciones, trauma, apnea del prematuro
Falla para satisfacer las necesidades de oxígeno de los tejidos
Hipovolemia, choque séptico
Insuficiencia cardíaca
Trastornos metabólicos, intoxicación ¹¹

En cuanto a la incidencia en población pediátrica, está inversamente relacionada con la edad. Dos tercios ocurren en el primer año después de nacer y la mitad se diagnostica en el periodo neonatal (este subgrupo es especialmente susceptible por problemas debidos a prematurez y la transición fallida de la vida intrauterina a la extrauterina).¹ Debido a la mayor incidencia en comparación con la población adulta, deben hacerse notar las diferencias en el aparato respiratorio (Cuadro III).

Cuadro III. Diferencias entre población pediátrica y adulta en el aparato respiratorio.

Vía respiratoria extratorácica	Vía respiratoria intratorácica	Bomba respiratoria (SNC, músculos y pared respiratoria)
a) Respiración nasal b) Vía aérea pequeña en comparación con la proporción de un adulto c) Lengua grande d) Laringe cefálica en C3-C4 e) Epiglotis horizontal f) Área subglótica estrecha g) Tejido linfóideo h) Anormalidades no corregidas congénitas como paladar hendido, secuencia Pierre Robin y adquiridas como estenosis subglótica, traqueomalacia, laringomalacia	a) Menor cantidad de alveolos, al nacer 20 millones b) Alveolos pequeños c) La ventilación colateral no se ha desarrollado al máximo d) Poco soporte cartilaginoso, más facilidad de colapso en ventilación mecánica e) El daño alveolar residual de la displasia broncopulmonar disminuye la complianza pulmonar	a) El centro respiratorio es inmaduro b) Las costillas están orientadas en el plano horizontal con una capacidad menor para aumentar el volumen corriente c) Poco desarrollo de los músculos respiratorios d) Menor capacidad funcional residual por baja resistencia al colapso

Cuando existe hipoxemia e hipercarbia, se descartará hipoventilación, así podremos continuar con la valoración de la hipoxemia.² Para eso contamos con el cociente PaO_2/FiO_2 o el popularmente conocido índice de Kirby. El cociente PaO_2/FiO_2 determina dividiendo los siguientes valores:

1. La presión parcial de oxígeno es la medición de las partículas de oxígeno disueltas en la sangre expresadas en mmHg o kPA, se mantiene estable en todo el árbol arterial, ya que no hay consumo de oxígeno en éste. Se entiende por lo tanto que esta medición denota el grado de oxemia.

2. La fracción inspirada de oxígeno es la concentración o proporción de oxígeno en la mezcla del aire inspirado. El oxígeno ocupa aproximadamente 20.93% del aire ambiental, por lo cual se acepta que la fracción inspirada de oxígeno es de 0.21 a cualquier altitud sobre el nivel del mar. Así tenemos que:

$$\text{Cociente } PaO_2/FiO_2 = \frac{PaO_2}{FiO_2 (\text{en porcentaje})} \times 100$$

Cociente $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ ($\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ en porcentaje) x 100

Ejemplo con $\text{PaO}_2 = 86$ mmHg y FiO_2 21%

$$(86/21) \times 100 = 409$$

O bien:

$$\text{Cociente } \text{PaO}_2 / \text{FiO}_2 = \frac{\text{PaO}_2}{\text{FiO}_2}$$

FiO₂ (en valor decimal)

Ejemplo con $\text{PaO}_2 = 86$ mmHg y FiO_2 0.21

$$(86/0.21)=409$$

Ahora, tenemos varias consideraciones.

1. Para futuras referencias decidimos no emplear el epónimo índice de Kirby, ya que aun cuando popularmente se le conoce así, en las publicaciones médicas no se refieren a este cálculo con el epónimo.

2. Se sugiere ajustar con una fórmula sencilla el cociente en ciudades que se encuentran a más de 1,000 metros sobre el nivel del mar,³ debido a que conforme se asciende en altura en metros, disminuye la presión atmosférica y por lo tanto disminuye la presión parcial de oxígeno, afectando el cociente. Se ajusta de la siguiente manera:

$$\text{Cociente } \text{PaO}_2/\text{FiO}_2 \text{ ajustado} = (\text{PaO}_2/\text{FiO}_2) (\text{Presión barométrica del lugar} / 760)$$

Como ejemplo, tenemos a un paciente que tiene una PaO₂ de 86 mmHg en la Ciudad de México (presión barométrica de 580 mmHg) con FiO₂ de 40%. Al calcular el cociente PaO₂/FiO₂ tenemos:

$$\text{Cociente PaO}_2/\text{FiO}_2 : 86 \text{ mmHg}/0.4 = 215$$

Para corregirlo de acuerdo con la presión a la altura en la Ciudad de México: Cociente PaO₂/FiO₂ ajustado: (215) (580/760) = 164. En este caso disminuyó el puntaje del cociente esperado, cuando a mayor altitud sobre el nivel del mar hay menor presión parcial de oxígeno debido a la disminución de la presión barométrica.

Existen tablas con la presión barométrica de muchas de las ciudades de la República Mexicana.⁴ Esta modificación carece de uso clínico, sin embargo, es útil revisarla para la siguiente consideración.

3. A mayores altitudes, menor PaO₂, con lo cual disminuye el cociente PaO₂/FiO₂. Si corrigiéramos el cociente de acuerdo con la altitud con la fórmula anterior, el cociente indicaría resultados bajos, hipoxemia. A esto hay que sumar que a mayor altitud las personas completamente normales están acostumbradas a menor concentración de oxígeno. Esta consideración es valiosa cuando revisamos la aplicación de este cociente en la clínica a tratar continuación.

Uso en la clínica

El cociente determina la cantidad de oxígeno disuelto en la sangre a partir del oxígeno suministrado, por ello su utilidad clínica principal radica en determinar la falla en dicho mecanismo si los valores son bajos.

- Actualmente el cociente PaO₂/FiO₂ se utiliza en la definición de Berlín para el síndrome de dificultad respiratoria aguda (SDRA) junto con otros parámetros.⁵ De acuerdo con el cociente, puede dividirse en: leve, moderada o severa (Cuadro IV).

Cuadro IV. Gravedad clasificada de acuerdo con el $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$.	
Leve	$\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 \leq 300$ pero > 200
Moderada	$\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 \leq 200$ pero > 100
Severa	$\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 \leq 100$

La mortalidad de los pacientes con SDRA severa es la más alta, reportándose hasta en 46%. Para la población pediátrica esta escala está valorada para niños de hasta 18 meses,⁶ pero en un estudio brasileño se empleó en niños y jóvenes de hasta 15 años, encontrando mortalidad similar reportada en estudios de adultos.⁷

- La clasificación AECC (de la cual se originó la clasificación de Berlín) también tomaba en consideración este cociente, pero clasificando el SDRA como sigue:

- Daño pulmonar agudo: Cociente $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ menor a 300

- Síndrome de dificultad respiratoria aguda⁸: Cociente $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ menor a 200

Como es evidente, el SDRA está incluido en la definición de daño pulmonar agudo o ALI por sus siglas en inglés (Acute Lung Injury) y por ésta y otras limitaciones se publicó la definición de Berlín en 2012.

- Ahora, tomando en cuenta la consideración 3 para los criterios de inclusión del ARDS net en adultos para el protocolo de ventilación mecánica se utiliza corrección del cociente $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ como sigue:

Cociente $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ Cociente $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ menor a 300

Cociente $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ a más de 1,000 m sobre el nivel del mar: Menor a (300)(Presión barométrica/760)

Disminuyendo así el límite para el diagnóstico de SDRA.⁹ Con esta corrección en altitud está modificándose el límite para determinar si un paciente tiene ARDS, en

vez de la corrección del cociente PaO_2/FiO_2 del paciente que se mostró en la consideración 3.

Hay nuevas propuestas como el índice SpO_2 / FiO_2 (SF) como monitorización no invasiva que puede ser una alternativa de monitorización respiratoria, ya que al comparar ambos índices no se observó ninguna diferencia estadísticamente significativa y se demostró que existe una relación lineal estadísticamente significativa (Cuadro V).¹⁰

Cuadro V. Clasificación según el <i>National Heart, Lung and Blood Institute</i> ARDS.			
Grados	Índice PaO_2/FiO_2	Índice SpO_2/FiO_2	Nivel de FiO_2 requerido para SaO_2 92-98%
Normal			> 68%
Hipoxemia	> 300	> 315	68-60%
Lesión aguda pulmonar	300-200	315-236	48-61%
SDRA	< 200	< 236	< 48%

CONCLUSIONES

- En población pediátrica, las causas de hipoxemia son amplias e incluyen las derivadas de la prematurez, propias de la edad y que representan diferencias significativas en comparación con la población adulta.
- El cociente de PaO_2 / FiO_2 es una manera sencilla para determinar hipoxemia

BIBLIOGRAFIA

1. Nitu ME, Egen H. Respiratory failure. *Pediatrics*. 2009; 30 (12): 470-478. doi: 10.1542.
2. Sabatine MS. Medicina de bolsillo. Edición española de la obra original en lengua inglesa Pocket Medicine. Insuficiencia respiratoria. 4a ed. Editorial Gea consultoría; 2011: pp. 2-18. ISBN: 97884996921900.
3. Montes-De Oca Sandoval MA, Xóchitl-Pádua MA, Olvera-Guzmán CI, Franco-Granillo J. Ajuste de la relación PaO₂ /FiO₂ a la presión barométrica: presión barométricaPaO₂ /FiO₂ . *Revista de la Asociación Mexicana de Medicina Crítica y Terapia Intensiva*. 2010; 24 (1): 8-12.
4. Vázquez-García JC, Pérez-Padilla R. Valores gasométricos estimados para las principales poblaciones y sitios a mayor altitud en México. *Rev Inst Nal Enf Resp Mex*. 2000; 13 (1): 6-13.
5. The ARDS task force. Acute respiratory distress syndrome the Berlin definition. *JAMA*. 2012; 307 (23): 2525-2533.
6. De Luca D, Piastra M, Chidini G. Respiratory section of the European Society for Pediatric Neonatal Intensive Care (ESPNIC): the use of the Berlin definition for acute respiratory distress syndrome during infancy and early childhood: multicenter evaluation and expert consensus. *Intensive Care Med*. 2013; 39: 2083-2091.
7. Barreira ER, Munoz GO, Cavalheiro PO, Suzuki AS, Degaspere NV, Shieh HH et al. Epidemiology and outcomes of acute respiratory distress syndrome in children according to the Berlin definition: a multicenter prospective study. *Critical Care Med*. 2015; Published ahead of print. doi: 10.1097/CCM.0000000000000866.

8. Bernard GR, Artigas A, Brigham KL, Carlet K, Falke L, Hudson L et al. The American-European Consensus Conference on ARDS: definitions, mechanisms, relevant outcomes, and clinical trial coordination. *Am J Respir Crit Care Med.* 1994; 149 (3): 818-824.
9. Karbing D, Kjærgaard S, Smith B, Espersen K, Allerød C, Andreassen S et al. Variation in the PaO₂/FiO₂ ratio with FiO₂: mathematical and experimental description, and clinical relevance. *Critical Care.* 2007 [consulta 02 de febrero de 2014]; 11: R118. Disponible en: <http://ccforum.com/content/11/6/R118>
10. Rincón J. Correlación de los índices PaO₂/FiO₂ y SpO₂/ FiO₂ en el postoperatorio de cirugía cardíaca en una Unidad de Terapia Postquirúrgica Cardiovascular. *Rev Asoc Mex Med Crit y Ter Int.* 2013; 26 (2): 71-76.
11. Hammer J. Acute respiratory failure in children. *Pediatric Respiratory Reviews.* 2013; 14: 64-69.