

El Residente

## REVISIÓN - OPINIÓN

# Cociente $PaO_2/FiO_2$ o índice de Kirby: determinación y uso en población pediátrica

Ana Mariel Morales-Aguirre,\* Horacio Márquez-González,\*\* Haydeé Salazar-Rosales,\*\*\*  
Jorge Luis Álvarez-Valencia,\*\*\* Cleotilde Mireya Muñoz-Ramírez,\*\*\* Patricia Zárate-Castañón\*\*\*

**RESUMEN.** 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  $PaO_2/FiO_2$  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.

**Palabras clave:**  $PaO_2/FiO_2$ , síndrome de dificultad respiratoria.

**ABSTRACT.** Hypoxemia is a consequence of many diseases and it is imperative that the physician has the necessary tools to evaluate it. Kirby index or  $PaO_2/FiO_2$  is a ratio which indirectly measures the lung injury in the pediatric stage its proven application is as a predictor of mortality. The entities that manifest with acute respiratory distress syndrome benefit from this formula. In the following the directions for use, limitations and adjustments in cities like the capital of Mexico are presented.

**Key words:**  $PaO_2/FiO_2$ , respiratory distress syndrome.

## 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

\* Cirugía, Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición «Salvador Zubirán».

\*\* Cardiopatías Congénitas, Centro Médico Nacional Siglo XXI.

\*\*\* Terapia Intensiva Pediátrica, Instituto Nacional de Pediatría.

Correspondencia:

Horacio Márquez-González

UMAE Hospital de Cardiología. Av. Cuauhtémoc No. 330, Col. Doctores, CP. 06720. México, D.F. Conmutador: 56276900, ext. 22203.

E-mail: horacioinvestigacion@hotmail.com

www.medigraphic.org.mx

### Conflicto de intereses:

Todos los autores declaran que no existe ningún conflicto de intereses con respecto a la publicación de este artículo.

Recibido: 9 de marzo de 2015. Aceptado con modificaciones: 16 de junio de 2015.

Este artículo puede ser consultado en versión completa en: [www.medigraphic.com/elresidente](http://www.medigraphic.com/elresidente)

**Cuadro I. Causas de alteración de la desviación del *shunt* y del equilibrio V/Q.**

Se suministra oxígeno al 100%	
La hipoxemia no se corrige Derivación verdadera o <i>shunt</i>	La hipoxemia se corrige Desequilibrio V/Q
Colapso alveolar (atelectasia) Llenado alveolar (neumonía, insuficiencia cardiaca congestiva) Derivación intrapulmonar (MAV = malformación arteriovenosa)	Vía respiratoria (asma, enfermedad pulmonar obstructiva crónica) Alveolar (neumonía, insuficiencia cardiaca congestiva) Vascular (embolia pulmonar)

**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 cardiaca
  - Trastornos metabólicos, intoxicación<sup>11</sup>

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 cardiaca congestiva, malformación arteriovenosa (*Cuadro I*).

Cuando disponemos de gasometría arterial, se revisa la respuesta del paciente al suministro de oxígeno como a continuación se muestra.

En esta subpoblación 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*).

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 prematuridad y la transición fallida de la vida intrauterina a la extrauterina).<sup>1</sup> Debido a la mayor incidencia en comparación con la población adulta, deben hacerse notar las diferencias en el aparato respiratorio (*Cuadro III*).

Cuando existe hipoxemia e hipercapnia, se descartará hipoventilación, así podremos continuar con la valoración de la hipoxemia.<sup>2</sup> 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:

Cociente PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> = PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> (en porcentaje) x 100

$$\text{Cociente PaO}_2/\text{FiO}_2 \left( \frac{\text{PaO}_2}{\text{FiO}_2 \text{ en porcentaje}} \right) 100$$

Ejemplo con PaO<sub>2</sub> = 86 mmHg y FiO<sub>2</sub> 21%

$$\left( \frac{86}{21} \right) 100 = 409$$

O bien:

$$\text{Cociente PaO}_2/\text{FiO}_2 \left( \frac{\text{PaO}_2}{\text{FiO}_2 \text{ en valor decimal}} \right)$$

Ejemplo con PaO<sub>2</sub> = 86 mmHg y FiO<sub>2</sub> 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,<sup>3</sup> 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:

Cociente PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> ajustado =

$$\text{Cociente} \left( \frac{\text{PaO}_2}{\text{FiO}_2} \right) \left( \frac{\text{Presión barométrica del lugar}}{760} \right)$$

Como ejemplo, tenemos a un paciente que tiene una PaO<sub>2</sub> de 86 mmHg en la Ciudad de México (presión barométrica de 580 mmHg) con FiO<sub>2</sub> de 40%.

Al calcular el cociente PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> 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 PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> 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.<sup>4</sup>

Esta modificación carece de uso clínico, sin embargo, es útil revisarla para la siguiente consideración.

3. A mayores altitudes, menor PaO<sub>2</sub>, con lo cual disminuye el cociente PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub>. 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 PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> se utiliza en la definición de Berlín para el síndrome de dificultad respiratoria aguda (SDRA) jun-

**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

**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	$\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 \leq 100$

to con otros parámetros.<sup>5</sup> De acuerdo con el cociente, puede dividirse en: leve, moderada o severa (*Cuadro IV*).

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,<sup>6</sup> pero en un estudio brasileño se empleó en niños y jóvenes de hasta 15 años, encontrando mortalidad similar reportada en estudios de adultos.<sup>7</sup>

- 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

**Cuadro V. Clasificación según el *National Heart, Lung and Blood Institute* ARDS.**

Grados	Índice $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$	Índice $\text{SpO}_2/\text{FiO}_2$	Nivel de $\text{FiO}_2$ requerido para $\text{SaO}_2$ 92-98%
Normal			$> 68\%$
Hipoxemia	$> 300$	$> 315$	68-60%
Lesión aguda pulmonar	300-200	315-236	48-61%
SDRA	$< 200$	$< 236$	$< 48\%$

Síndrome de dificultad respiratoria aguda<sup>8</sup>      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 PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub>      Cociente PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub>  
 menor a 300  
 Cociente PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub>  
 a más de 1,000 m      Menor a:  $(300) \left( \frac{\text{Presión barométrica}}{760} \right)$   
 sobre el nivel del mar

Disminuyendo así el límite para el diagnóstico de SDRA.<sup>9</sup> Con esta corrección en altitud está modificándose el límite para determinar si un paciente tiene ARDS, en vez de la corrección del cociente PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> del paciente que se mostró en la consideración 3.

Hay nuevas propuestas como el índice SpO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> (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*).<sup>10</sup>

## 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<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> es una manera sencilla para determinar hipoxemia.

## BIBLIOGRAFÍA

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 PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> a la presión barométrica: presión barométrica-PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub>. *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 PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> ratio with FiO<sub>2</sub>: 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 PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> y SpO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> 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.