

## Cálculo de los contenidos arterial y venoso de oxígeno, de la diferencia arteriovenosa de oxígeno, tasa de extracción tisular de oxígeno y shunt intrapulmonar con unas nuevas fórmulas, basadas en la saturación de oxígeno.

*Alonso Gómez Duque MD. Profesor Asistente, Departamento de Medicina Interna, Gilberto Fernández MD. Director Unidad de Cuidados Intensivos. Álvaro Augusto Gutiérrez MD. Ex-director Hospital San Juan de Dios, Gabriel Montenegro MD. Unidad de Medicina Interna, Luis Carlos Daza MD. Unidad de Cuidados Intesivos, Carlos Fernandez MD. Unidad de Cuidados Intensivos, Hospital San Juan de Dios, Licenciada Nancy Manrique, Enfermera, Unidad de Cuidados Intensivos, Clínica Palermo,*

### SUMMARY

Arterial blood gases sampling is a very useful tool in the evaluation of the peripheral perfusion state in the critically ill. Although extensively used, there is a high possibility of doing a wrong process of data, because the complexity of the mathematical formulations. In an attempt to simplify the operations devoted to evaluate the tissue perfusion of patients in the intensive care unit, we propose a new group of formulations eliminating the free oxygen content in blood in the estimation of: arterial - venous oxygen difference (DavO<sub>2</sub>); oxygen extraction rate (Tex O<sub>2</sub>); oxygen blood content (coO<sub>2</sub>) and intrapulmonary shunt (QS/QT).

First, we compare retrospectively the results obtained using the traditional formulations and the new ones in a group of 100 samples selected by means of "random number" function of Excel ®.

Then, we perform a prospective follow-up in two intensive care units in Santafé de Bogotá comparing the two methods of blood gases evaluation. Furthermore, we made the calculations using the arterial blood oxygen saturation given by the blood gases determination and the one obtained directly by the pulse-oxymeter, usually located at the index finger of the patient.

By using media comparison as well as linear regression analysis we could establish a high correlation index between the two methods of evaluation.

These results demonstrate that it is possible to eliminate the free plasma oxygen content to perform an accurate evaluation of the peripheral perfusion state of the critically ill. Furthermore, by using the blood oxygen saturation obtained with a pulse-oxymeter, it could be possible even

to avoid the procedure of blood gases sampling in some clinical settings.

### RESUMEN

La evaluación del estado de perfusión tisular en el paciente en estado crítico comporta, además del procedimiento de toma de gases arteriales y venosos, la ejecución de numerosos cálculos basados en fórmulas matemáticas preestablecidas. El desarrollo de estos cálculos conlleva la posibilidad de error (más grande cuánto más complejas las fórmulas), además de la iatrogenia derivada del procedimiento de toma de gases en sí mismo.

En un intento por simplificar las operaciones matemáticas necesarias para la evaluación gasimétrica, se efectuó una revisión de las fórmulas tradicionales evaluando la posibilidad de reducir algunos de sus elementos, particularmente el contenido de oxígeno disuelto en sangre, en el cálculo de la diferencia arterio-venosa de oxígeno (DavO<sub>2</sub>); la tasa de extracción de oxígeno (Tex O<sub>2</sub>); el contenido arterial, venoso y capilar de oxígeno (CoO<sub>2</sub>); y el "shunt" intrapulmonar (QS/QT).

Se llevó a cabo una simulación computarizada retrospectiva comparando los resultados obtenidos con la fórmula tradicional y aquellos obtenidos con la simplificada, utilizando 100 muestras seleccionadas mediante la función "random number" de Excel ®.

Por último, se realizó un estudio prospectivo en dos unidades de cuidado intensivo de Santafé de Bogotá (Hospital San Juan de Dios y Clínica Palermo) comparando las dos modalidades de cálculo gasimétrico. En esta última etapa, además de establecer la correlación entre las fórmulas tradicionales y las simplificadas, también se compararon los resultados obtenidos cuando las fórmulas se desarrollaron con base en la saturación de oxígeno calculada con el equipo de gases y aquella obtenida directamente por la lectura del oxímetro de pulso colocado, habitualmente, en el dedo índice del paciente. Mediante comparación de medias y el análisis de regresión lineal para cada grupo de fórmulas analizadas, se pudo establecer la existencia de altos índices de correlación entre unas y otras.

Los resultados demuestran que es posible suprimir el cálculo del oxígeno disuelto en sangre para la evaluación del estado de perfusión tisular del enfermo crítico y que, adoptando como medida de la saturación arterial de oxígeno aquella obtenida directamente por el oxímetro de pulso, en muchas circunstancias clínicas se podría incluso, evitar la toma de gases arteriales.

### INTRODUCCIÓN

En el ejercicio de la medicina crítica, la evaluación del estado de perfusión tisular y del grado de compromiso pulmonar son instrumentos esenciales para la orientación te-

rapéutica de los enfermos (1).

Esta evaluación requiere de cálculos complejos y dispendiosos en cuya elaboración se puede incurrir en error, amén del tiempo necesario para elaborarlos.

La diferencia arteriovenosa de oxígeno (DavO2) y la tasa de extracción tisular de oxígeno (TexO2) son parámetros que permiten evaluar el grado de acoplamiento entre el aporte de O2 y las necesidades tisulares de O2 (1).

Para su cálculo es necesario cuantificar los contenidos arteriales y venosos de Oxígeno (O2) y a partir de ello derivar las fórmulas pertinentes.(2).

La fórmula general de los contenidos es la siguiente:

$$\text{Contenido de O2} = (1.39 \times \text{Hb} \times \text{SatO2}) + (0.03 \times \text{PO2}) \quad (2)$$

En esencia la fórmula calcula el contenido de O2 en mL/100 cc de sangre, y para ello suma la cantidad de O2 seguido a la Hb (1.39 x Hb x SatO2) con el oxígeno disuelto (0.03 x PO2).

Una vez calculados los contenidos, la DavO2 está dada por la diferencia de ellos entre la sangre arterial y la venosa. Es decir, DavO2 = CaO2 - CvO2, en donde CaO2 es el contenido arterial de O2 en mL/100cc de sangre arterial y CvO2 es el contenido venoso de O2 en mL/100cc de sangre venosa.

Si reemplazamos los contenidos en la fórmula de la DavO2, la fórmula general será:

$$\text{DavO2} = [(1.39 \times \text{Hb} \times \text{SaO2}) + (0.03 \times \text{PaO2})] - [(1.39 \times \text{Hb} \times \text{SvO2}) + (0.03 \times \text{PvO2})].$$

La TexO2 se define matemáticamente como:

$$\text{TexO2} = (\text{CaO2} - \text{CvO2}) / (\text{CaO2})$$

Si procedemos a reemplazar los contenidos la fórmula será:

$$\text{TexO2} = \{[(1.39 \times \text{Hb} \times \text{SaO2}) + (0.03 \times \text{PaO2})] - [(1.39 \times \text{Hb} \times \text{SvO2}) + (0.03 \times \text{PvO2})]\} / \{[(1.39 \times \text{Hb} \times \text{SaO2}) + (0.03 \times \text{PaO2})]\}.$$

El shunt intrapulmonar (Qs/Qt) es un cálculo que permite estimar la proporción del gasto cardíaco que no está siendo efectivamente oxigenada (Ref). Su fórmula general es la siguiente:

$$\text{Qs/Qt} = (\text{CcO2} - \text{CaO2}) / (\text{CcO2} - \text{CvO2})$$

en la que CaO2 y CvO2 son los contenidos de oxígeno arterial y venoso y CcO2 es el contenido capilar de O2.

Los contenidos arteriales y venosos se calculan como se señaló arriba y el CcO2 requiere de un tratamiento adicional. En efecto, es necesario calcular la presión alveolar de O2 (PalO2) y con ella derivar la saturación en el capilar.

La PalO2 se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\text{PalO2} = (\text{Pb} \times \text{PvH}_2\text{O} \times \text{FiO2}) - \text{PaCO2} / \text{R} \quad (2).$$

En la que Pb es la presión barométrica, PvH2O la presión del vapor de agua y R el cociente respiratorio.

A su vez, para el cálculo del contenido capilar se utiliza la fórmula general de los contenidos, es decir:

$$\text{CoO2} = (1.39 \times \text{Hb} \times \text{ScO2}) + (0.003 \times \text{PalO2})$$

Como quiera que la evaluación de los gases capilares no es susceptible de análisis en el equipo de gases, porque no es posible obtener una muestra del capilar, el recurso empleado es su cálculo total a partir de la presión alveolar. Para ello, es necesario entonces calcular la saturación de la hemoglobina de la sangre capilar. La fórmula utilizada es la siguiente:

$$\text{ScO2} = (\text{N}^{2.6}) / ((26.6^{2.6}) + (\text{N}^{2.6})),$$

en la que:

$$\text{N} = \text{PalO2} \times 10^{(-0.48 \times (7.4 - \text{pH}))}$$

Estos parámetros son calculados frecuentemente en cada paciente crítico e implican 30 operaciones matemáticas, cada una de ellas con su respectiva fuente de error. De la inspección de las fórmulas, el lector podrá comprender la dificultad señalada para el cálculo de los parámetros mencionados.

La oximetría de pulso es una tecnología de creciente utilización en el monitoreo y manejo de los pacientes críticos. A pesar de algunas limitaciones, Severinghaus y Astrup la han considerado como "el adelanto más significativo que se haya hecho en el monitoreo del bienestar y seguridad de los pacientes durante la anestesia, recuperación y cuidado crítico". (3).

El presente trabajo tiene como propósito principal el explorar la posibilidad de utilizar la saturación de oxígeno, de la hemoglobina como fuente principal de los cálculos de la DavO2, la TexO2, el CoO2 y el Qs/Qt.

La justificación para ello radica en el planteamiento de que si se logra comprobar la realidad de la utilización de la saturación como fuente principal de los cálculos de los parámetros mencionados, se permitiría la simplificación de los cálculos, la reducción de las fuentes de error y, lo que es más importante, sería un aval para la sustitución de las muestras de sangre arterial por la oximetría de pulso en la evaluación de los pacientes críticos.

## Materiales y Métodos

El trabajo se desarrolló en varias etapas de acuerdo a la siguiente secuencia:

1. Se efectuó una revisión crítica de las fórmulas tradicionales descritas arriba, evaluando teóricamente la posibilidad de reducir algunos elementos contenidos en ellas. Durante esta revisión se discriminaron los factores contenidos en cada fórmula, intentando determinar el impacto que cada uno de allí tenía sobre el resultado final. A partir de ello, se hicieron tratamientos matemáticos y supresiones, que resultaron en unas nuevas fórmulas para el cálculo de la DavO2, TexO2, CoO2 y Qs/Qt.
2. Se efectuó una simulación computarizada, comparando los resultados obtenidos con el cálculo de los parámetros descritos con las fórmulas tradicionales y las nuevas fórmulas. Durante ella, se utilizaron 100 muestras arteriales y venosas, cuyos valores se seleccionaron utilizando

la función "Random Number" del programa Excel de Microsoft.

3. Se efectuó un estudio clínico prospectivo sobre los pacientes hospitalizados en dos unidades de cuidados intensivos médico quirúrgicos y en quienes por razones de evaluación y tratamiento era necesario el procesamiento de muestras arteriales y venosas, y en los cuales se compararon los dos grupos de fórmulas. Las muestras para el análisis de los gases venosos centrales se obtuvieron de la aurícula derecha y los arteriales de una arteria periférica, usualmente la radial. Para este estudio, se aceptó como protocolo de toma de muestras arteriales y venosas, el establecido para dichas unidades y que se practica rutinariamente por el personal de enfermería. Simultáneamente con la toma de las muestras arteriales y venosas, se midió la saturación arterial de oxígeno (SaO2) con un oxímetro de pulso, con el sensor usualmente ubicado en el dedo índice de una de las manos.

Para la comparación de los resultados, primero se calcularon los datos utilizando las saturaciones de O2 calculadas por el equipo de gases arteriales. En un segundo paso, se sustituyó la saturación arterial de O2 calculada por el equipo de gases, por la saturación arterial de O2 medida con el oxímetro de pulso y con ello se hicieron las comparaciones respectivas.

El tratamiento estadístico consistió en la comparación de medias y el análisis de regresión lineal, para cada grupo de fórmulas analizadas. Para ello se utilizó el programa Epiinfo del centro de control de enfermedades de Atlanta, USA.

**Resultados**

1. Fórmulas desarrolladas:

a) Contenidos de O2 (CoO2): De la fórmula original se suprimió el oxígeno disuelto, resultando una fórmula general así:

$$\text{Contenido de O2} = 1.39 \times \text{Hb} \times \text{SatO2}$$

b) Diferencia arteriovenosa de O2 (DavO2):

Utilizando la nueva fórmula de los contenidos, se derivó la siguiente:

$$\text{DavO2} = 1.39 \times \text{Hb} \times (\text{SaO2} - \text{SvO2})$$

c) Extracción tisular de O2 (TexO2): Para el nueva cálculo se utilizó la nueva fórmula de la DavO2 dividida por el CaO2. Esto originó una simplificación de la fórmula a la siguiente:

$$\text{TexO2} = (\text{SaO2} - \text{SvO2}) / \text{SaO2}$$

d) Shunt intrapulmonar: El tratamiento fue un poco más complejo. En un primer paso se evaluó una fórmula que utiliza los contenidos, tal como se describieron en el numeral a. En un segundo paso se derivó una fórmula, asumiendo que la saturación de la sangre capilar es 1 e introduciendo la FiO2 dentro de la misma, quedando la fórmula en la siguiente forma:

$$\text{Qs/Qt} = [(1 - \text{SaO2}) / (1 - \text{SvO2})] + (\text{FiO2} \times 0.13)$$

En l a siguiente tabla se hace un resumen de las fórmulas nuevas analizadas:

Nombre	Fórmula	Comparativa
CaO2(2)	1.39 x Hb x SaO2	CaO2 Tradicional
CvO2(2)	1.39 x Hb x SvO2	CvO2 Tradicional
DavO2(2)	1.39 x Hb x (SaO2c-SvO2c)	DavO2 Tradicional
DavO2(3)	1.39 x Hb x (SaO2m-SvO2c)	DavO2 Tradicional
TexO2(2)	(SaO2-SvO2)/SaO2	TexO2 Tradicional
Qs/Qt(2)	(CcO2(2)-CaO2(2))/ (CcO2(2)-CvO2(2))	Qs/Qt Tradicional
Qs/Qt(3)	[(1-SaO2)/(1-SvO2)] + (FiO2 x 0.13)	Qs/Qt Tradicional

2. Simulación computarizada:

Las pruebas realizadas en la computadora mostraron que había una muy buena correlación entre los grupos de fórmulas analizados. La correlación lineal mostró que r y r2 fueron mayores de 0.9 para cada uno de los análisis realizados.

3. Estudio clínico:

Se analizaron 453 pares de muestras de sangre arterial y venosa, para un total de 906 muestras, correspondientes a 114 pacientes admitidos en las unidades de cuidados intensivos de la Clínica Palermo de Bogotá y del Hospital San Juan de Dios de la misma ciudad, entre Noviembre de 1998 y Febrero de 1999.

De las muestras obtenidas se excluyeron aquellas en las cuales el FiO2 administrado fue calculado con base en un flujo determinado de oxígeno, tal como sucede cuando la administración no es a través de un ventury o de un ventilador. Se eliminaron también las muestras en las que se detectó un error en la medición de los gases: PaO2 > PalO2, PvO2 > PaO2 y PaCO2 > PvCO2. En cada uno de los cuadros de los resultados se muestra el número de datos utilizados para las comparaciones.

I. Comparación de fórmulas utilizando la saturación arterial de oxígeno calculada por el equipo de gases arteriales.

a) Comparación de los contenidos: Los resultados de la comparación de las diferentes fórmulas originales (CaO2, CvO2 y CcO2) con las nuevas fórmulas (CaO2(2), CvO2(2) y CcO2(2)), se muestran en las tablas 1 y 2.

**Tabla 1.** Comparación de contenidos de O2 sanguíneo con dos fórmulas.

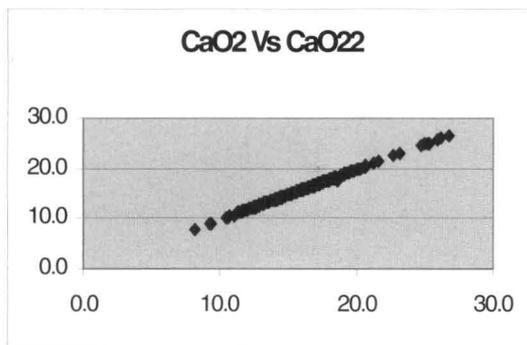
Comparación	N	Promedio +/- DS.	Promedio +/- DS	p
CaO2 vs CaO2(2)	366	15.76 +/- 2.83	15.53 +/- 2.82	0.27
CvO2 vs CvO2(2)	366	10.89 +/- 2.80	10.79 +/- 2.79	0.62
CcO2 vs CcO2(2)	366	16.95 +/- 2.93	16.54 +/- 2.950.	059

**Tabla 2.** Correlación lineal de contenidos sanguíneo de O2

Correlación	N	r	r2	F	B	Y
CaO2 vs CaO2(2)	366	1	1	543.3801.	003	0.18
CvO2 vs CvO2(2)	366	1	1	10175.457	1.002	0.071
CcO2 vs CcO2(2)	366	1	0.99	48.151	0.99	0.58

En la tabla 1 se muestra que no se encontró diferencia significativa entre los promedios de los datos encontrados con la fórmula nueva, cuando se compara con la original. En la tabla 2 se observa que la correlación lineal entre los diferentes grupos de fórmulas es cercana a la unidad, con un coeficiente beta de 1 y un intercepto Y muy cercano a 0.

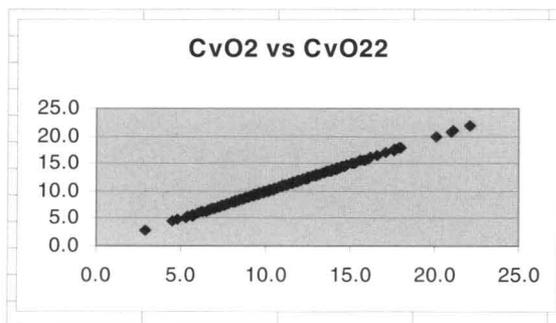
En las figuras 1,2 y 3 se muestran los diagramas de dispersión de los contenidos calculados con las fórmulas nuevas contra la fórmula original.



$$Ca\ O_2=(1.39 \times Hb \times SaO_2) + (0.003 \times PaO_2)$$

$$Ca\ O_2=1.39 \times Hb \times SaO_2$$

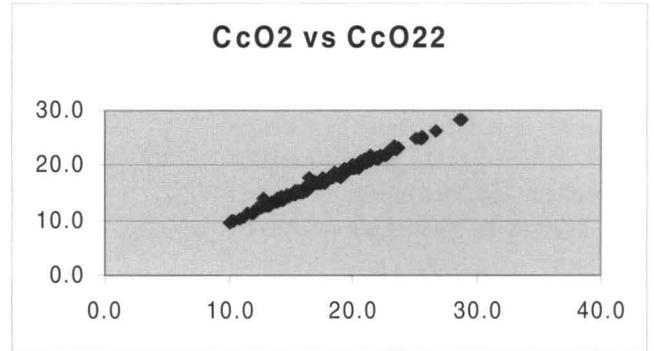
**Figura 1.** Diagrama de dispersión del Contenido arterial de O2 con dos fórmulas.



$$CvO_2=(1.39 \times Hb \times SvO_2) + (0.003 \times PvO_2)$$

$$CvO_2=1.39 \times Hb \times SvO_2$$

**Figura 2.** Diagrama de dispersión del Contenido Venoso de O2 con dos fórmulas



$$CcO_2=(1.39 \times Hb \times ScO_2) + (0.003 \times PaO_2)$$

$$CcO_2=1.39 \times Hb \times ScO_2$$

**Figura 3.** Diagrama de dispersión del Contenido Capilar de O2 con dos fórmulas

De las tablas 1 y 2 y de las figuras 1, 2 y 3, es claro que la eliminación del componente de O2 disuelto del cálculo de los contenidos no afecta el resultado.

b) Comparación de los resultados del cálculo de la diferencia arteriovenosa de oxígeno.

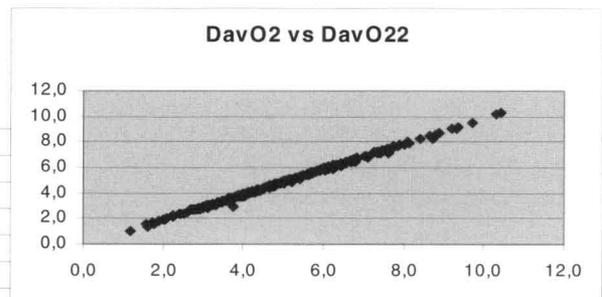
En las tablas 3 y 4 se muestran los resultados de la comparación del cálculo de la DavO2 utilizando las dos fórmulas arriba señaladas: La tradicional (DavO2) y la nueva (DavO2(2)).

**Tabla 3.** Comparación de la DavO2 con dos fórmulas

Comparación	N	Promedio +/- DS.	Promedio +/- DS	p
DavO2 vs DavO2(2)	389	4.85 +/- 1.66	4.72 +/- 1.65	0.27

**Tabla 4.** Correlación lineal de DavO2

Correlación	N	r	r2	F	B	Y
DavO2 vs DavO2(2)	389	1	1	224.527	1.00	0.094



$$DavO_2 = CaO_2 - CvO_2 \quad DavO_{22} = 1.39 \times Hb \times (SaO_2 - SvO_2)$$

Los hallazgos de los cuadros 3 y 4 y de la figura 4, muestran que los resultados calculados con las dos fórmulas no difieren significativamente entre ellos y que su correlación es perfectamente lineal.

c) Comparación del cálculo de la tasa de extracción tisular de oxígeno con las dos fórmulas arriba señaladas.

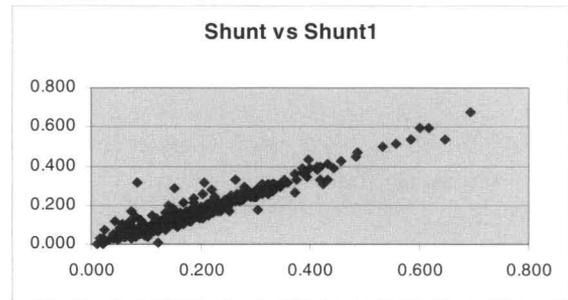
Los resultados encontrados se muestran en los cuadros 5 y 6 y en la figura 5.

**Tabla 5.** Comparación de la TexO2 con dos fórmulas

Comparación	N	Promedio +/- DS.	Promedio +/- DS	p
TexO2 vs TexO2(2)	390	0.31 +/- 0.10	0.30 +/- 0.10	0.17

**Tabla 6.** Correlación lineal de TexO2

Correlación	N	r	r2	F	B	Y
TexO2 vs TexO(2)	390	1	1	711 E 16	1.00	0.0



$$Qs/Qt = (CcO2 - CaO2) / (CcO2 - CvO2)$$

$$Qs/Qt1 = (CcO22 - CaO22) / (CcO22 - CvO22)$$

**Figura 6.** Diagrama de dispersión del valor del shunt intrapulmonar calculado con dos fórmulas.

En el cuadro 7 se observa que hubo una diferencia significativa en los resultados del shunt intrapulmonar con las dos fórmulas. La fórmula del Qs/Qt al eliminar el O2 disuelto subestima en un 2.3% el shunt intrapulmonar.

En la tabla 8. y en la figura 6 se muestra que hay una muy buena correlación lineal entre las dos fórmulas.

d.2 Comparación entre la fórmula original (Qs/Qt) y una nueva fórmula (Qs/Qt3).

Los resultados se observan en los cuadros 9 y 10 y en la figura 7.

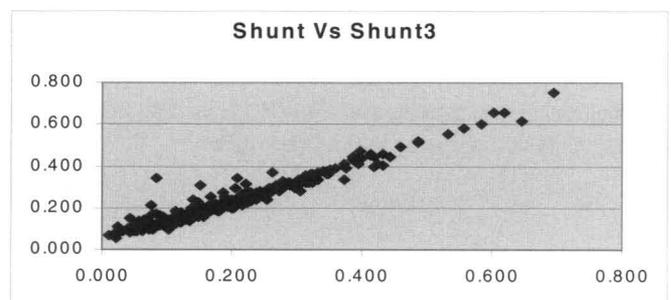
**Tabla 9.** Comparación de Qs/Qt con dos fórmulas.

Comparación	N	Promedio +/- DS.	Promedio +/- DS	p
Qs/Qt1 vs Qs/Qt3	362	0.20 +/- 0.112	0.23 +/- 0.106	0.0001

**Tabla 10.** Correlación lineal de Qs/Qt.

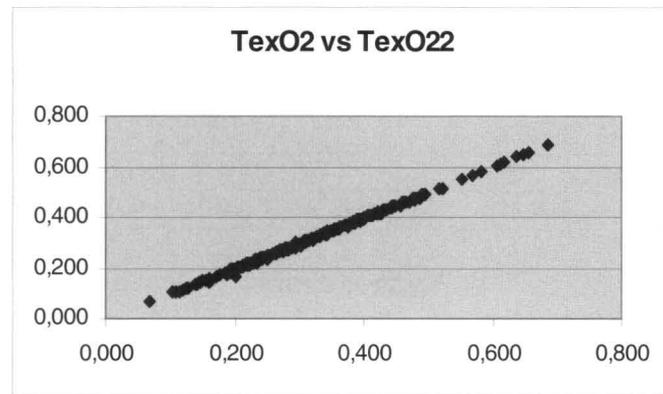
Correlación	N	r	r2	F	B	Y
Qs/Qt1 vs Qs/Qt3	362	0.97	0.94	6032	1.008	-0.034

**Figura 7** Diagrama de dispersión del valor del shunt intrapulmonar calculado con dos fórmulas.



$$Qs/Qt = (CcO2 - CaO2) / (CcO2 - CvO2)$$

$$Qs/Qt3 = [(1-SaO2)/(1-SvO2)] + (FiO2 \times 0.13)$$



$$TexO2 = (CaO2 - CvO2) / CaO2$$

$$TexO22 = (SaO2 - SvO2) / SaO2$$

Las tablas y las figuras muestran una relación lineal perfecta entre los resultados obtenidos con las dos fórmulas.

d) Comparación del cálculo del shunt intrapulmonar:

d.1 Fórmula original contra la que utiliza los contenidos modificados eliminando el componente de oxígeno disuelto (Qs/Qt1 vs Qs/Qt2).

Los resultados se muestran en las tablas 7 y 8 y en la figura 6.

**Tabla 7.** Comparación de Qs/Qt con dos fórmulas

Comparación	N	Promedio +/- DS.	Promedio +/- DS	p
Qs/Qt vs Qs/Qt1	362	0.20 +/- 0.112	0.177 +/- 0.106	0.005

**Tabla 8.** Correlación lineal de Qs/Qt

Correlación	N	r	r2	F	B	Y
Qs/Qt vs Qs/Qt1	362	0.95	0.91	3444	1.0	0.0238

GOMEZ A.

En la tabla 9 se observa una diferencia significativa en los valores del Qs/Qt calculados por las dos fórmulas, de tal manera que la fórmula nueva sobrestima el shunt intrapulmonar en un 3%.

Por otro lado, la tabla 10 y la figura 7 muestran una muy buena correlación entre las dos fórmulas.

II. Comparación de la SaO2 calculada por el equipo de gases arteriales (SaO2c) con la SaO2 medida con oxímetro de pulso (SaO2m).

La correlación global entre los valores medidos y calculados mostró un coeficiente de correlación r de 0.62 y r2 de 0.39. Sin embargo, no hubo diferencia significativa entre los promedios de las 2 variables: SaO2c = 0.940 +/- 0.041 vs SaO2m = 0.949 +/- 0.032; p > 0.1.

Los valores promedio de la SaO2m fueron significativamente mayores que los de la SaO2c cuando la PaO2 era < 60 mm Hg; simultáneamente se observó una pobre correlación entre los valores, tal como se observa en la siguiente tabla:

PaO2	SaO2c	SaO2m	p	r	r2
< 50	0.817 +/- 0.084	0.903 +/- 0.044	0.006	-0.43	0.18
50-59	0.898 +/- 0.026	0.920 +/- 0.034	0.00015	0.54	0.29
>=60	0.933 +/- 0.017	0.958 +/- 0.025	0.1	0.65	0.42

En forma similar, se encontró una pobre correlación cuando se examinaron los valores de las saturaciones a una SaO2c < 0.9 (r = 0.19 y r2 = 0.04).

Por otro lado, el gradiente entre la SaO2m y la SaO2c, definido matemáticamente como SaO2m - SaO2c, fue estadísticamente diferente cuando se examinaron los resultados a diferentes niveles de PaO2, tal como se observa en la siguiente tabla:

PaO2	Gradiente	DS	p	n
<50	8%	11%	NS	12
50-59	2.2%	3%	0.0000	64
>=60	0.4%	2%	0.0000	268
< 60	3.2%	5.6%	0.0000	76

El resultado de la evaluación del grado de correlación entre las dos variables, cuando se examinaron a una PaO2 >= 60 y a diferentes valores de pH se muestra en la siguiente tabla:

pH	r	r2
7.4	0.93	0.86
7.39 - 7.41	0.90	0.82
7.38 - 7.42	0.88	0.77
7.37 - 7.43	0.82	0.68
7.35 - 7.45	0.73	0.53
7.30 - 7.50	0.68	0.46

Los datos muestran que cuando la PaO2 es menor de 60 mm Hg, la saturación medida no correlaciona con la calculada. Por otro

lado, aún cuando la PaO2 sea >= 60 mm Hg, la correlación es muy pobre cuando el pH se aleja mucho de la normalidad (pH < 7.3 y > 7.5).

III. Comparación de fórmulas utilizando la saturación arterial de oxígeno medida con un oxímetro de pulso.

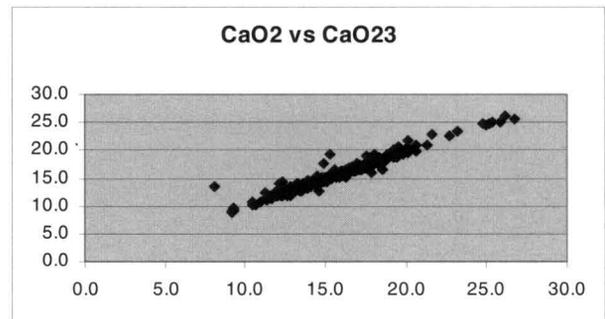
a. Comparación de los contenidos: Los resultados de la comparación del Contenido arterial de O2 con la fórmula tradicional (CaO2) con la fórmula sustituta utilizando la saturación medida de O2 (CaO2(3)), se muestra en los cuadros 11 y 12 y en la figura 8.

Tabla 11. Comparación de contenidos de O2 sanguíneo con dos fórmulas.

Comparación	N	Promedio +/- DS.	Promedio +/- DS	p
CaO2 vs CaO2(3)	366	15.76 +/- 2.83	15.69 +/- 2.81	0.73

Tabla 12. Correlación lineal de contenidos sanguíneo de O2.

Correlación	N	r	r2	F	B	Y
CaO2 vs CaO2(3)	366	0.98	0.96	9027.9	0.985	0.059



$$CaO2 = (1.39 \times Hb \times SaO2) + (0.003 \times PaO2)$$

$$CaO23 = 1.39 \times Hb \times SaO2m \quad SaO2m =$$

Figura 8. Diagrama de dispersión de los valores del contenido arterial de O2 calculado con dos fórmulas.

En la tabla 11 se muestra que no se encontró diferencia significativa entre los promedios de los datos encontrados con la fórmula nueva, cuando se compara con la original. En el cuadro 2 se observa que la correlación lineal entre las dos fórmulas es cercana a la unidad, con un coeficiente beta de 0.985 y un intercepto Y muy cercano a 0.

De las dos tablas 11 y 12 y de la figura 8, es claro que la sustitución de la SaO2 calculada por el equipo de gases y la SaO2 medida por oximetría de pulso, no afecta el resultado. b. Comparación de los resultados del cálculo de la diferencia arteriovenosa de oxígeno.

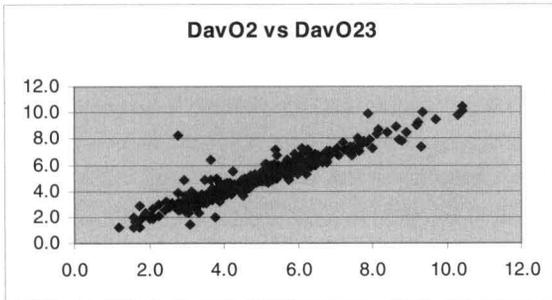
En las tablas 13 y 14 y en la figura 9, se muestran los resultados de la comparación del cálculo de la DavO2 utilizando las dos fórmulas arriba señaladas: La tradicional (DavO2) y la nueva (DavO2(3)).

**Tabla 13.** Comparación de la DavO2 con dos fórmulas.

Comparación	N	Promedio +/- DS.	Promedio +/- DS	p
DavO2 vs DavO2(3)	389	4.85 +/- 1.66	4.88 +/- 1.16	0.42

**Tabla 14.** Correlación lineal de DavO2.

Correlación	N	r	r2	F	B	Y
DavO2 vs DavO(3)	389	0.95	0.90	3519.3	0.935	0.2815



$DavO2 = CaO2 - CvO2$   $DavO23 = 1.39 \times Hb \times (SaO2m - SvO2)$   
 SaO2m = Saturación arterial de O2 medida con oxímetro.

**Figura 9.** Diagrama de dispersión de los datos de la DavO2 calculada con dos fórmulas.

Los hallazgos de las tablas 13 y 14 y de la figura 9, muestran que los resultados calculados con las dos fórmulas no difieren significativamente entre ellos y que su correlación lineal es buena.

c. Comparación del cálculo de la tasa de extracción tisular de oxígeno con las dos fórmulas arriba señaladas.

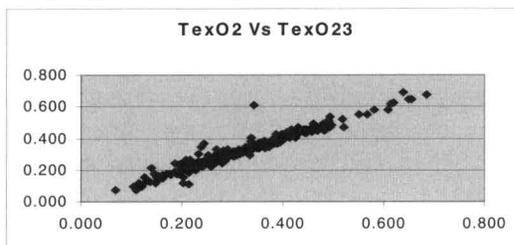
Los resultados encontrados se muestran en las tablas 15 y 16 y en la figura 10.

**Tabla 15** Comparación de la TexO2 con dos fórmulas.

Comparación	N	Promedio +/- DS.	Promedio +/- DS	p
TexO2 vs TexO2(3)	390	0.31 +/- 0.010	0.31 +/- 0.010	0.183

**Tabla 16** Correlación lineal de TexO2.

Correlación	N	r	r2	F	B	Y
TexO2 vs TexO(3)	390	0.97	0.95	7289.78	0.960	0.005



$TexO2 = (CaO2 - CvO2) / CaO2$   
 $TexO23 = (SaO2m - SvO2) / SaO2m$   
 SaO2m = Saturación arterial medida con un oxímetro de pulso.

**Figura 10.** Diagrama de dispersión del cálculo de la TexO2 con dos fórmulas.

Las tablas 15 y 16 y la figura 10 muestran una alta correlación lineal entre los resultados obtenidos con las dos fórmulas.

d. Comparación del cálculo del shunt intrapulmonar:

d.1 Fórmula original contra la nueva fórmula, utilizando la SaO2 medida con el oxímetro de pulso (Qs/Qt1 vs Qs/Qt4).

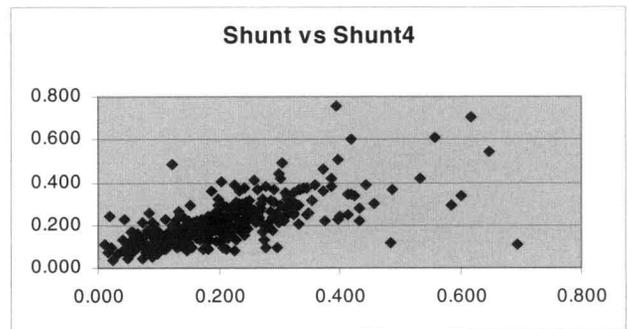
Los resultados se muestran en las tablas 17 y 18 y en la figura 11.

**Tabla 17.** Comparación de Qs/Qt con dos fórmulas.

Comparación	N	Promedio +/- DS.	Promedio +/- DS	P
Qs/Qt1 vs Qs/Qt4	332	0.205 +/- 0.113	0.207 +/- 0.105	0.32

**Tabla. 18** Correlación lineal de Qs/Qt.

Correlación	N	r	r2	F	B	Y
Qs/Qt1 vs Qs/Qt4	332	0.71	0.50		0.76	0.047



$Qs/Qt = (CcO2 - CaO2) / (CcO2 - CvO2)$   
 $Qs/Qt4 = [(1 - SaO2m) / (1 - SvO2)] + (FiO2 \times 0.13)$

**Figura 11.** Diagrama de dispersión del valor del shunt intrapulmonar calculado con dos fórmulas.

En la tabla 17 se observa que no hubo una diferencia significativa en los resultados del shunt intrapulmonar con las dos fórmulas.

En la tabla 18 y en la figura 11 se muestra que hay una buena correlación lineal entre las dos fórmulas.

Un hallazgo interesante se presenta en el cuadro No 19. En este cuadro se muestra la correlación lineal entre las dos fórmulas, seleccionando diferentes valores de pH.

**Tabla 19.** Correlación lineal de Qs/Qt a diferentes valores de pH.

Correlación	PH	r	r2	B	Y
Qs/Qt1 vs Qs/Qt4	7.40	0.96	0.92	0.991	-0.02
Qs/Qt1 vs Qs/Qt4	7.39-7.41	0.89	0.80	0.99	-0.016
Qs/Qt1 vs Qs/Qt4	7.38-7.42	0.87	0.76	0.925	-0.001
Qs/Qt1 vs Qs/Qt4	7.35-7.45	0.82	0.67	0.679	0.034
Qs/Qt1 vs Qs/Qt4	7.30-7.50	0.77	0.60	0.692	0.616
Qs/Qt1 vs Qs/Qt4	<7.30	0.52	0.27		
Qs/Qt1 vs Qs/Qt4	>7.50	0.56	0.32		

**Tabla 20.** Comparación de  $Q_s/Q_t$  con dos fórmulas a diferentes pH.

Comparación	pH	Promedio +/- DS.	Promedio +/- DS	p
$Q_s/Q_{t1}$ vs $Q_s/Q_{t4}$	7.40	0.162 +/- 0.096	0.188 +/- 0.093	0.615
$Q_s/Q_{t1}$ vs $Q_s/Q_{t4}$	7.39-7.41	0.155 +/- 0.085	0.171 +/- 0.076	0.73
$Q_s/Q_{t1}$ vs $Q_s/Q_{t4}$	7.38-7.42	0.148 +/- 0.073	0.161 +/- 0.069	0.36
$Q_s/Q_{t1}$ vs $Q_s/Q_{t4}$	7.35-7.45	0.165 +/- 0.090	0.191 +/- 0.109	0.051
$Q_s/Q_{t1}$ vs $Q_s/Q_{t4}$	7.30-7.50	0.173 +/- 0.089	0.193 +/- 0.100	0.028
$Q_s/Q_{t1}$ vs $Q_s/Q_{t4}$	<7.30	0.206 +/- 0.118	0.224 +/- 0.103	0.64
$Q_s/Q_{t1}$ vs $Q_s/Q_{t4}$	>7.50	0.167 +/- 0.066	0.161 +/- 0.006	0.73

En la tabla 19 se aprecia como la correlación es menor en la medida en que se amplía el rango del pH analizado. En los valores extremos de pH (< 7.30 y > 7.5), el grado de correlación disminuye notablemente.

A pesar de lo anterior, la tabla 20 muestra que, salvo en el rango de pH entre 7.30 y 7.50, no se encontraron diferencias significativas cuando se comparan las medias.

### Discusión y análisis de los resultados:

#### 1. Contenidos sanguíneos de O<sub>2</sub>.

##### a. Eliminación del O<sub>2</sub> disuelto del cálculo de los contenidos.

La comparación de los resultados del cálculo de los contenidos de O<sub>2</sub> en sangre arterial, en sangre venosa y en el capilar pulmonar muestran que cuando se elimina el O<sub>2</sub> disuelto de los cálculos los resultados son muy similares. La comparación de las medias no reveló diferencia estadísticamente significativa entre ellas y la correlación lineal mostró un coeficiente de correlación  $r$  y  $r^2$  de 1, con un intercepto  $Y$  muy cercano a 0 y un coeficiente beta a 1.

Estos resultados sugieren que para el cálculo del contenido de O<sub>2</sub> sanguíneo es innecesario adicionar el oxígeno disuelto, por su poco impacto sobre el contenido total. Este planteamiento concuerda con los cálculos teóricos y con los derivados del presente estudio. En efecto, la máxima PaO<sub>2</sub> encontrada en el estudio fue de 300 mm Hg, para la cual el O<sub>2</sub> disuelto sería de 0.9 ml/100 cc de sangre arterial. En ese mismo caso, el O<sub>2</sub> unido a los 13 gr de Hb del paciente es de 18.08 ml/ 100 cc de sangre arterial. Es decir que del contenido total (18.98 ml / 100 ml de sangre arterial), el 4% corresponde al disuelto, cifra esta que, al ser eliminada, no influye en la evaluación del paciente.

De acuerdo con lo anterior, es factible utilizar una fórmula modificada para calcular los contenidos, reduciendo así el número de operaciones matemáticas y el factor de error que ellas implican.

##### b. Sustitución de la SaO<sub>2</sub> calculada por la SaO<sub>2</sub> medida.

Cuando se comparó la fórmula original con la modificada sustituyendo la SaO<sub>2</sub> calculada por el equipo de gases con la medida con un oxímetro de pulso, se encontró que no hubo diferencia significa-

tiva entre los promedios. Además la correlación lineal entre ellas fue bastante buena con  $r$  de 0.98 y  $r^2$  de 0.96. Estos hallazgos permiten concluir que el cálculo de los contenidos de O<sub>2</sub> utilizando la saturación arterial de O<sub>2</sub> medida con un oxímetro de pulso puede reemplazar a la fórmula original. Es decir que para esta evaluación es posible evitar la toma de gases arteriales.

#### 2. Diferencia arteriovenosa de O<sub>2</sub>.

##### a. Comparación de la fórmula original con la modificada.

La DavO<sub>2</sub> es un cálculo utilizado en clínica para evaluar el grado de acoplamiento entre el aporte de O<sub>2</sub> y las demandas tisulares. Las desviaciones de su valor normal (3-5 ml) ofrecen una idea sobre el grado de insuficiencia del aporte de O<sub>2</sub> a los tejidos o de las dificultades del mismo para utilizarlo. Por otro lado, su valor permite calcular fácilmente el Consumo Global de O<sub>2</sub>, cuando se multiplica por el valor del gasto cardíaco (GC) (1,4).

Los resultados provistos en las tablas 3 y 4 muestran que las fórmulas comparadas originan unos resultados similares. No se encontró diferencia significativa entre sus promedios y la correlación entre ellas fue perfectamente lineal.

La nueva fórmula propuesta ( $DavO_2 = 1.39 \times Hb \times (SaO_2 - SvO_2)$ ) tiene la ventaja de que elimina la necesidad de calcular los contenidos de O<sub>2</sub> arterial y venoso, reduciendo así el número de operaciones matemáticas de 8 a 4, permitiendo ahorro de tiempo y disminución de eventuales errores.

##### b. Sustitución de la SaO<sub>2</sub> calculada con la SaO<sub>2</sub> medida.

En la comparación, no se encontró diferencia entre los promedios y la correlación entre ellas fue buena ( $r=0.95$  y  $r^2=0.90$ ). Estos datos sugieren que para el cálculo de la DavO<sub>2</sub> es factible utilizar la SaO<sub>2</sub> medida y evitar así la toma de gases arteriales.

#### 3. Tasa de extracción tisular de O<sub>2</sub>.

##### a. Cálculo con la nueva fórmula a partir de la SaO<sub>2</sub> calculada.

Este parámetro es utilizado en clínica para evaluar, con mayor precisión el grado de acoplamiento entre el aporte de O<sub>2</sub> a los tejidos y el consumo del O<sub>2</sub> por estos. En efecto, cuando la TexO<sub>2</sub> es mayor de 0.3 (30%) es dable suponer una disminución del aporte de O<sub>2</sub> con relación a las necesidades del organismo. En el sentido opuesto, cuando la TexO<sub>2</sub> es menor del 20%, sugiere un exceso de aporte de O<sub>2</sub> a los tejidos o una incapacidad de estos para utilizar el O<sub>2</sub> (1).

Los datos encontrados en el presente estudio muestran que la fórmula propuesta para reemplazar el cálculo original, obtiene unos resultados idénticos.

La sencillez de la fórmula ( $[SaO_2 - SvO_2] / SaO_2$ ) reduce a 3 el número total de operaciones matemáticas, comparado con las 13 necesarias para el cálculo tradicional.

#### b. Cálculo sustituyendo la SaO<sub>2</sub> calculada con la medida.

Al sustituir la SaO<sub>2</sub> calculada con la medida, no se observó diferencia significativa en los promedios encontrados. La correlación entre los resultados fue muy buena (tabla 15), indicando que también, para el cálculo de este parámetro, es posible utilizar la oximetría de pulso. Estos datos concuerdan con los hallazgos de Rasanen y Downs (5) quienes utilizaron la misma fórmula en sus pacientes, encontrando una muy buena exactitud en el monitoreo.

#### 4. El shunt intrapulmonar:

El cálculo de este parámetro ofrece una cuantificación del grado de desequilibrio entre la ventilación y la perfusión, permitiendo al clínico una evaluación razonablemente precisa del grado de disfunción pulmonar. Normalmente, entre un 3 y 5% de la sangre no es oxigenada.

El estudio permitió derivar dos fórmulas, cada una de las cuales muestra una buena correlación con la tradicional. La primera fórmula, sin embargo, subestima en un 2% el valor del shunt, mientras que la segunda lo sobrestima en un 3%.

Es importante anotar que una desviación del 2 o 3% del valor "real" del shunt no tiene ningún impacto clínico. En efecto, el valor normal del shunt intrapulmonar es entre 3 y 5%, lo cual muestra que una diferencia del 2% no es sustancial. Por otro lado, en clínica, se suele permitir un shunt hasta del 15% antes de iniciar medidas de soporte mecánico respiratorio. Finalmente, existen diferentes criterios en cuanto al valor del shunt que se referencia como objetivo terapéutico. Para algunos un valor menor del 20% es un objetivo plausible (6); nosotros hemos señalado que un 25% puede ser un objetivo que permite una adecuada supervivencia, con una menor intensidad terapéutica (6).

De acuerdo con lo anterior, las diferencias de 2 y 3% encontradas en el presente estudio, si bien es cierto alcanzan significancia estadística, no tiene ella ningún impacto práctico en el ejercicio clínico diario.

En un estudio similar, Rasanen y colaboradores utilizaron Índice VQ (VQI) para evaluar la función pulmonar. Su fórmula ( $[1 - SaO_2] / [1 - SvO_2]$ ) mostró una muy buena correlación con el shunt calculado (5,7). En otro estudio, nosotros mostramos que en efecto el VQI puede ser útil en el manejo de los pacientes críticos (8).

Nuestra nueva fórmula tiene la ventaja de introducir el FiO<sub>2</sub> en la evaluación del paciente, permitiendo así una aproximación más exacta al shunt intrapulmonar, tal como se observa en los resulta-

dos. En efecto, la correlación obtenida por Rasanen y colaboradores ( $r = 0.78$ ) es inferior a la nuestra ( $r = 0.97$  y  $r_2 = 0.94$ ).

Cuando se sustituyó la SaO<sub>2</sub> calculada por la medida con el oxímetro de pulso, la correlación fue menor ( $r = 0.71$ ), aunque no hubo diferencia entre las medias (Cuadro Nos 17 y 18). Sin embargo, cuando se realizó el análisis en diferentes rangos de pH, se encontró que cuando el pH era normal (7.4), el coeficiente de correlación lineal fue de 0.96, con un  $r_2$  de 0.92. Esta correlación se mantuvo por encima de 0.8 cuando el pH se encontró entre 7.35 y 7.45. Cuando el pH se aparta de las anteriores cifras, la correlación disminuye notablemente, siendo muy pobre a  $pH < 7.30$  y  $> 7.50$ . Estos hallazgos se explican por el cálculo de la saturación. En efecto, la fórmula de la saturación de O<sub>2</sub> incluye el pH como elemento fundamental, lo que explica el distanciamiento entre las fórmulas cuando se usa la saturación medida y la calculada. Desconocemos el impacto que pueda tener el cálculo de eliminar el efecto del pH en la consideración de la oxigenación arterial, sin embargo, tal como se muestra en la tabla 20 no hubo diferencia significativa en los valores del shunt intrapulmonar calculados por los dos métodos descritos.

Los datos encontrados permiten concluir que es posible utilizar la fórmula alterna para la evaluación del shunt intrapulmonar y por tanto eliminar así una muestra de gases arteriales.

#### 5. La metodología de las muestras.

Podrían señalarse dos notas de alerta sobre la metodología empleada para la toma de las muestras. La primera de ellas radica en que no se elaboró un protocolo específico para las mismas, sino que se adoptó el procedimiento rutinario establecido en las unidades. Esta decisión se adoptó debido a que queríamos desarrollar una investigación "en las condiciones experimentales clínicas", es decir, evaluando el resultado con base en la rutina diaria de la UCI.

Es claro, que en términos estrictos, las muestras de sangre venosa mezclada deben obtenerse de la arteria pulmonar. La muestra tomada de la aurícula derecha es la práctica en las dos unidades de cuidados intensivos y por tanto se aceptó dicho procedimiento. Es de notar, que el señalamiento que hacen algunos acerca de un pequeño margen de error en la cuantificación del contenido de oxígeno venoso central, no influye en los resultados del trabajo dado que el interés primordial fue el de comparar las diferentes fórmulas y por tanto el "supuesto error" es el mismo para cada una de ellas.

#### Conclusiones:

El presente estudio permite concluir lo siguiente:

1. Es posible eliminar la determinación del O<sub>2</sub> disuelto para el cálculo de los contenidos de O<sub>2</sub> de la sangre arterial y venosa, de

GOMEZ A.

la diferencia arteriovenosa, de la  $TexO_2$  y del shunt intrapulmonar sin afectar la evaluación del paciente. Esto permite reducir el número de operaciones matemáticas y el margen de error y a su vez ahorra tiempo en la UCI.

2. Es posible utilizar la  $SaO_2$  medida con oximetría de pulso para sustituir la  $SaO_2$  calculada para la cuantificación de los contenidos de  $O_2$ , La  $DavO_2$ , La  $TexO_2$  y el shunt intrapulmonar en los pacientes críticos. Este hallazgo permite al clínico disminuir el número de muestras de sangre arterial para la evaluación de su paciente y evitar a éste la molestia y la eventual iatrogenia del procedimiento. Otro beneficio de esta estrategia es el ahorro económico que puede representar, al disminuir notablemente el número de muestras arteriales necesarias para la evaluación del paciente.

3. A partir del estudio se puede recomendar el uso de las siguientes fórmulas para

Parámetro	Sigla	Fórmula
Contenido arterial de $O_2$	$CaO_2$	$1.39 * Hb * SaO_2$
Contenido venoso de $O_2$	$CvO_2$	$1.39 * Hb * SvO_2$
Contenido capilar de $O_2$	$CcO_2$	$1.39 * Hb * I$
Diferencia arteriovenosa de $O_2$	$DavO_2$	$1.39 * Hb * (SaO_2 - SvO_2)$
Tasa de extracción tisular de $O_2$	$TexO_2$	$(SaO_2 - SvO_2) / SaO_2$
Shunt Intrapulmonar	$Qs/Qt$	$[(1 - SaO_2) / (1 - SvO_2)] + (FiO_2 * 0.13)$

el cálculo de los parámetros de evaluación en la UCI:

En las fórmulas descritas, es posible utilizar la  $SaO_2m$  para el cálculo de los parámetros señalados.

4. Notas aclaratorias:

La saturación arterial de  $O_2$  puede ser sustituida por la medición directa con un oxímetro de pulso, evitándose así la toma de una muestra de gases arteriales. Es necesario, sin embargo, tener en mente las limitaciones que presenta la oximetría de pulso. Nuestro estudio muestra que la  $SaO_2m$  sobrestima la  $SaO_2c$  a valores de  $SaO_2c$  inferiores al 90%, lo que concuerda con los hallazgos de otros autores (3). En igual forma, esto sucede cuando el pH se ubica en niveles  $< 7.30$  y  $> 7.50$ , hallazgo este no descrito en la literatura revisada.

En consecuencia con lo anterior, es necesario comprobar, con una muestra de gases arteriales, los valores de la saturación y de los cálculos derivados, cuando la  $SaO_2m$  es menor del 90%.

## REREFENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **Shapiro B.A, Peruzzi W.T.** Arterial Blood Gases in Parrillo J.E and Bone C. R. Critical Care Medicine, Principles of Diagnosis and Management, 1995, Mosby, pp 171.
2. **Dean R. CH., Juan J. R., James A. R.** Monitoring of Oxigen Transport and Oxigen Consumption in Tobin M.J., Principles and Practice of Intensive Care Monitoring 1998 The McGraw-Hill companies. pp 320.
3. **Amal J. Oximetry Pulse in Tobin M.J.,** Principles and Practice of Intensive Care Monitoring 1998 The McGraw-Hill companies pp 261.
4. **Civetta JM., Nelson LD.,** Venous Saturation Monitoring in Civetta JM, Taylor RW and Kirby RR. Critical Care. Third Edition 1997 Lippincott - Raven pp 909.
5. **Rasanen J, Downs JB, Hodges MR,** Continuous monitoring of gas exchange and oxygen use with dual oximetry. J Clin Anesth 1998 1:1 3-8.
6. **Gomez Alonso,** Síndrome de Dificultad Respiratoria del Adulto (SDRA) Fundamentos de Medicina Neumología 1990.
7. **Rasanen J, Downs JB, Malec DJ, DeHaven B, Garner WL,** Real time continuous estimation of gas exchange by dual oximetry. Intensive Care Med 1988 14:2 118-22.
8. **Gomez Alonso,** Evaluación de la función de oxigenación pulmonar: Análisis comparativo de 6 índices descritos en la literatura. Revista Colombiana de Anestesiología. Junio de 1990.

*Agradecimientos: El autor agradece al personal de enfermería de las Unidades de Cuidados Intensivos en las que se realizó el estudio, especialmente a las enfermeras Nancy Manrique y Janeth Vera de la clínica Palermo, por su colaboración en la recolección de los datos.*