

Variabilidad de la hemoglobina y hematocrito determinados en equipo de gases sanguíneos

Variability of hemoglobin and hematocrit determined in blood gas equipment

Luis Efrén Santos-Martínez^{1a}, Jorge René Cortés-Ruiz^{2b}, Olivia Vázquez-Tecpanecatí^{1c}, Adriana Ordoñez-Reyna^{1d}, Javier Quevedo-Paredes^{2e}

Resumen

Introducción: usualmente, la hemoglobina y el hematocrito se obtienen de sangre venosa periférica procesada en equipo convencional para biometría hemática, también pueden ser determinados de muestras arteriales procesadas en equipos para gases sanguíneos. Se desconoce su variabilidad al utilizar muestras arteriales y equipos para gases sanguíneos, además, si esta variabilidad pudiera afectar las decisiones clínicas.

Objetivo: conocer la variabilidad de la hemoglobina y hematocrito de muestras sanguíneas arteriales procesadas en equipo de gases sanguíneos.

Material y métodos: diseño transversal analítico. Se estudiaron de forma ciega sujetos consecutivos con enfermedad cardiopulmonar estable. Las muestras sanguíneas se adquirieron al mismo tiempo para su análisis en ambos equipos. La variabilidad se analizó con el estadístico descriptivo de Bland-Altman y su magnitud con el coeficiente de correlación intraclase.

Resultados: se analizaron 200 muestras sanguíneas de 50 pacientes, 31 (62%) mujeres, edad grupal 62 ± 14 años, índice de masa corporal 30.11 ± 5.69 Kg/m². La principal comparación: muestra sanguínea venosa periférica procesada en equipo del laboratorio (SYSMEX) frente a muestra arterial en equipo de gases sanguíneos (GEM). La diferencia media (sesgo) y el coeficiente de correlación intraclase de la hemoglobina fueron: 0.12 (-1.45, 1.23) y 0.95 (0.91, 0.97); hematocrito -4.4 (-0.4, 8.54) y 0.72 (0.51, 0.84).

Conclusiones: la diferencia media y sesgo de la hemoglobina fue cercana a 0; la del hematocrito fue mayor. La hemoglobina de muestras arteriales procesadas en equipos de gases sanguíneos son útiles para tomar decisiones clínicas.

Abstract

Background: Usually hemoglobin and hematocrit are obtained from peripheral venous blood samples processed in equipment for hematic biometry. These parameters can also be determined from arterial samples processed on blood gas equipment. Its variability when using arterial samples and this equipment is unknown, in addition, if the lack of knowledge of this variability affects clinical decisions.

Objective: To know the variability of hemoglobin and hematocrit from arterial blood samples processed in blood gas equipment.

Material and methods: Analytic cross design. Consecutive subjects with stable cardiopulmonary disease were blindly studied. The samples were obtained at the same time for analysis in both equipments. Variability was analyzed with Bland-Altman descriptive statistic and its magnitude with the intraclass correlation coefficient.

Results: Two hundred of blood samples from 50 patients were studied, 31 (62%) women, age 62 ± 14 years old, body mass index 30.11 ± 5.69 Kg/m². The main comparison was peripheral venous blood sample processed in laboratory equipment (SYSMEX) vs. arterial sample on blood gas equipment (GEM). The mean difference (bias) and intraclass correlation coefficient for hemoglobin were: 0.12 (-1.45, 1.23) and 0.95 (0.91, 0.97); for the hematocrit -4.4 (-0.4, 8.54), and 0.72 (0.51, 0.84).

Conclusions: The mean difference and bias for hemoglobin was close to 0; the hematocrit was higher. Hemoglobin from arterial samples processed in blood gas equipment can be used to make clinical decisions.

¹Instituto Mexicano del Seguro Social, Centro Médico Nacional Siglo XXI, Hospital de Cardiología, Departamento de Hipertensión Pulmonar y Corazón Derecho. Ciudad de México, México

²Instituto Mexicano del Seguro Social, Centro Médico Nacional "La Raza", Hospital de Especialidades "Antonio Fraga Mouret", Coordinación del Curso Profesional Técnico Universitario en Terapia Respiratoria. Ciudad de México, México

ORCID: 0000-0002-2866-3047^a, 0000-0003-4089-0282^b, 0000-0002-3482-8848^c, 0000-0002-9787-4032^d, 0000-0002-4864-3481^e

Palabras clave

Análisis de los Gases de la Sangre
Reproducibilidad de los Resultados
Circulación Pulmonar
Hipertensión Pulmonar

Keywords

Blood Gas Analysis
Reproducibility of Results
Pulmonary Circulation
Hypertension, Pulmonary

Fecha de recibido: 30/07/2021

Fecha de aceptado: 05/05/2022

Comunicación con:

Luis Efrén Santos Martínez

✉ luis.santos@cardiologia.org.mx

☎ 55 4881 5135

Cómo citar este artículo: Santos-Martínez LE, Cortés-Ruiz JR, Vázquez-Tecpanecatí O, Ordoñez-Reyna A, Quevedo-Paredes J. Variabilidad de la hemoglobina y hematocrito determinados en equipo de gases sanguíneos. Rev Med Inst Mex Seguro Soc. 2022; 60(4):363-70.

Introducción

La hemoglobina (HB) y el hematocrito (HTO) usualmente se obtienen de la biometría hemática (BH), o citometría hemática,¹ y se procesan en equipos convencionales para BH en el laboratorio clínico. Su reporte requiere de al menos 24 horas para conocer el resultado y poder tomar decisiones clínicas, diagnósticas y/o terapéuticas.

Estos parámetros (HB y HTO) también pueden obtenerse a través de equipos que analizan gases sanguíneos (conocidos como gasómetros o analizadores de gases sanguíneos) muy utilizados en las unidades de cuidados intensivos (UCI) y otras áreas hospitalarias.

La diferencia para el médico y/o el paciente es que el analizador de gases sanguíneos ofrece el resultado al instante (casi en tiempo real), lo que permite tomar decisiones clínicas diagnósticas-terapéuticas con rapidez y le evita al paciente una segunda o tercera visita a la consulta médica.

En un laboratorio de fisiología cardiopulmonar (que depende de un departamento clínico como el nuestro) se utilizan analizadores de gases sanguíneos para el análisis de la función respiratoria y la circulación pulmonar, que incluyen el intercambio gaseoso² y otros parámetros, como la HB y el HTO, para el estudio y tratamiento de pacientes con enfermedades cardiopulmonares.

Estos resultados casi instantáneos permiten tomar decisiones clínicas diagnósticas-terapéuticas en escenarios clínicos diversos que incluyen el análisis del intercambio gaseoso,² así como su uso en fórmulas establecidas para realizar cálculos hemodinámicos³ durante el cateterismo cardiaco derecho y definir la condición/presencia del cortocircuito intracardiaco o veno-arterial intrapulmonar que pueden cursar ambos con hipoxemia, eritrocitosis e hiper- viscosidad,^{4,5} para valorar el momento de la sangría (flebotomía) en pacientes con enfermedad cardiaca congénita con hematocrito > 65%,^{6,7} o, incluso, en la enfermedad pulmonar obstructiva crónica con eritrocitosis y su respuesta a la oxigenoterapia.⁸

En otros contextos clínicos, como el de la colitis ulcerativa, la HB y el HTO son útiles para estratificar el grado de actividad cuando el estudio histopatológico muestra actividad severa,⁹ y en áreas de moderada a gran altitud (> 2000 metros sobre el nivel del mar) permite conocer la magnitud del incremento como respuesta a la hipoxemia-hipobárica de la altura.^{10,11,12}

Obtener la HB y HTO casi al instante en gasómetros es una práctica habitual en el laboratorio de fisiología cardiopulmonar y en otras áreas hospitalarias como las UCI, sin

embargo, no se ha definido qué tan variables pueden ser los valores obtenidos con estos equipos analizadores de gases sanguíneos, y si esta conducta impacta las decisiones clínicas. La duda surge debido al tiempo para obtenerlos (ya que en el caso del gasómetro es instantáneo, frente al equipo convencional para BH que tarada más de 24 horas) y debido a que el método para calcular estos parámetros diferente en ambos equipos.

En equipos convencionales de laboratorios clínicos que determinan la BH, el método para estimar la HB es el de la cianometahemoglobina¹³ y el HTO es un producto calculado del volumen corpuscular medio.¹⁴ El sesgo aceptado es del 7% para estos equipos que estiman la HB de la BH.¹⁴ Los analizadores de gases estiman los parámetros a la inversa, primero calculan el HTO con la técnica de conductividad eléctrica y posteriormente la HB es derivada de una fórmula preestablecida.^{13,14}

A pesar del uso cotidiano de la HB y HTO en diferentes áreas clínicas, los trabajos^{15,16,17} para establecer su acuerdo, confiabilidad y/o variabilidad de acuerdo con los equipos utilizados para procesarlos son muy limitados, por lo tanto, se desconoce si las decisiones diagnósticas terapéuticas tomadas al utilizar estos valores derivados de los gasómetros son correctas. Por estos motivos, el objetivo del presente trabajo se centró en estimar la variabilidad de la HB y el HTO determinada entre los dos equipos, así como los obtenidos de muestras sanguíneas adquiridas de venas periféricas frente a las arteriales y de las combinaciones posibles entre equipos y sitios arterial/venosa periférica.

Material y métodos

El estudio se realizó en el Laboratorio de Fisiología Cardiopulmonar del Departamento de Hipertensión Pulmonar y Corazón Derecho de la Unidad Médica de Alta Especialidad del Hospital de Cardiología del Centro Médico Nacional Siglo XXI, del Instituto Mexicano del Seguro Social, en la Ciudad de México. La Ciudad de México se ubica a una altitud moderada de 2240 metros sobre el nivel del mar.

- Diseño. Piloto, transversal analítico. Se estudiaron pacientes consecutivos con enfermedad cardiopulmonar en condición estable. Se utilizó una muestra de conveniencia. El mismo observador (OVT) procesó todas las muestras y estuvo cegado al sitio de su obtención.
- Estabilidad. La condición de estabilidad se definió como libre de enfermedad o condición aguda dos meses previos a la prueba.
- Sujetos. Se incluyeron sujetos de ambos géneros, mayo-

res de 15 años, con enfermedad cardiopulmonar diversa. Se excluyeron los sujetos con alteraciones en la prueba de Allen¹⁸ y aquellos con tiempos de procesamiento de la muestra mayor a tres minutos.

- Muestras sanguíneas. Se adquirieron simultáneamente de arteria radial (una vez determinada la permeabilidad vascular mediante la prueba de Allen) y vena periférica de la región antecubital. Se mantuvieron sin contaminación con el aire ambiente hasta su análisis.
- Jeringas. Las muestras se obtuvieron con jeringas desechables DL de 1 mL (para insulina) de capacidad y de 13 mm de longitud de la aguja, calibre 27 G. Cada muestra arterial y venosa periférica de un mL se dividió en dos (0.5 mL cada una) y se procedió a su examen en cada equipo.
- Equipos para determinación de hemoglobina y hematocrito. Los dos equipos (referencia y prueba) utilizados fueron:
 - Equipo de referencia estándar para BH. Del laboratorio central SYSMEX XT-1800i, número de serie 15979. One Nelson C. White PKWY Mundelein, IL, 60060, USA. Estados Unidos de Norteamérica. Será denominado solo como SYSMEX.
 - En el equipo SYSMEX la hemoglobina se determina por el método del laurilsulfato (SLS) sódico para hemoglobina, es un método de análisis que utiliza dos métodos: el de la ciano-metahemoglobina y el de la oxihemoglobina. Al igual que en el método de la oxihemoglobina, la velocidad de conversión de hemoglobina del método de SLS-hemoglobina es rápido. Con este método de SLS-hemoglobina se emplean agentes tensioactivos para lisar la membrana de los eritrocitos con lo que se libera la hemoglobina. El grupo globina de la molécula de hemoglobina es alterado por el grupo alquilo hidrófilo del laurilsulfato sódico. Esto induce la conversión de la hemoglobina desde el estado ferroso (Fe+2) al férrico (Fe+3), con lo que se forma metahemoglobina que se combina con el laurilsulfato sódico para convertirse en una molécula de hemicromo SLS-HB y poder así ser determinada.¹³ El HTO en el equipo automatizado, se calcula del producto del volumen corpuscular medio multiplicado por el conteo eritrocitario.¹⁴
- Equipo para análisis de gases sanguíneos (gasómetro), equipo prueba. Del laboratorio de fisiología cardiopulmonar, GEM Premier 3000, modelo 5700, número de serie 20396, Instrumentation Laboratory, Lexington, Massachusetts, Estados Unidos de Norteamérica. Será denominado solo como GEM^{13,14}.
- En el equipo GEM Premier 3000 el HTO se mide con la técnica de conductividad eléctrica, se basa en el principio de que el plasma es más conductivo que los glóbulos rojos, debido a la alta resistencia de las membranas celulares, por lo que la resistividad de la sangre aumentará a medida que se eleva la concentración de las células. La relación se expresa con la ecuación de Maxwell-Fricke: $r = R_p \times (1 + HTO \div 100) \div (1 - HTO \div 100)$. Donde r es la resistividad de la sangre, R_p es la constante basada en la resistividad del plasma y el HTO.
- La determinación de la hemoglobina en equipo GEM Premier 3000 es calculada del hematocrito medido de acuerdo a la fórmula THBc (hemoglobina total estimada) = $HTO/3.226$ g/dL.^{13,14}
- Maniobra. Una vez seleccionado al sujeto se determinaron sus variables demográficas y de diagnóstico. Estando el sujeto sentado se procedió a asepsia de la región de la arteria radial y de la región antecubital. Se obtuvieron ambas muestras de sangre al mismo tiempo, se agitaron y se dividieron a la mitad (0.5 mL en jeringas de 1 mL). Se procesaron ambas en los equipos respectivos.
- Análisis estadístico. Los datos numéricos se presentan con promedios \pm desviación estándar y para los nominales con frecuencias y porcentajes. La distribución de normalidad se confirmó con el método de Kolmogorov-Smirnov. Las diferencias entre las diferentes muestras sanguíneas se analizaron con la prueba t de Student para grupos independientes. Debido a la característica del estudio piloto se obtuvo el poder estadístico para detectar una diferencia media de 1 gr/dL de HB, la cual fue del 94.65% y del HTO fue del 96.10%, para una diferencia del 3%. Una $p < 0.05$ se consideró con significancia estadística. El análisis de la variabilidad¹⁹ se calculó con el estadístico descriptivo de Bland-Altman²⁰ que incluyó la diferencia media y sus sesgos (denominados también límites de acuerdo) establecidos a ± 2 desviaciones estándar; su magnitud fue obtenida mediante el coeficiente de correlación intraclase²¹ (CCI) y su intervalo de confianza al 95% (IC95%).

Se calificó con un grado de acuerdo^{22,23} entre las diversas comparaciones: casi perfecto a aquellos con CCI de 0.81-1.0; acuerdo sustancial con CCI 0.61-0.80; acuerdo moderado con CCI 0.41-0.6; acuerdo regular con CCI 0.21-0.4; acuerdo leve 0.01-0.2, y acuerdo pobre con un CCI de 0.0.

Las comparaciones se realizaron conforme al tipo de muestra sanguínea: arterial frente a venosa periférica; además de acuerdo al tipo de equipo utilizado para su procesado (equipo de referencia: SYSMEX frente a equipo

prueba: GEM) y sus combinaciones posibles. Se muestran cómo fueron las comparaciones:

1. Muestra arterial analizada en equipos: SYSMEX frente a GEM.
2. Muestra venosa periférica analizada en equipos: SYSMEX frente a GEM.
3. Muestra arterial frente a venosa periférica procesadas en equipo SYSMEX.
4. Muestra arterial frente a venosa periférica procesadas en equipo GEM.
5. Muestra arterial examinada en equipo SYSMEX frente a muestra venosa periférica examinada en equipo GEM.
6. Muestra arterial procesada en equipo GEM frente a muestra venosa periférica procesada en equipo SYSMEX.

Aspectos éticos

Los sujetos aceptaron participar en el estudio y firmaron carta de consentimiento informado. El protocolo fue registrado en el Comité Local de Investigación y Ética de la UMAE Hospital de Cardiología del Centro Médico Nacional Siglo XXI del IMSS, con número de registro: R-2014-3604-2.

Resultados

Se estudiaron 53 sujetos, se excluyeron: 1 por alteraciones de la prueba de Allen y 2 por tiempos de procesamiento de la muestra mayor a tres minutos, el análisis se realizó en 200 muestras sanguíneas de los 50 sujetos restantes. Predominó el género femenino 31 (62%). La edad promedio del grupo fue de 62 ± 14 años, peso de 75.97 ± 13.02 kg, talla de 1.59 ± 0.08 metros y el índice de masa corporal (IMC) de 30.11 ± 5.69 Kg/m². Los pacientes con diagnóstico de enfermedad cardiológica fueron 14 (28%) y en 36 (72%) fue de origen neumológico (cuadro I). Los valores mínimos y máximos respectivos de la hemoglobina fueron 9.30 g/dL y 18.10 g/dL, y del hematocrito 28.70% y 52.70%.

En el cuadro II se puede observar el comportamiento de las diversas comparaciones de la HB y en el cuadro III, del HTO, sus promedios \pm DS, la diferencia media, sesgos (límites de acuerdo) y el CCI con su IC95%. No se encontraron diferencias estadísticas para las comparaciones de la HB entre los dos equipos, entre los sitios de donde se

obtuvieron las muestras sanguíneas y de las diversas combinaciones de estos.

En todas estas comparaciones las diferencias medias estuvieron consistentemente muy cercanas a la línea media (cercanas a la diferencia media de 0) con sesgo dentro de las ± 2 DS (límites de acuerdo), y un grado de acuerdo casi perfecto (CCI: 0.81-1.0). El determinar la HB de estos dos sitios de punción o procesarla en cualquiera de los dos equipo el resultado fue similar.

Con relación al hematocrito (cuadro III) el comportamiento fue diferente a la hemoglobina, cuando se utilizó el mismo equipo (SYSMEX o GEM) para procesar la muestra arterial y venosa periférica se encontró con una diferencia media cercana a la línea media (cero), sesgo dentro de las ± 2 DS y el CCI indicó un acuerdo casi perfecto (CCI: 0.81-1.0).

Cuando la comparación del HTO de la muestra arterial y de vena periférica se realizó en equipo diferente (SYSMEX frente a GEM) el CCI disminuyó a 0.66 (0.41, 0.81), la diferencia media se alejó del cero y el sesgo se hizo mayor a los previos; el grado de acuerdo disminuyó a ser sustancial (CCI: 0.61-0.80). Finalmente, hubo mayor deterioro cuando las comparaciones de muestras sanguíneas y equipos se cruzaron, esto es, se compararon la muestra arterial frente a la venosa periférica y se procesaron en equipos diferentes SYSMEX frente a GEM, y a la inversa. La diferencia media en una comparación fue negativa, en la otra se desvió hacia la positividad. Ambas con un sesgo mayor a los previos, aunque aun dentro de las ± 2 DS y el CCI, disminuyó de 0.72 (0.51, 0.84) a 0.56 (0.23, 0.75), lo que los sitúa en un grado de acuerdo moderado (CCI 0.41-0.6).

En resumen, el HTO tiene un comportamiento similar si la muestra sanguínea (arterial y venosa periférica) se procesa en el mismo equipo. Los resultados son muy desiguales si se procesan las muestras en equipos diferentes y las muestras sanguíneas son de sitios de punción diferentes (arterial y venosa periférica). Esta variabilidad no permite utilizar en forma indistinta el valor del HTO del sitio de punción o del equipo utilizado.

Cuadro I Diagnósticos de los sujetos estudiados

Diagnóstico	n	%
Cardiopatía valvular aórtica	7	14
Insuficiencia cardiaca	3	6
Cardiopatía isquémica	4	8
Enfermedad pulmonar obstructiva crónica	16	32
Asma bronquial	9	18
Síndrome de apnea obstructiva del sueño	7	14
Neumopatía intersticial	4	8

Cuadro II Comportamiento de las diversas comparaciones de la hemoglobina, diferencia media, sesgos (límites de acuerdo) y del coeficiente de correlación intraclase con su respectivo intervalo de confianza al 95% determinada en equipos SYSMEX y GEM de muestras arterial y venosa periférica

Par de Muestras, g/dl	Muestra 1 M ± DS (n = 100)	Muestra 2 M ± DS (n = 100)	Diferencia Media M	Límite de Acuerdo M ± 2DS	HB-CCI, (IC95%)
HB SYSMEX A vs. GEM A	14.49 ± 1.44	14.69 ± 1.58	-0.21	-1.51, 1.09	0.95 (0.92, 0.97)
HB SYSMEX VP vs. GEM VP	14.57 ± 1.47	14.93 ± 1.62	-0.36	-1.54, 0.82	0.96 (0.92, 0.98)
HB SYSMEX A vs. VP	14.49 ± 1.44	14.57 ± 1.47	-0.08	-0.86, 0.69	0.98 (0.97, 0.99)
HB GEM A vs. VP	14.69 ± 1.58	14.93 ± 1.62	-0.23	-1.15, 0.69	0.98 (0.96, 0.99)
HB SYSMEX A vs. GEM VP	14.49 ± 1.44	14.93 ± 1.62	-0.44	-1.83, 0.96	0.95 (0.91, 0.97)
HB GEM A vs. SYSMEX VP	14.69 ± 1.58	14.57 ± 1.47	0.12	-1.45, 1.23	0.95 (0.91, 0.97)

A: arterial; CCI: coeficiente de correlación intraclase; HB: hemoglobina; IC95%: intervalo de confianza al 95%; M: promedio; 2DS: 2 desviaciones estándar; SYSMEX: equipo SYSMEX 1800; GEM: equipo GEM Premier 3000; VP: venosa periférica

Cuadro III Comportamiento de las diversas comparaciones del hematocrito, diferencia media, sesgo (límites de acuerdo) y del coeficiente de correlación intraclase con su respectivo intervalo de confianza al 95%, determinados en equipos SYSMEX y GEM, de muestras arterial y venosa periférica

Par de muestras, %	Muestra 1 M ± DS (n = 100)	Muestra 2 M ± DS (n = 100)	Diferencia Media	Límite de Acuerdo M ± 2DS	HTO-CCI, (IC95%)
HTO SYSMEX A vs. VP	42.37 ± 4.03	42.95 ± 4.23	-0.58	-3.10, 1.93	0.95 (0.91, 0.97)
HTO GEM A vs. VP	47.39 ± 5.10	48.14 ± 5.27	-0.76	-3.66, 2.14	0.95 (0.89, 0.98)
HTO SYSMEX A vs. GEM A	42.37 ± 4.03	47.38 ± 5.10*	-5.01	-8.47, -1.55	0.66 (0.41, 0.81)
HTO SYSMEX VP vs. GEM VP	42.95 ± 4.23	48.14 ± 5.27*	-5.18	-9.02, -1.34	0.66 (0.41, 0.81)
HTO SYSMEX A - GEM VP	42.37 ± 4.03	48.14 ± 5.27*	-5.77	-9.81, -1.63	0.56 (0.23, 0.75)
HTO GEM A - SYSMEX VP	47.38 ± 5.10	42.95 ± 4.23*	-4.4	-0.4, 8.54	0.72 (0.51, 0.84)

A: arterial; CCI: coeficiente de correlación intraclase; HTO: hematocrito; IC95%: intervalo de confianza al 95%; M: promedio; 2DS: 2 desviaciones estándar; SYSMEX: equipo SYSMEX 1800; GEM: equipo GEM Premier 3000; VP: venosa periférica

*Prueba t de Student para grupos dependientes: $p < 0.05$

Discusión

La importancia del trabajo se debe a la discrepancia notada en los resultados de la HB y HTO hasta del 5% entre los obtenidos de la BH (procesadas en equipos de laboratorio central, SYSMEX [muestra venosa periférica]) y los resultados de muestras arteriales (procesados en analizador de gases sanguíneos, GEM [muestra arterial]). En nuestra práctica clínica estos parámetros son muy importantes dado que se utilizan para normar conductas diagnósticas-terapéuticas diversas de forma rápida y oportuna.^{3,4,5,6,7,8}

La información de la variabilidad/acuerdo de la HB y HTO es escasa entre estos equipos.¹⁴ En la comparación¹⁵ de la HB obtenida en equipo SYSMEX (equipo laboratorio central) frente a iSTAT (analizador de gases sanguíneos) la diferencia media y sus sesgos (límites de acuerdo) obtenidos fueron muy amplios, 11.7 (4, 19.4 g/L). En otro estudio¹⁶ se señaló que el grado de acuerdo entre estos equipos para

la HB y HTO y con el método manual para obtener el HTO tuvo un acuerdo casi perfecto.

En el presente trabajo, la HB tuvo la menor variabilidad (cercana al cero) y su grado de acuerdo fue casi perfecto entre ambos equipos, en concordancia con la variación aceptada para la HB del $\pm 7\%$ por el Colegio Americano de Patología y de las Enmiendas de Mejora de Laboratorio Clínico.¹³ Se tuvo menor variabilidad que las comparaciones hechas con diferentes métodos y equipos en el trabajo de Whitehead Jr. et al.,¹³ la referencia para la determinación de HB se llevó a cabo con analizadores hematológicos automatizados (AHA). Esta variación es señalada desde la sangre capilar obtenida de los dedos frente a la sangre venosa, donde se mostraron altas concentraciones capilares de HB; si se utilizan gotas individuales se observan bajas concentraciones frente a sangre capilar total. El sesgo (límites de acuerdo) con respecto a AHA frente a todos los que usaron métodos de cianometahemoglobina (1.8 g/L) sobre-

estimaron las concentraciones: escala de colores (0.5, 10 g/L); dispositivos basados en papel (5, 7 g/L); Hemo@Cue Hb-201 (1, 16 g/L) y Hb-301 (0.5, 6 g/L), y Masimo Pronto® (0.3, 14 g/L); y el Masimo Radical®-7 infra y sobreestimaron los valores (3, 104 g/L). En la revisión sistemática y meta-análisis de Shabaninejad *et al.*,²³ se analizaron los dispositivos de monitoreo no invasivo de HB (sistemas de oxímetros de pulso) frente a las medidas de HB en laboratorio central estándar, el sesgo fue de 0.44, 0.10, por lo que se consideró aceptable para las HB determinadas.

En resumen, las decisiones clínicas que se tomen con base en las HB procesadas en gasómetros serán confiables, tal como lo sugieren los datos de este trabajo, a la altura moderada de la Ciudad de México¹¹ donde el incremento de la HB es considerado estable para las condiciones de altura e hipoxia alveolar relativa.¹²

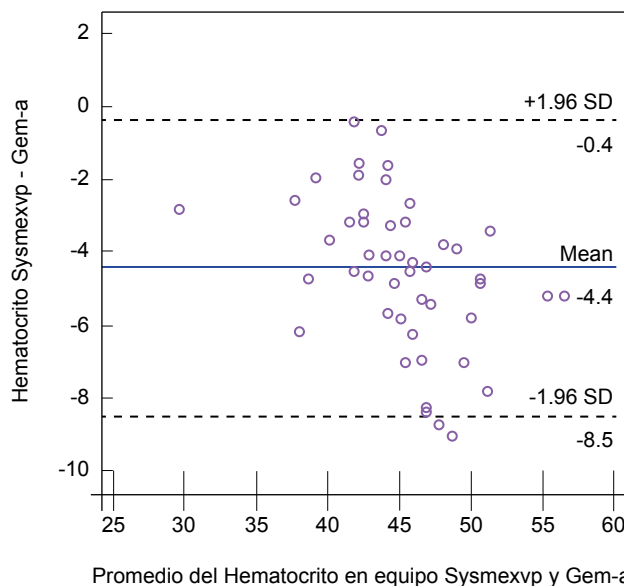
En contraste con la hemoglobina, con el HTO hubo diferencias que parecen estar relacionadas con el método de análisis de cada equipo, además con la hemoconcentración,²⁴ como ocurre con nuestros pacientes. Como ha sido mencionado previamente, las comparaciones van desde casi perfectas hasta moderadas (cuadro III). Si las muestras sanguíneas de ambos sitios se procesaron en el mismo equipo, la variabilidad es menor (cerca de la línea media, 0) y el grado de acuerdo es casi perfecto; sin embargo, esta variabilidad aumenta (se aleja de la línea media, diferente a 0) y el grado de acuerdo se hace sustancial, si una muestra sanguínea arterial se procesa en ambos equipos, similar a lo que sucede si la muestra es venosa periférica. La variabilidad incrementa aún más (se aleja de la línea media [0]) y el grado de acuerdo disminuye a moderado si la comparación de las muestras se lleva a cabo en equipos diferentes y con diferentes sitios de obtención de las muestras.

Al escenario clínico observado (GEM arterial frente a SYSMEX vena periférica [0.72 (0.51, 0.84)] o SYSMEX arterial frente a GEM vena periférica [0.56 (0.23, 0.75)]) le correspondería un grado de acuerdo sustancial (CCI: 0.61-0.80) a moderada (CCI: 0.41-60), que concuerda con la observación clínica que dio origen a la pregunta de investigación donde se observó una diferencia del 5%. Se muestra la variabilidad diferencia media (sesgo) en forma gráfica de la relación SYSMEX vena periférica frente a GEM arterial para el HTO en la figura 1 y con fines de comparación la misma relación para la HB en la figura 2.

El HTO, a pesar de su uso extendido en humanos en la práctica clínica, poco se ha utilizado con fines de comparación para evaluar su variabilidad/acuerdo.

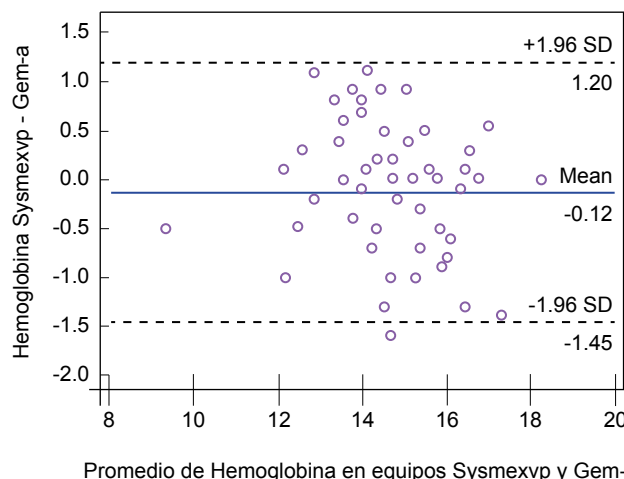
En este trabajo mostramos que el resultado ofrecido por los equipos no siempre es igual. Se requiere de un proceso

Figura 1 Gráfico de Bland-Altman de la variabilidad (diferencia media [sesgo]) de la comparación del hematocrito obtenido de equipo SYSMEX-muestra venosa periférica frente a GEM-muestra arterial



Se muestra para el hematocrito una diferencia media -4.4 y el sesgo (límites de acuerdo) amplio: (-4, -8.5), señala variabilidad amplia SYSMEX-VP: equipo SYSMEX con muestra sanguínea de vena periférica; GEM-A: equipo GEM con muestra arterial; Mean: diferencia media; ± 2 SD: 2 desviaciones estándar (sesgo)

Figura 2 Gráfico de Bland-Altman de la variabilidad (diferencia media [sesgo]) de la comparación de la hemoglobina obtenida de equipo SYSMEX-muestra venosa periférica frente a GEM-muestra arterial



Se muestra para la hemoglobina una diferencia media -0.12 y el sesgo (límites de acuerdo) estrecho, señala variabilidad mínima SYSMEX-VP: equipo SYSMEX con muestra sanguínea de vena periférica; GEM-A: equipo GEM con muestra arterial; Mean: diferencia media; ± 2 SD: 2 desviaciones estándar (sesgo)

de control de calidad de los equipos utilizados en cada laboratorio²⁵ que usan estos parámetros (y otros) y apoyan en la práctica clínica.

Limitaciones del estudio: las limitaciones del trabajo están exhibidas por su mismo diseño: ser un trabajo piloto, con un tamaño muestral limitado y, además, ser monocéntrico. Sin embargo, se requieren otros estudios adicionales para validar lo aquí señalado.

Conclusiones

La variabilidad de la hemoglobina es cercana a 0, con un grado de acuerdo casi perfecto entre los sitios puncionados (arterial o venosa periférica) y procesada en ambos equipos (SYSMEX XT-1800i y GEM Premier 3000). Es posible hacer

decisiones clínicas confiables cuando se utilice el valor de la hemoglobina obtenido de muestras sanguíneas arteriales y que hayan sido procesadas en un analizador de gases sanguíneos (gasómetro).

El hematocrito determinado de sangre arterial y vena periférica tienen la mayor variabilidad al alejarse de la diferencia media (0) con sesgo amplio si la muestra es procesada en equipos diferentes. Los resultados no son intercambiables ya que podrían conducir a decisiones clínicas diagnósticas-terapéuticas erróneas.

Declaración de conflicto de interés: los autores han completado y enviado la forma traducida al español de la declaración de conflictos potenciales de interés del Comité Internacional de Editores de Revistas Médicas, y no fue reportado alguno que tuviera relación con este artículo.

Referencias

- López-Santiago N. Biometría Hemática. *Acta Pediatr Mex.* 2016;37(4):241-49. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/pdfs/actpedmex/apm-2016/apm164h.pdf>
- Santos-Martínez LE, Martínez-Guerra ML, Duran A, Rodríguez F, Gotés J, Roquet I, et al. Utilidad de la gasometría capilar para evaluar el intercambio gaseoso con FIO₂ al 21 % y al 100 % en el sujeto con enfermedad cardiopulmonar estable a 2,240 metros sobre el nivel del mar. *Arch Cardiol Mex.* 2009;79(1):18-26. Disponible en: <https://www.elsevier.es/es-revista-archivos-cardiologia-mexico-293-pdf-X1405994009459218>
- Vitón-Castillo AA, Rego-Avila H, Mena-Hernández VM. Monitoreo hemodinámico en el paciente crítico. *CorSalud.* 2021; 13(2):229-39. Disponible en: <http://www.revcorsalud.sld.cu/index.php/cors/article/view/585/1402>
- Díaz-Domínguez E, Rosas-Peralta M, Santos-Martínez LE, Rodríguez-Almendros NA, Magaña-Serrano JA, Pérez-Rodríguez G. El síndrome de hipoventilación del obeso y la hipertensión pulmonar. Una asociación poco conocida en México. *Rev Med Inst Mex Seguro Soc.* 2018;56(1):72-83. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/pdfs/imss/im-2018/im181l.pdf>
- Martínez-Guerra ML, Fernández-Bonetti P, Lupi-Herrera E, Rotberg T, Elizalde A. Alteraciones respiratorias en la obesidad. Aspectos clínicos y funcionales. *Arch Inst Cardiol Mex.* 1975; 45(1):12-21.
- Brida M, Gatzoulis MA. Pulmonary arterial hypertension in adult congenital heart disease. *Heart.* 2018;104(19):1568-74. doi: 10.1136/heartjnl-2017-312106.
- Santos-Martínez LE, Martínez-Guerra ML, Bautista E, Castillo F, Castañón A, Pulido T, et al. Impacto de la maniobra de inspiración profunda en el intercambio gaseoso del sujeto con obesidad severa e hipertensión arterial pulmonar asociada a síndrome de Eisenmenger. *Arch Cardiol Mex.* 2008;78(3):265-72. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/acm/v78n3/v78n3a4.pdf>
- Vázquez-García JC, Hernández-Zenteno RJ, Pérez-Padilla JR, Cano-Salas MC, Fernández-Vega M, Salas-Hernández J, et al. Guía de práctica clínica mexicana para el diagnóstico y tratamiento de la enfermedad pulmonar obstructiva crónica. *Neumol Cir Torax.* 2019; 78 (supl. 1): S3-S75. doi: [org/10.35366/NTS191A](https://doi.org/10.35366/NTS191A)
- Ibarra-Rodríguez JJ, Santiago-Luna E, Velázquez-Ramírez GA, López-Ramírez MKL, Fuentes-Orozco C, Cortés-Flores AO, et al. Sensibilidad, especificidad y valores predictivos del nivel de hemoglobina, hematocrito y cuenta plaquetaria como índices de actividad en colitis ulcerativa. *Cir Ciruj.* 2005; 73(5):355-62. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/pdfs/circir/cc-2005/cc055f.pdf>
- León-Velarde F, Gamboa A, Chuquiza JA, Esteba WA, Rivera-Chira M, Monge-C C. Hematological parameters in high altitude residents living at 4355, 4660, and 5500 meters above sea level. *High Altitude Med Biol.* 2000;1(2):97-104. doi: 10.1089/15270290050074233
- Grimminger J, Richter M, Tello K, Sommer N, Gall H, Ghofrani HA. Thin air resulting in high pressure: Mountain sickness and hypoxia-induced pulmonary hypertension. *Can Respir J.* 2017;8381653. doi: 10.1155/2017/8381653
- Gassmann M, Mairbörl H, Livshits L, Seide S, Hackbusch M, Malczyk M, et al. The increase in hemoglobin concentration with altitude varies among human populations. *Ann NY Acad Sci.* 2019;1450(1):204-20. doi: 10.1111/nyas.14136
- Whitehead RD, Mei Z, Mapango C, Jefferds MAD. Methods and analyzers for hemoglobin measurement in clinical laboratories and field settings. *Ann NY Acad Sci.* 2019;1450(1): 147-71. doi: 10.1111/nyas.14124
- Fairbanks VF. Nonequivalence of automated and manual hematocrit and erythrocytic indices. *Am J Clin Pathol.* 1980;73(1):55-62. doi: 10.1093/ajcp/73.1.55
- Esquivel-Molina CG, Ayala-Limón JP, Rivera-Tizcareño JA, Velasco-Rodríguez VM, Hernández-García O, Castillo-Ruiz CE. Concordancia en la medición de electrolitos, glucosa, hemoglobina y hematocrito entre un laboratorio estándar y un analizador portátil. *Rev Asoc Mex Med Crit y Ter Int.* 2006; 20(3):136-41. Disponible en: <https://www.imbiomed.com.mx/articulo.php?id=38960>
- Leino A, Kaisa Kurvinen K. Interchangeability of blood gas,

- electrolyte and metabolite results measured with point-of-care, blood gas and core laboratory analyzers. *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine*. 2011;49(7):1187-91. doi: 10.1515/CCLM.2011.185
17. Rudolf J, Douglass J, Baron J, Lewandrowski K. Evaluation of the i-STAT point-of-care capillary whole blood hematocrit and hemoglobin: Comparison to the Siemens RAPIDLab 1200, Sysmex XE5000, and manual spun hematocrit. *Clinica Chimica Acta*. 2015;446: 37-42. doi: 10.1016/j.cca.2015.03.035
 18. Allen EV. Thromboangitis obliterans: Methods of diagnosis of chronic occlusive arterial lesions distal to the wrist with illustrative cases. *American Journal of the Medical Sciences*. 1929;178(2):237-43. doi: 10.1097/ 00000441-192908000-00009
 19. Prieto L, Lamarca R, Casado A. La evaluación de la fiabilidad en las observaciones clínicas: el coeficiente de correlación intra-clase. *Med Clin (Barc)*. 1998;110:145-55. Disponible en: <https://www.mvclinic.es/wp-content/uploads/Prieto-Coficiente-correlaci%C3%B3n-intraclase.pdf>
 20. Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet*. 1986;1(8476):307-10. Disponible en: [https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736\(86\)90837-8/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736(86)90837-8/fulltext)
 21. Kramer MS, Feinstein AR. Clinical biostatistics LIV. The biostatistics of concordance. *Clin Pharmacol Ther*. 1981;29(1):111-23. doi: 10.1038/clpt.1981.18
 22. Olmos-Temois SG, Santos-Martínez LE, Álvarez-Álvarez R, Gutiérrez-Delgado LG, Baranda-Tovar FM. Acuerdo interobservador de los parámetros que estiman la función sistólica del ventrículo derecho en el período posoperatorio temprano de cirugía cardiaca. *Med Intensiva*. 2016;40(8):491-8. doi:10.1016/j.medin.2016.02.013.
 23. Shabaninejad H, Ghadimi N, Sayehmiri K, Hosseini H, Azarfarin R, Gorji HA. Comparison of invasive and noninvasive blood hemoglobin measurement in the operating room: a systematic review and meta-analysis. *J Anesth*. 2019;33(3): 441-53. doi: 10.1007/s00540-019-02629-1
 24. Wisanuvej K, Boonyawat K, Savetamornkul Ch, Virapongsiri S, Krongvorakul J, Sungkanuparph S, et al. Comparison between blood hemoglobin concentration determined by point of care device and complete blood count in adult patients with dengue. *Plos Negl Trop Dis*. 2021; 15(8):e0009692. doi:10.1371/journal.pntd.0009692
 25. Juárez-Pérez CA, Zempoalteca-Angulo YF, Haro-García LC, Mercado-García A, Jiménez-Ramírez C, Aguilar-Madrid G. Concordancia interlaboratorios en la cuantificación de plomo en la sangre. *Rev Med Inst Mex Seguro Soc*. 2014;52(1):28-33. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/pdfs/imss/im-2014/im141h.pdf>