

INVESTIGACIÓN DE MONÓXIDO DE CARBONO EN SANGRE CADAVERICA ANÁLISIS COMPARATIVO DE EQUIPOS DE MEDICIÓN

(INVESTIGATION OF CARBON MONOXIDE IN CADAVERIC BLOOD: COMPARATIVE ANALYSIS OF MEASUREMENT EQUIPMENT)

RESUMEN

La intoxicación por monóxido de carbono (ICO) es una de las principales causas de envenenamiento a nivel mundial, y presenta una alta mortalidad si no se trata de manera oportuna. En la Morgue Judicial de la Nación, el diagnóstico se realiza mediante la medición de carboxihemoglobina (COHb) en sangre cadavérica, utilizando técnicas de coximetría/oximetría con equipos automatizados. Mediante un estudio basado en datos recopilados entre 2018 y 2021 se evaluó la concordancia de las mediciones de COHb entre dos equipos distintos, obteniendo un coeficiente de correlación intraclase (ICC) de 1,0. Ese valor se correlaciona con una clasificación de fuerza de concordancia “Muy buena” o acuerdo óptimo. Esto sugiere que ambos dispositivos proporcionan resultados consistentes y fiables.

Durante los 48 meses analizados, se realizaron 14.620 autopsias, de las cuales en 89 casos (0,61%) se confirmó la intoxicación letal por CO como principal causa de muerte.

PALABRAS CLAVE: intoxicación, monóxido de carbono, carboxihemoglobina, cooximetría, medición. Oxímetro OSM3; ABL 800 Radiometer.

ABSTRACT

Carbon monoxide poisoning is one of the main causes of poisoning worldwide, and has a high mortality rate if not treated in a timely manner. At the National Judicial Morgue, the diagnosis is made by measuring carboxyhemoglobin (COHb) in cadaveric blood, using coximetry/oximetry techniques with automated equipment.

A study based on data collected between 2018 and 2021 evaluated the concordance of COHb measurements between two different pieces of equipment, obtaining an intraclass correlation coefficient (ICC) of 1. This value correlates with a strength rating of “very good” or “optimal agreement” concordance which suggests that both devices provide consistent and reliable results.

During the 48 months analyzed, 14,620 autopsies were performed, 89 cases of which (0.61%) were diagnosed mainly as carbon monoxide poisoning deaths.

KEYWORDS: intoxication, carbon monoxide, carboxyhemoglobin, cooximetry. Measurement. OSM3 oximeter. ABL 800 Radiometer.

Marcela Azcurra¹,
M. Celina Giarini²,
Silvia Palmerio³,
Claudia Pombo²,
Silvina García
Medavar⁴, Andrea
Rothschild³,
Alejandra González⁵
y Daniel Álvarez.⁶

¹Bioquímica, Mg. Biología
Molecular Médica. Perito
Bioquímica.

²Bioquímica.

³Licenciada en Ciencias
Biológicas.

⁴Médica y Bioquímica.

⁵Técnica en Histología.

⁶Técnico Superior en
Análisis Clínicos.

Laboratorio de Análisis
Clínicos, Morgue Judicial de
la Nación, Cuerpo Médico
Forense, Centro de
Asistencia Judicial Federal,
Corte Suprema de Justicia
de la Nación.

Contacto: mazcurra@csjn.gov.ar

INTRODUCCIÓN

1. Intoxicación por monóxido de carbono (ICO).

1.a. Generalidades.

La ICO es reconocida como una de las principales causas de envenenamiento tanto en nuestro país como a nivel mundial, con una elevada mortalidad si no se realiza un tratamiento adecuado de forma rápida. El monóxido de carbono (CO) es un gas incoloro, insípido e inodoro, lo que lo hace indetectable sin la ayuda de dispositivos especializados. Este gas es un subproducto común de la combustión incompleta de hidrocarburos presentes en combustibles como el gas, el carbón y la madera, lo que lo convierte en un riesgo potencial tanto en el hogar como en entornos industriales. Se lo considera como “asesino silencioso”, lo que subraya la importancia de la educación y prevención de riesgos relacionados con su exposición. Las personas afectadas pueden no ser conscientes de su exposición hasta que los síntomas se manifiestan, lo cual muchas veces ocurre cuando la intoxicación ya ha progresado a niveles peligrosos. La distribución de los casos de ICO tiene una continuidad a lo largo del año, pero presenta un aumento estacional en los meses de bajas temperaturas, asociado al uso de sistemas de calefacción en espacios cerrados y mal ventilados, donde la acumulación de CO es más probable. Sin embargo, es importante destacar que la ICO no se limita a esta estación, ya que existen diversas fuentes de exposición a lo largo del año, como la contaminación industrial, incendios, intentos de suicidio y catástrofes con un gran número de afectados, como accidentes masivos o explosiones.¹

En Argentina se estima que ocurren aproximadamente 40.000 casos clínicos anuales de ICO, la mayoría prevenibles y

alrededor de unas 200 muertes.² Entre 2019 y 2024, se notificaron 6.105 casos, de los cuales 5.312 fueron confirmados, principalmente por criterio clínico (83.1%). La distribución por sexo mostró un 55.3% de mujeres y 44.7% de hombres, con una mediana de edad de 21 años.¹

A nivel mundial se manifiestan datos alarmantes. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), en 2014, 4.3 millones de personas fallecieron por exposición a contaminantes del aire en ambientes interiores emitidas por fogones rudimentarios. Esto llevó a que se tomaran directrices para introducir tecnologías menos contaminantes y mejorar la calidad del aire en los hogares.³

La ICO representa un grave problema de salud pública debido a su alta mortalidad y morbilidad, así como a su naturaleza silenciosa. La prevención es clave, y se debe enfatizar la necesidad de mejorar la ventilación en los hogares, utilizar detectores de CO, y promover la concienciación pública sobre los riesgos asociados a este gas. Además, la identificación temprana y el tratamiento rápido son fundamentales para reducir las consecuencias fatales y las secuelas a largo plazo que pueden derivarse de esta forma de envenenamiento.²

1.b. Mecanismo de acción, manifestaciones clínicas y efectos letales.

El peligro fisiológico del CO radica en su capacidad para unirse a la hemoglobina (Hb) en la sangre con una afinidad entre 200 y 250 veces mayor que la del oxígeno (O₂). La Hb, cuya función principal es el transporte de O₂ desde los pulmones hacia los tejidos, pierde esta capacidad de manera significativa cuando se encuentra en forma de COHb, complejo formado entre el CO y la Hb. Este desplazamiento del O₂ reduce drásticamente la oxigenación tisular, produciendo hipoxia a nivel celular. La hipoxia es especialmente peligrosa pa-

ra órganos con alta demanda metabólica, como el cerebro y el corazón, lo que lleva a una cascada de efectos sistémicos. Además de este mecanismo, el CO tiene la capacidad de inhibir importantes rutas metabólicas oxidativas a nivel celular. En particular, cuando se une a la citocromo c oxidasa, una enzima clave en la cadena respiratoria mitocondrial, interfiriendo en el mecanismo de producción de adenosín trifosfato (ATP), la principal fuente de energía celular. Este bloqueo conduce a un estado de estrés energético y exacerba la disminución de disposición de O₂ en los tejidos, desencadenando acidosis metabólica. A nivel sistémico, los efectos incluyen depresión del sistema nervioso central, que se manifiesta clínicamente con síntomas como cefalea, mareos, náuseas, confusión, e incluso convulsiones o coma en los casos más graves. El CO no solo afecta la hemoglobina, sino que también tiene una afinidad considerable por la mioglobina, la proteína encargada del almacenamiento de oxígeno en el tejido muscular, especialmente en el músculo cardíaco. La unión del CO a la mioglobina afecta directamente la función contráctil del corazón, provocando isquemia miocárdica, arritmias e insuficiencia cardíaca,

contribuyendo así a la alta mortalidad observada en casos de intoxicación grave.²

El diagnóstico de la ICO puede complicarse debido a que la sintomatología presentada es diversa e inespecífica. La confirmación se basa principalmente en la medición de los niveles de COHb en sangre, que pueden ser detectados mediante diferentes metodologías.⁴ Sin embargo, la correlación entre los niveles de COHb y la gravedad de los síntomas no siempre es directa, ya que factores como la duración de la exposición y la susceptibilidad individual (por ejemplo, en personas con enfermedades cardiovasculares o respiratorias preexistentes) juegan un papel importante en la severidad de la intoxicación. Adicionalmente, la respuesta del organismo puede verse influenciada por la actividad física realizada, así como por características individuales del paciente, tales como su edad, rendimiento cardíaco, volumen minuto respiratorio, demanda de oxígeno de los tejidos y concentración de hemoglobina en sangre⁵. Aun así, puede hacerse una correlación aproximada entre la COHb y la sintomatología de la ICO desde leve hasta letal. (Ver gráfico 1).⁵

Niveles de COHb y síntomas clínicos asociados a la intoxicación por monóxido de carbono

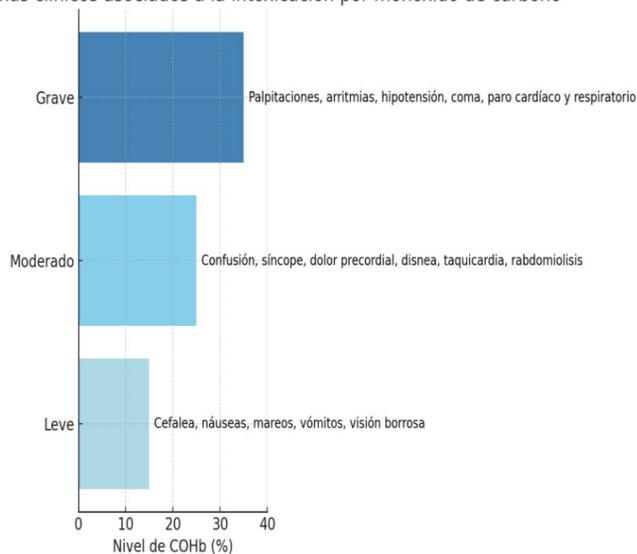


GRAFICO 1. Niveles de COHb y correlación sintomatológica.

El tratamiento de la ICO se centra en la administración de oxígeno al 100% para facilitar el desplazamiento del CO de la hemoglobina y aumentar la oxigenación tisular. En los casos más graves, el tratamiento con oxígeno hiperbárico, que implica la administración de oxígeno a presiones superiores a la atmosférica, es altamente efectivo para acelerar la eliminación del CO y mitigar el daño tisular, reduciendo las secuelas neurológicas, como trastornos cognitivos, pérdida de memoria y dificultades motoras.⁵

El CO no se absorbe *post-mortem*, por lo que su determinación en muestras cadavéricas sirve como un indicador de la concentración presente al momento de la muerte. La COHb forma un compuesto altamente estable, y su cuantificación en muestras *post-mortem* proporciona información sobre su concentración al momento del fallecimiento.⁶ En individuos sanos de mediana edad, una saturación de CO en sangre superior al 50% se considera letal. No obstante, en personas con patologías que comprometen la oxigenación de los tejidos, como anemia, enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), enfisema y enfermedad coronaria aterosclerótica, las concentraciones letales de CO pueden ser considerablemente menores.⁷

En la Morgue Judicial de la Nación, donde se realizó este estudio, se establece por consenso experimental, como valor de corte para diagnosticar la muerte por intoxicación por monóxido de carbono, una concentración de COHb mayor o igual al 25% de la Hb. Los valores de referencia de COHb en humanos, expresados como porcentaje de Hb, se presentan en la Tabla 1.

1.c. Relevancia y alcance de la ICO.

Los laboratorios asociados a los Centros de Medicina Legal, como el Laboratorio de Análisis Clínicos de la Morgue Judicial de la Nación, brindan un apoyo esencial a los Servicios de Tanatología al proporcionar datos críticos que permiten realizar, en forma interdisciplinaria, los diagnósticos de muerte. Un aspecto clave de este aporte es la medición de COHb en sangre cadavérica, una prueba crucial para el diagnóstico de intoxicación por CO. La disposición de los laboratorios forenses de proporcionar estos resultados de manera pronta y eficiente, hacen imprescindible el desarrollo, puesta a punto y el consecuente control y evaluación de las muestras, técnicas y equipamientos utilizados. Esta búsqueda de afianzar los procedimientos y darle a estos soporte de

Valores de referencia	COHb (% Hgb)
No fumadores	<1.5
Fumadores	5.0-9.0
Expuestos a CO	9.0-25.0
Intoxicación	> 25.0

TABLA 1. Valores de referencia de COHb en humanos.

investigación práctica y bibliográfica, es válida tanto en diagnósticos de urgencia en pacientes vivos como en diagnósticos de causal de muerte.⁸

El estudio aquí presentado, se centra en la confrontación de 86 resultados de COHb en muestras cadavéricas, procesadas en el período 2018 al 2021, obtenidos con dos equipos de tipo oxímetros disponibles en el Laboratorio. Después de realizar el cotejo y comparar estadísticamente los resultados, podremos concluir si los datos que arrojan ambos equipos producen re-

sultados similares y fiables. Nos permitirá evaluar si la medición de la concentración de COHb es igualmente precisa, sin importar cuál de los dos equipos se utilice.

2- Determinación de COHb en sangre. Metodologías disponibles.

A continuación, se comparan los métodos disponibles resaltando tanto sus puntos fuertes como las limitaciones que podrían influir en la elección de cada uno según las necesidades específicas del análisis y disponibilidad técnica.⁶ (Ver tabla 2).

Método	Ventajas	Desventajas
Ensayos de dilución y alcalino	<ul style="list-style-type: none"> - Simplicidad técnica. - Método cualitativo rápido. 	<ul style="list-style-type: none"> - Baja precisión. - Depende de la interpretación visual, lo que puede llevar a errores subjetivos.
Métodos químicos (Getler, Freimuth)	<ul style="list-style-type: none"> - Relativamente económicos. - Basados en reacciones químicas conocidas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Sensibles a interferencias en la muestra. - Requiere condiciones específicas, como el uso de paladio.
Espectrofotometría UV-VIS	<ul style="list-style-type: none"> - Permite identificar varias fracciones de hemoglobina (HbO₂, COHb, MetHb, etc.). - Buena precisión y rapidez. 	<ul style="list-style-type: none"> - Requiere de agentes reductores (ditiocarbato sódico). - Puede verse afectado por interferencias ópticas.
Cromatografía Gaseosa (CG)	<ul style="list-style-type: none"> - Alta especificidad y precisión. - Detecta trazas de gases y moléculas volátiles. 	<ul style="list-style-type: none"> - Requiere condiciones especiales como bajas temperaturas. - Alto costo y complejidad técnica.
Espectrofotometría infrarroja	<ul style="list-style-type: none"> - Alta especificidad. - Uso de filtros y sistemas de compensación reduce interferencias. 	<ul style="list-style-type: none"> - Equipos costosos. - Requiere ajustes precisos para evitar errores en la medición.
Oximetría	<ul style="list-style-type: none"> - Mide múltiples fracciones de hemoglobina simultáneamente. - Método rápido y preciso para análisis forense. 	<ul style="list-style-type: none"> - Sensible a interferencias como lipemia o ictericia. - Requiere calibraciones regulares y software especializado.

TABLA 2: Metodologías para la determinación de COHb.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se recopilaron 231 datos sobre la medición de COHb en muestras de sangre cadavérica correspondientes a un período de cuatro años, entre 2018 y 2021, solicitadas por profesionales forenses de la Morgue Judicial de la Nación. Estos análisis se realizaron en el Laboratorio de Análisis Clínicos de la misma institución, por medio de dos equipos automáticos disponibles en el laboratorio. El procesamiento de las muestras sanguíneas fue inmediato a la toma. Sin embargo, debe considerarse que la COHb es estable a 4°C hasta 24 meses y sin refrigeración hasta 4 semanas.⁴ Ambos equipos utilizan la metodología oximetría. Esta es un técnica espectrofotométrica que se basa en que la Hb y sus fracciones presentan picos de

absorbancia característicos a longitudes de onda específicas en el espectro ultravioleta-visible (UV-Vis). Luego de provocar la hemólisis de la sangre, se miden las absorbancias entre 400 y 700nm de longitud de onda, aproximadamente y mediante algoritmos incluidos en el sistema informático del equipamiento, se calculan los distintos derivados de la Hb: oxihemoglobina (O₂Hb), carboxihemoglobina (COHb), desoxihemoglobina (HHb) y metahemoglobina (MetHb)⁹. Dichos equipos son:

- **Oxímetro OSM3 de la marca Radiometer Copenhagen**, permite determinar los valores de hemoglobina total (Hb) y sus fracciones: Este equipo ha estado en funcionamiento desde el año 2004. (Figura 1).



FIGURA 1. Fotografías del Oxímetro OSM3 Radiometer Copenhagen y ejemplo de resultado emitido. (Producción propia)

- Analizador de Gases en Sangre ABL 800 de Radiometer:

determina los valores de hemoglobina total (tHb) y sus fracciones, a través del módulo de oximetría. Como analizador de gases, además, evalúa los parámetros: potencial de hidrógeno (pH), presión parcial de oxígeno (PO₂), presión parcial de dióxido de carbono (PCO₂) y saturación de oxígeno (SO₂), cuyos datos son útiles únicamente en muestras sanguíneas de individuos vivos. También proporciona mediciones de electrolitos como sodio (Na⁺), potasio (K⁺) y cloro (Cl), cuyas determinaciones, en nuestro caso, se realizan en muestras de humores vítreos cadavéricos.

Este equipo está activo desde 2013 (Figura 2).

Para garantizar la calidad de los resultados, se implementan controles de calidad internos en tres niveles: alto, medio y bajo, lo que asegura la precisión de las mediciones. Además, los equipos son sometidos a servicios de mantenimiento preventivo y correctivo según los intervalos recomendados por el fabricante.

EXÁMEN ESTADÍSTICO

Con los datos de COHb correspondientes a las 231 muestras procesadas desde 2018 a 2021, se calcularon las incidencias de casos de ICO en ese período.

A continuación, se aplicó el programa estadístico *Chi-Square Test Calculator*¹⁰ para realizar la prueba de Chi cuadrado de Pearson. Esta prueba se utiliza para comparar distribuciones categóricas y evaluar si existen diferencias significativas entre las proporciones de casos en cada año. En otras palabras, el Chi cuadrado permite determinar si las variaciones en la cantidad de casos de ICO son estadísticamente relevantes o si podrían ser el resultado del azar.¹¹ Los datos de COHb correspondientes a las 86 muestras procesadas por ambos oxímetros fueron analizadas por los programas estadísticos IBM® SPSS¹² y MedCalc¹³, a fin de determinar el coeficiente de correlación intraclase (ICC).^{14, 15} El ICC es una medida estadística utilizada para evaluar el grado de concordancia o consistencia entre diferentes mediciones realizadas sobre un mismo conjunto de datos o sujetos.



RADIOMETER ABL800 E			
ABL800 BASIC	MONOXIDO - C 35 uL	07:28 #	Muestr
INFORME PACIENTE	OXI		
Identificaciones			
ID paciente	1317		
Apellido			
Nombre			
Tipo muestra	No especific.		
T	37,0 °C		
Valores de Oximetría			
ctHb	10,5	g/dL	[
sO ₂	33,7	%	[
FO ₂ Hb	7,0	%	[
FCOHb	74,5	%	[
FHHb	13,8	%	[
FMetHb	4,7	%	[
Impreso 11:16:25a.m. 01/06/2022			

FIGURA 2. Fotografías del Analizador de gases en sangre ABL 800 Radiometer y ejemplo de resultado emitido. (Producción propia).

Su principal utilidad radica en determinar la fiabilidad de las mediciones realizadas por diferentes evaluadores, equipos o métodos, en este caso dos instrumentos, permitiendo verificar si los resultados obtenidos son comparables y consistentes.

La evaluación de la consistencia de las mediciones de los instrumentos está limitada a informar ese ICC y el grado de acuerdo propuesto por Landis y Koch. Un ICC próximo a 1 indica una elevada concordancia entre las mediciones, lo que sugiere que las diferencias observadas se deben a variaciones reales entre los sujetos o muestras, más que a errores de medición. Por el contrario, un ICC cercano a 0 refleja una baja concordancia, lo que sugiere que las variaciones entre las mediciones son en gran medida, aleatorias o producto de inconsistencias en los métodos empleados. Por tanto, el ICC es ampliamente utilizado en estudios que buscan validar la precisión y fiabilidad de diferentes instrumentos o evaluadores, asegurando que los resultados obtenidos sean consistentes y, por ende, confiables.^{14,15}

RESULTADOS

Entre 2018 y 2021, se analizaron 231 muestras, provenientes de un total de 14.620 autopsias. De estas, 89 casos fueron diagnosticados con intoxicación por monóxido de carbono como principal causa de muerte, definida por una concentración de COHb igual o superior al 25%. El 54,5% de los casos correspondió a hombres (126) y el 45,5% a mujeres (105), con edades que oscilaron entre 0,2 y 97 años. Las tasas de incidencia de ICO se calcularon como el porcentaje de casos de ICO sobre el total de autopsias

realizadas cada año.

En 2018, la incidencia fue del 0,70% (25 casos sobre 3.592 autopsias), en 2019 del 0,73% (25/3435), en 2020 del 0,57% (21/3715) y en 2021 del 0,46% (18/3878), con un promedio del 0,61% durante los cuatro años. (Tabla 3). Aunque intuitivamente se observa una disminución en los casos de ICO de 2018 a 2021, estas variaciones no resultaron ser estadísticamente significativas. Para confirmar si las diferencias eran estadísticamente significativas, se utilizó la prueba de chi cuadrado de Pearson. El chi cuadrado mide si hay diferencias entre las frecuencias observadas de casos y las esperadas bajo la hipótesis nula, que en este caso asume que los casos de ICO se distribuyen uniformemente a lo largo de los años.

El análisis produjo un valor de chi cuadrado de “2,7126”, lo que refleja las diferencias entre los casos observados en cada año y el valor “p” asociado fue “0,438”.

Dado que el valor p es mayor que el umbral de significancia (0,05), no se pudo rechazar la hipótesis nula (“No hay diferencias en la cantidad de casos de ICO entre los distintos años”), lo que indica que las variaciones en la incidencia de ICO entre 2018 y 2021 no son estadísticamente significativas. Aunque los datos muestran una disminución en los casos de ICO, el análisis sugiere que esta fluctuación es aleatoria y no refleja una tendencia real en la prevalencia de muertes por ICO en ese período.

A su vez, de los 231 casos, 86 fueron analizados simultáneamente con ambos equipos de oximetría, cuyos resultados de COHb obtenidos en un rango entre 0 y 85,4%, se presentan en la Tabla 4.

Período (año)	Autopsias totales	Solicitudes totales	ICO (>25% COHb)	Incidencia (%)
2018	3592	72	25	0.70
2019	3435	63	25	0.73
2020	3715	49	21	0,57
2021	3878	47	18	0,46
Totales	14620	231	89	0.61

TABLA 3. Resultados de la determinación de COHb en las muestras estudiadas.

TOTAL	OSM3 (% HbT)	ABL800 (% HbT)	TOTAL	OSM3 (% HbT)	ABL800 (% HbT)
1	1,2	1,2	23	1	1
2	69,1	64,8	24	24,7	24,4
3	13,8	14	25	0,2	1,3
4	75,9	80,4	26	8	9
5	41,3	41,8	27	33	36
6	6,3	5,9	28	59,1	57,9
7	3,5	4,4	29	47,2	47,1
8	2,6	3,4	30	16	15,4
9	72,6	73,7	31	63,2	63,1
10	68,4	68,9	32	85,9	83,4
11	73,2	73,7	33	49,8	50
12	42,2	44	34	68	69
13	5,7	6,1	35	0,5	0,5
14	50,5	49,8	36	56,4	54,8
15	4,7	5,5	37	3,4	3,6
16	0,2	1,1	38	1,9	2,1
17	6,3	6,1	39	1,9	2,1
18	13,6	14,1	40	15	15,6
19	50,2	49,5	41	64,7	64
20	49,8	49,8	42	0,7	0,7
21	69,8	69,9	43	62,2	63,1
22	3,5	4,2	44	33,6	34

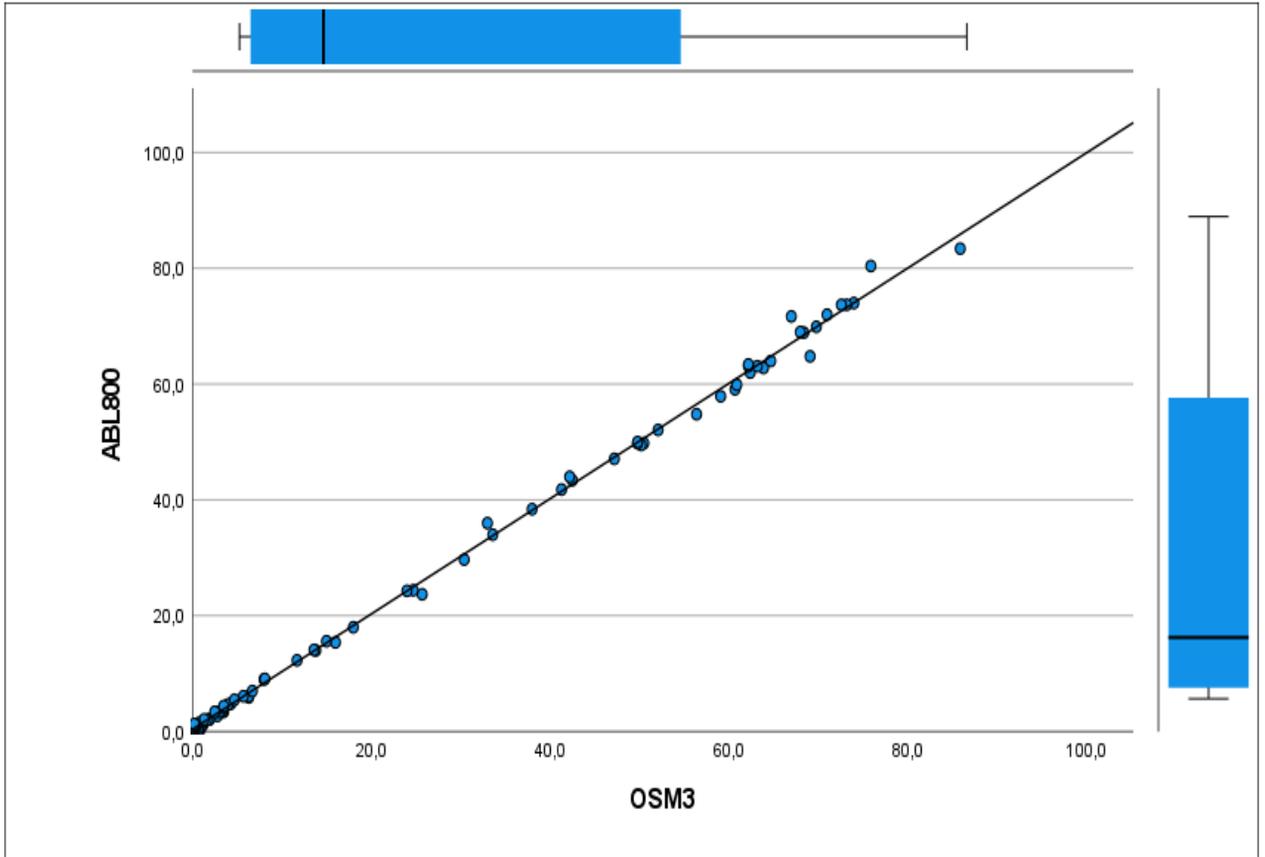
TABLA 4. Resultados de la determinación de COHb (expresados como porcentaje de Hb total) obtenidos por ambos equipos (Oxímetro OSM3 y analizador de gases ABK 800).

TOTAL	OSM3 (% HbT)	ABL800 (% HbT)	TOTAL	OSM3 (% HbT)	ABL800 (% HbT)
45	30,4	29,7	67	0,3	0,6
46	38	38,4	68	74	74
47	3,5	3,4	69	3,3	3,5
48	62,4	62	70	62,2	63,4
49	60,9	59,9	71	6,7	7
50	71	72	72	67	71,7
51	0,7	0,2	73	0	0,4
52	2,5	3,4	74	0	0,8
53	0,4	1,3	75	0	0,1
54	0,9	0,4	76	25,7	23,7
55	1,3	1,7	77	0	0,8
56	24	24,3	78	63,9	62,8
57	0,7	1,5	79	2,8	2,7
58	0,4	0,7	80	1,6	2
59	4,3	4,8	81	0	0,5
60	0,2	0,7	82	0,3	0,9
61	3	3,4	83	8,1	9,1
62	1,3	2,1	84	42,5	43,4
63	18	18	85	11,7	12,3
64	52,1	52,1	86	0,4	1,2
65	60,7	59,1			
66	4	4,7			

TABLA 4. Resultados de la determinación de COHb (expresados como porcentaje de Hb total) obtenidos por ambos equipos (Oxímetro OSM3 y analizador de gases ABK 800).

Estos resultados fueron analizados estadísticamente para determinar el Índice de Correlación Intraclase (ICC), que mide el grado de concordancia entre las observaciones realizadas por dos instrumentos diferentes. En el Gráfico 2, se observa que los puntos se distribuyen

de manera aleatoria alrededor de la línea de concordancia. Aporta, además, los valores de ICC obtenidos. En la Tabla 5 se evidencian datos estadísticos de la población analizada en ambos equipos (media, mediana, intervalo de confianza al 95%, mínimo y máximo).



	Correlación intraclass	Intervalo de confianza al 95%	
		Límite inferior	Límite superior
Medidas únicas	0,999	0,999	0,999
Medidas promedio	1,000	0,999	1,000

GRÁFICO 2. Curva de Análisis de concordancia de la determinación de COHb en las 86 muestras en ambos equipos y los valores de ICC obtenidos.

Métodos	Media	IC 95% LI	IC 95% LS	Percentil 25	Mediana	Mínimo	Máximo
OSM3	25,0	19,0	31,0	1,3	9,0	0,0	85,9
ABL800	26,0	20,0	32,0	2,0	10,7	0,1	83,4

TABLA 5. Datos estadísticos de la comparación de resultados de COHb en las 86 muestras dosadas en ambos equipos.

A partir de este modelo estadístico, se obtiene un valor de ICC= 1,0. La evaluación de la consistencia de las mediciones de los instrumentos está limitada a reportar ese ICC y el grado de acuerdo con la escala propuesta por Landis y Koch. En esta escala, el valor de ICC=1,0 se corres-

ponde con un Grado de acuerdo o fuerza de concordancia: “Muy buena”. (Ver tabla 6). Esta evaluación indica que, los resultados obtenidos por uno u otro equipo concuerdan y que la determinación de COHb realizada por cualquiera de ellos arrojaría el mismo resultado.

Valores de CCI	Fuerza de concordancia
>0,90	Muy buena
0,71-0,90	Buena
0,51-0,70	Moderada
0,31-0,50	Mediocre
<0,30	Mala o nula

TABLA 6. Valoración de la concordancia según CCI.

"Caso de incendio con emanación de gases: exposición a monóxido de carbono"

En el contexto de un incidente de incendio con emanación de gases, ocurrido en la Ciudad de Buenos Aires, se llevó a cabo un estudio exhaustivo sobre la exposición al CO en las víctimas fatales que llegaron a la Morgue Judicial, mediante la determinación de COHb en 183 muestras de sangre cadavérica utilizando el Oxímetro OSM3. Si bien la causal final de muerte es de tipo multifactorial desde el punto de vista tanatológico-fisiopatológico, los resultados revelaron que el 49.2% (90 casos) presentaron niveles de COHb

iguales o superiores al 25%, indicando como principal causa de muerte a la ICO. Además, el 38.3% (70 muestras) mostraron concentraciones de COHb entre 9.0% y 24.9%, indicando una exposición significativa al CO y reflejando una importante carga tóxica en las personas afectadas. Por otro lado, el 4.9% (9 muestras) registraron niveles de COHb entre 1.5% y 9.0%, lo que no podría descartarse de casos de exposición crónica, como las que sufren individuos que están regularmente en ambientes contaminados o fumadores. Finalmente, el 7.7% (14 muestras) mostró niveles inferiores a 1.5%, sugiriendo una exposición mínima o nula al CO. (Ver gráfico 3).

COHb % en 183 muestras de víctimas del incendio

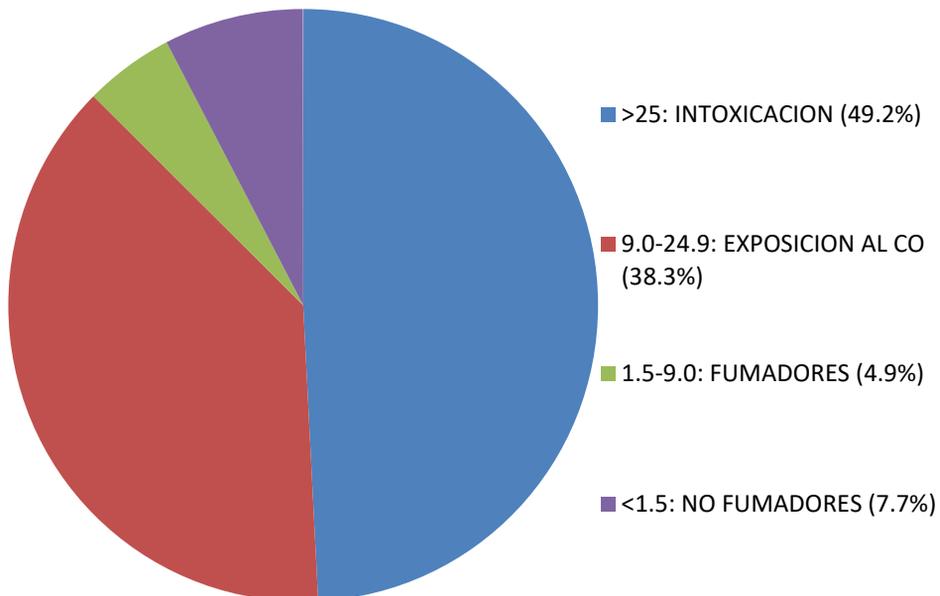


GRÁFICO 3: Representación de los niveles de COHb (%) en las 183 muestras obtenidas de las víctimas del incendio.

Este análisis epidemiológico demuestra que la determinación precisa de COHb en sangre no solo permitió identificar la causa de muerte en una proporción significativa de las víctimas, sino que también proporcionó una visión más amplia sobre el grado de exposición al CO durante el evento. Los resultados destacan la importancia de realizar estudios detallados en situaciones catastróficas, ya que ofrecen datos cruciales para comprender el impacto del CO en la mortalidad. Además, la evaluación de estos datos puede contribuir a la mejora de políticas de prevención en futuros incidentes de exposición masiva a gases tóxicos.

CONCLUSIONES

El análisis de muestras de sangre cadavérica plantea un desafío significativo debido a las alteraciones fisiológicas que ocurren post-mortem, como la coagulación, la hemólisis y la degradación de los componentes sanguíneos. La calidad de las muestras post-mortem depende del tiempo transcurrido desde la muerte, las condiciones ambientales y el estado de descomposición. Estas variaciones pueden comprometer la calidad de las mediciones. No obstante, el presente estudio demuestra que tanto el oxímetro OSM3 como el Analizador ABL 800, de distinta antigüedad y tecnología, son capaces de ofrecer resultados precisos en este tipo de muestras. La capacidad de ambos equipos para mantener su exactitud en muestras cadavéricas es clave en entornos forenses.

Ambos instrumentos son altamente eficaces en la medición de fracciones de hemoglobina y gases en sangre, pero cada uno tiene fortalezas particulares que los hacen adecuados para diferentes aplicaciones. El oxímetro OSM3 está específicamente diseñado para medir

fracciones de Hgb como O₂Hb, COHb y HbMet, lo que lo convierte en una herramienta esencial para identificar intoxicaciones por monóxido de carbono en un contexto forense. Su precisión en la determinación de COHb ha sido validada en este estudio. Por su parte, el Analizador de gases en sangre ABL 800, además de medir fracciones de hemoglobina, evalúa parámetros adicionales como pH, PO₂, PCO₂ y electrolitos, lo que amplía su utilidad en análisis clínicos. Sin embargo, en el análisis forense de cadáveres, donde los parámetros vitales ya no son relevantes, su principal contribución sigue siendo la medición de las fracciones de Hb, particularmente para investigaciones de intoxicación por gases tóxicos.

La presente investigación, además de aportar datos epidemiológicos sobre la incidencia de casos de ICO, enriquecerá bases de datos forenses, que a menudo resultan insuficientes, y constituirá un punto de partida para futuras investigaciones, con un impacto relevante en el ámbito científico-judicial y, por extensión, en la sociedad. En un futuro podría extenderse el estudio a un mayor número de muestras, permitiendo establecer asociaciones más precisas. La evaluación de los datos obtenidos ofrecerá información epidemiológica toxicológica valiosa, considerando que este tipo de eventos son de notificación obligatoria en nuestro país, según la Ley N° 15465 de fecha 29 de septiembre de 1960 y la resolución 2827 de 2022.¹⁶ Asimismo, brindará acceso a la información y la promoción de programas de prevención que resultan esenciales para el control efectivo de estas intoxicaciones.^{1, 2, 16}

En el caso analizado del incendio con emanación de gases, el uso del oxímetro OSM3 resultó fundamental para el análisis de muestras de las víctimas fatales. Este dispositivo permitió medir con precisión los niveles de COHb en sangre cadavérica,

determinándose que el 49,2 % de las muestras presentaban concentraciones superiores al 25%. Este hallazgo fue clave para confirmar la ICO como la principal causa de muerte, en una parte significativa de los casos.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al equipo del Laboratorio de Análisis Clínicos por su dedicación, conocimientos y valiosas contribuciones, que fueron esenciales para lograr los resultados esperados.

BIBLIOGRAFÍA

1- Boletín Epidemiológico Nacional N° 707, SE 22. Ministerio de Salud de la República Argentina. 2024. Fecha de consulta: 24/09/24. Disponible online: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2024/04/ben-707-se22_0.pdf

2- Guía de Prevención, diagnóstico, tratamiento y vigilancia epidemiológica de las intoxicaciones por Monóxido de Carbono. Departamento de salud Ambiental, Ministerio de Salud de la República Argentina. 2016. Fecha de consulta: 24/09/24.

Disponible online:

<https://www.mendoza.gov.ar/salud/wp-content/uploads/sites/16/2016/01/Gu%C3%ADa-Mon%C3%ADxido-de-Carbono-2016.pdf>

3-Recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS). 14 de noviembre de 2014. Ginebra. <https://www.who.int/es/news/item/12-11-2014-who-sets-benchmarks-to-reduce-health-damage-from-indoor-air-pollution>

4- Carbon monoxide poisoning. Toxicology Reports 7 (2020) 169-173. Hiroshi Kinoshita. Fecha de consulta: 24/09/24. Disponible online: <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2020.01.005>

5- Damin CF, Garcia SI, Gonzalez Negri MR. Toxicología Clínica, fundamentos para la prevención diagnóstico y tratamiento de las intoxicaciones. Cap. 6. 1ra edición. Editorial Panamericana, Buenos Aires, 2022.

6- Giannuzzi L, Tomas M. Capítulo 4: Tóxicos Volátiles y Gaseosos. En: Giannuzzi L, Ferrari LA. Manual de Técnicas Analíticas en el Laboratorio de Toxicología y Química forense. Giannuzzi L, Tomas M, Ferrari LA. 1ra edición. Editorial Praia, Buenos Aires, 2006. Fecha de consulta: 24/09/24. Disponible online: https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/137514/CONICET_Digital_Nro.c3faf007-b6de-4ddf-ad42-8jsu543wfu20_B.pdf

7- Spitz WU; Díaz FJ. Investigación Médico-Legal de la Muerte. Guía para la aplicación de la patología criminal. 5ta edición. Edit. Elsevier, España, 2022. Cap. IX. Fecha de consulta: 24/09/24. Disponible online: <https://www.berri.es/pdf/SPITZ%20Y%20FISHER%20INVESTIGACIÓN%20MÉDICO-LEGAL%20DE%20LA%20MUERTE,%20Gu%C3%ADa%20para%20la%20aplicación%20de%20la%20patolog%C3%ADa/9788491139638>

8- Comparación de tres métodos de medición de hemoglobina en cirugía cardíaca. Virginia Cegarra Sanmartín. Universidad Autónoma de Barcelona. Junio 2012. Fecha de consulta: 03/10/24. Disponible online: <https://ddd.uab.cat/record/102265>

9- Recomendaciones para el estudio de la cooximetría. Sociedad Española de Bioquímica Clínica y Patología Molecular. Comité Científico. Comisión Magnitudes Biológicas relacionadas con la Urgencia Médica1. Documento M. Fase 3. Versión 2. P. Oliver Sáez, A. Documentos de la SEQC 2010. Fecha de consulta: 03/10/24. Disponible online:

<https://qualitat.cc/sitebuildercontent/sitebuilderfiles/cooximetria.pdf>

10- Programa estadístico ChiSquare Test Calculator
https://www.socscistatistics.com/tests/chisquare2/default2.aspx#google_vignette

11- CERDA L JAIME, VILLARROEL DEL P LUIS. Interpretación del test de Chi-cuadrado (X^2) en investigación pediátrica. Rev. chil. pediatr. [Internet]. 2007 Ago [citado 2024 Oct 15]; 78(4): 414-417. Disponible en:
http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-41062007000400010&lng=es

12- Programa estadístico IBM SPSS Statistics. <https://www.ibm.com/es-es/products/spss-statistics>

13- Programa estadístico MedCalc. <https://www.medcalc.org/>

14 -Mandeville PB. El coeficiente de correlación intraclase. Ciencia UANL. 2005; 8 (3): 414-416. Fecha de consulta: 24/09/24. Disponible online: <https://www.redalyc.org/pdf/402/40280322.pdf>

15. Luis Prieto, Rosa Lamarca, Alfonso Casado. La evaluación de la fiabilidad en las observaciones clínicas: el coeficiente de correlación intraclase. Medicina Clínica. 7 Febrero 1998. Volumen 110 - Número 4 p. 142 - 145.

16. Ministerio de Salud. RESOL-2022-2827-APN-MS
<https://www.boletinoficial.gob.ar/detalleAviso/primera/275961/20221116>