

Contaminación ambiental de quirófanos y personal quirúrgico por sevoflurano

María Rosalía Albor-Avendaño¹, Francisco Rojo-Calleja²,
Marte Lorenzana- Jiménez³, María Teresa de Jesús Arredondo-Garza^{3,4*}

ISSN IMPRESO 2954-4327. <https://dx.doi.org/10.58713/rf.v2i2.3> Ciudad de México

Resumen

Antecedentes: El personal quirúrgico, tiene alto riesgo de desarrollar enfermedad profesional por exposición crónica a gases anestésicos.

Objetivo: Conocer las concentraciones ambientales en quirófanos y sanguíneas de sevoflurano en personal quirúrgico del Hospital General La Perla Nezahualcóyotl del ISEM.

Metodología: Se hicieron dos grupos: grupo A con 40 individuos expuesto a sevoflurano y B con 8 controles. Se tomaron muestras ambientales de quirófanos antes y después de la realización de 10 anestias generales balanceadas con sevoflurano y sanguíneas en el personal quirúrgico previas y posterior al acto anestésico. Las concentraciones de sevoflurano se determinaron mediante cromatografía de gases.

Resultados: Antes del inicio de una anestesia general balanceada con sevoflurano, las concentraciones del anestésico fueron determinadas oscilando entre 0 y 1288 µg/ml, dos salas no presentaron contaminación. El 30% de los quirófanos tuvieron una concentración menor

de 2 ppm, niveles de sevoflurano en el ambiente recomendado por la NIOSH para exposición de 8 horas. Todos los quirófanos tuvieron contaminación después del acto anestésico con cifras entre 0.22 y 306.49 µg/ml. El personal presentó contaminación con sevoflurano antes del inicio de la anestesia, datos considerados basales para calcular la ganancia que obtuvieron al final de la anestesia. El personal expuesto presentó RAMs en 57.5%, las tres más frecuentes, astenia (50%), cefalea (32.5%) y somnolencia (12.5%). El grupo más contaminado fueron los cirujanos, seguido por los anesthesiologists y las menos contaminadas fueron las enfermeras instrumentistas.

Conclusiones. Los sistemas de ventilación y eliminación de gases anestésicos no fueron eficientes; el error humano puede estar presente.

Palabras clave:

Sevoflurano, RAMs (reacciones adversas), ISEM (Instituto de Salud del Estado de México), NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health).

¹ Clínica Hospital Emiliano Zapata Secretaría de Salud CDMX.

² Laboratorio de Cromatografía de la Sección de Química Analítica de la División de Posgrado, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México

³ Departamento de Farmacología, Facultad de Medicina, Universidad Nacional Autónoma de México.

⁴ Hospital General La Perla Nezahualcóyotl; Instituto de Salud del Estado de México.

Autores de correspondencia:* María Teresa de Jesús Arredondo-Garza dra.arredondo@att.net.mx

Introducción

La historia de las reacciones adversas en el personal de quirófanos se empieza a escribir en la segunda mitad del siglo XIX con el cloroformo y posteriormente se han realizado reportes en diferentes partes del mundo asociados a la exposición de anestésicos inhalados (tabla 1), pero el interés por las por la salud ocupacional del personal quirúrgico y las reacciones adversas que los anestésicos inhalados producen es evidente a partir de 1977, cuando el Instituto Nacional de Salud ocupacional (National Institute for Occupational Safety and Health o NIOSH) dio recomendaciones para reducir la contaminación en salas de operaciones y la Organización Mundial de la Salud desde 1981 ⁽¹⁻⁵⁾.

Anestésicos Inhalados Cronología del estudio de reacciones adversas y acciones para su manejo ⁽¹⁻⁵⁾			
Año	Anestésico	RAM	Reporte
1883	Cloroformo	El cloroformo se convertía en ac. clorhídrico y fosgeno provocando faringitis, traqueítis y cefalea en quienes lo administraban	F.W. Hewitt (Inglaterra)
1888 - 1889	Cloroformo	Con la Hyderabad Chloroform Comission el Dr. Lawrie, realiza estudios experimentales en perro para determinar la toxicidad cardiaca del cloroformo	Hyderabad Chloroform Comission (India)
1893	Cloroformo	Concluye, el cloroformo no causa depresión cardiaca en la Hyderabad Chlorofom Comission	E. Lawrie (India)
1925 - 1929	Gases anestésicos	Alteraciones agudas y crónicas	Kirschner Hirsch y Kappurs
1925 - 1927 - 1928		Diseñan mecanismos para disminuir la contaminación por anestésicos inhalatorios en los quirófanos	Perthesy Wieloch Zaaijetr Holscher

1948	Gases anestésicos	Define intoxicación crónica con las alteraciones hematológicas	Werthmann
1949	Éter	Depresión, fatiga, cefalea, anorexia, náuseas, pérdida de memoria y lesiones periodontales, en un cirujano, un anestesiólogo y una enfermera, con muchos años de trabajar juntos	H.B. Wertham (Alemania)
1963	Ciclopropano	Explota un cilindro de ciclopropano, mueren 2 niños y 4 médicos	Santiago de Chile
1967	Éter, halotano, metoxifluorano y óxido nitroso	Cefalea y fatiga, abortos, tensión emocional	A.I. Vaisman (Rusia)
1973		Se crea la Comisión para el estudio de los riesgos profesionales del anestesiólogo	CLASA**

Tabla 1.

*RAM: reacciones adversas

**CLASA: Confederación Latinoamericana de Sociedades de Anestesiología

Los anestésicos inhalados modernos son agentes volátiles halogenados de la familia del éter, los anestésicos halogenados tienen un átomo de cloro, y cinco átomos de flúor o sólo átomos de flúor, esta sustitución de cloro por flúor modifica las propiedades de estos agentes y uso clínico ⁽⁶⁾. El sevoflurano denominado así porque su molécula contiene 7 átomos de flúor, constituye un compuesto metil-isopropil polifluorinado; fue sintetizado a finales de la década de 1960 y patentado en 1970 por Ohio Medical, división de Airco, Inc. Las investigaciones en los Estados Unidos se detuvieron debido a preocupaciones sobre la posible nefrotoxicidad del fluoruro y su metabolito trifluorometil ⁽⁷⁾. En 1982 en Japón se reanuda el interés por el sevoflurano siendo aprobado por Ministerio de Salud, Trabajo y Bienestar de Japón para su uso clínico en enero de 1990 y en EE. UU. por la Administración de Alimentos y medicamentos (FDA) en 1995 ⁽⁷⁾.

El 2 a 5% de la dosis absorbida de sevoflurano presente en sangre es rápidamente biotransformado en el hígado por el citocromo P450, específicamente por la CYP2E1 formando fluoruro inorgánico y el metabolito orgánico hexafluoroisopropanol (HFIP) ⁽⁸⁾. El sevoflurano tiene un perfil de eliminación bifásica, una primera fase de exhalación rápida donde el sevoflurano residual es exhalado por los pulmones y una segunda fase más lenta con una media de tiempo aproximada de tres horas ⁽⁹⁾. Entre el 95 y el 98% del sevoflurano se elimina por los pulmones, siendo según Behene y cols., (1999), la vida media de eliminación de la grasa periférica de 20 horas, con una fase tardía de eliminación de 2 horas a 5 días ⁽⁹⁾.

La degradación del sevoflurano en cal sodada forma el compuesto A, un éter vinilo que ha sido implicado en la producción de nefrotoxicidad en ratas ⁽⁸⁾. En humanos hay varios estudios que reportan no haber encontrado disfunción renal debida al compuesto A ⁽⁷⁾. Por otra parte, el sevoflurano tiene escaso metabolismo renal lo que puede explicar la ausencia de daño renal a diferencia del metoxiflurano que si tiene metabolismo renal lo que puede ser causa de su nefrotoxicidad ⁽⁷⁾.

Algunos autores han reportado daño al ADN y cambios en el estado redox después de exposición por meses y años a gases anestésicos (isoflurano, sevoflurano, óxido nitroso) en el personal de salud que labora en el área de quirófanos ⁽¹⁰⁾. Otros investigadores solo mencionan afectación del sistema de defensa antioxidante y probablemente afectación de las funciones de órganos vitales, pero no al DNA después de exposición crónica a residuos anestésicos ⁽¹¹⁾.

Objetivo

El objetivo de este estudio fue conocer las concentraciones de sevoflurano en el aire ambiental de los quirófanos y en sangre del personal de quirófano del Hospital General La Perla Nezahualcóyotl del Instituto de Salud del Estado de México (ISEM).

Material y método

Se emplearon tres quirófanos del Hospital General La Perla Nezahualcóyotl para la toma de aire ambiental y 48 personas que laboran en los quirófanos de este hospital para toma de muestras sanguíneas, con una edad promedio de 41 años, 33 del sexo femenino y 15 del sexo masculino. Se utilizaron tubos Vacutainer TM con tapón de polipropileno de alta densidad, cerrados al vacío, de 10 cm por 1.3 cm de diámetro externo con capacidad de 10 ml, sin anticoagulante para la toma de sangre y aire ambiental. Como fármaco se empleó sevoflurano líquido 100% Baxter. Se usaron tres máquinas de anestesia para vaporizar el sevoflurano, Dräger Fabius GS y una Dräger Fabius plus. Como reactivos se usó sevoflurano líquido 100% Baxter y 2-propanol ($\text{CH}_3\text{CHOHCH}_3$) "POHRTREX". Se utilizó un cromatógrafo de gases Hewlett Packard 5890 (Unidad de posgrado, laboratorio de Química Analítica, Facultad de Química, UNAM), termohigrómetro digital Cole-Parmer, Vórtex, micropipetas Hamilton (de 10ml, 1ml y 100µl) Matraces volumétricos (de 10ml y 25ml).

Previo sometimiento del protocolo al Comité de ética del Hospital General La Perla Nezahualcóyotl y aprobación de este, se realizó un estudio de cohorte longitudinal, observacional y prospectivo durante un periodo de 5 meses en 48 individuos (27 médicos, 21 enfermeras) que laboran en los quirófanos de este hospital y a los que se les solicitó la firma del consentimiento informado y se les realizó una entrevista previa y posterior al acto anestésico en que participaron para conocer su estado de salud y las reacciones adversas que presentaron después de su exposición al sevoflurano; 40 de los individuos estuvieron expuestos a sevoflurano (grupo A: 11 anesthesiólogos, 12 cirujanos, 6 enfermeras instrumentistas, 11 enfermeras circulantes) y 8 no expuestos a sevoflurano (grupo B control: 2 anesthesiólogos, 2 cirujanos, 2 enfermeras instrumentistas, 2 enfermeras circulantes). De forma aleatoria se eligió el quirófano para toma de muestras y se ingresó a este antes del inicio laboral, para verificar las características de la máquina de anestesia, sus conexiones, filtros y tubos, la temperatura y humedad de la sala,

se registraron y se procedió a la toma de aire ambiental. Treinta minutos después de iniciada la anestesia se procedió a la toma de las muestras ambientales, a 20 cm en una semiesfera facial frente a la nariz a 1.2 metros del piso, utilizando tubos Vacutainer TM cerrados al vacío, retirando el tapón de los tubos durante 10 segundos, después se cerraron los tubos con su tapón, se identificó el tubo y se repitió la toma de muestra una vez terminada la anestesia en la sala. Para la toma de muestra de sangre para medición del sevoflurano, se tomaron 2.5 ml de sangre venosa antes de iniciar la anestesia y al término de esta en la sala conforme a la norma vigente y se colocó en tubos Vacutainer TM.

Los tubos con las muestras de aire, así como los que contenían sangre, se mantuvieron en refrigeración a 15°C bajo cero y se procesaron en un periodo no mayor de seis horas en el laboratorio de Cromatografía de la sección de Química Analítica de la División de posgrado de la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). El procesamiento fue mediante la inyección manual (con una jeringa Hamilton de 100 µl) de 80 µl tomados del tubo Vacutainer TM (gas sobrenadante) conteniendo la muestra en un cromatógrafo de gases Hewlett Packard Series II 5869, acoplado a un espectrómetro de masas de onda, con temperatura del inyector y línea de transferencia de 230°C, la columna empezó a operar a 120°C por dos minutos, seguido de un calentamiento hasta 230°C a 10°C por minuto permaneciendo a esa temperatura 5.5 minutos y helio como gas acarreador, 1ml/min. La identificación de los compuestos se realizó por medio del espectro de masas, y por la comparación de los tiempos de retención del anestésico previamente obtenido, se utilizó el ion 131 como pico base y 181 como pico calificador, se realizó previamente una curva de calibración diaria por el método de estándar interno, utilizando isopropanol para esta función. Para las muestras gaseosas los resultados se expresaron en términos de microgramos de sevoflurano por mililitro de aire, convirtiéndolas a partes por millón, de acuerdo a la fórmula $1\mu\text{g sevoflurano/ml aire} = 1 \text{ parte por millón en términos de volumen}$. Para las muestras de sangre, los resultados se expresaron en términos

de µg de sevoflurano por ml de sangre, haciendo los cálculos en función del volumen de sangre muestreada (2.5 o 1.5 ml).

Resultados

Las concentraciones ambientales de sevoflurano en salas del quirófano del Hospital General La Perla Nezahualcóyotl antes de iniciar una cirugía con sevoflurano, oscilaron entre 1.56 a 1,288.0 µg/ml,, solo en dos salas las concentraciones fueron de 0 antes del inicio de la anestesia (tabla 2).

Antes de iniciar anestesia	Después de anestesia general balanceada con sevoflurano
0	1.5910
0	1.2878
1.5603	0.2275
1,288.0	13.5235
50.1010	93.2944
30.1223	60.7400
8.4978	80.1224
37.2942	178.0
80.9998	96.1872
30.1872	99.6788

Tabla 2. Concentraciones de sevoflurano mcg/ml en quirófanos antes y después de una anestesia

Los resultados de las concentraciones de sevoflurano en sangre en el personal de quirófanos se reporta en la tabla 3 y en el gráfico 1.

Tiempo	Anestesiólogo	Cirujano	Instrumentista	Circulante
60	4.0254	1.8977	0	8.5541
60	8.9608	3.9009	2.5921	0
60	1.9024	3.10944	0	65.3830
60	25.3043	11.0	11.5019	1.4917
60	54.2409	91.6165	165.6157	104.8658
120	59.0256	75.1127	61.7465	55.31173
120	237.0	223.0	0	179.0
240	72.3212	60.3566	0	161.2764
240	70.1823	150.0	0	0

Tabla 3. Concentraciones de sevoflurano en sangre mcg/ml de acuerdo a las funciones del personal en el quirófano y tiempo en minutos de exposición

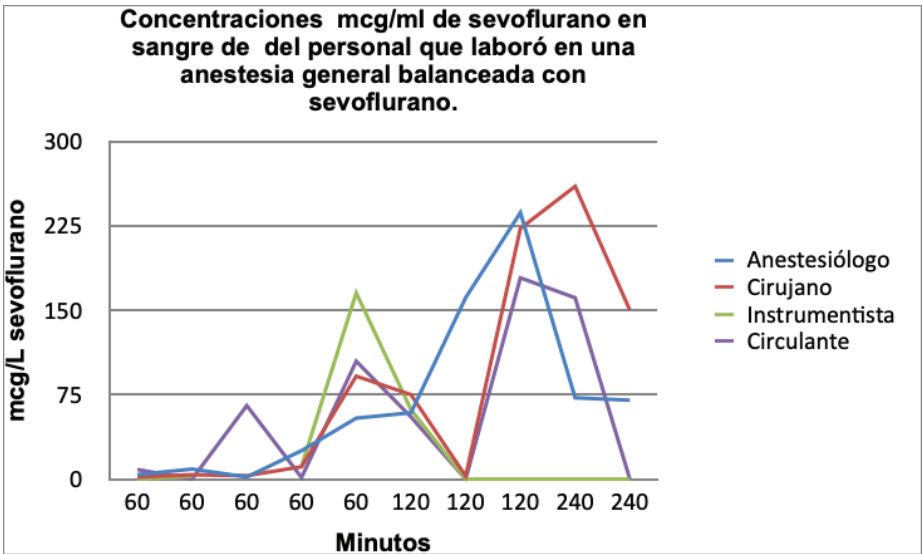


Gráfico 1. Concentraciones de sevoflurano en sangre mcg/ml de acuerdo a funciones del personal en el quirófano y tiempo de exposición.

Del grupo B (40 individuos) de personal expuesto a sevoflurano 17 (42.5%) no tuvieron ninguna reacción y 23 (57.5%) presentaron reacciones adversas; estas reacciones fueron astenia, cefalea, irritabilidad, mareo, náusea, somnolencia de los cuales la astenia fue el síntoma que tuvo mayor frecuencia (tabla 4 y gráfico 2). Algunos individuos presentaron más de un síntoma.

Síntoma	Frecuencia
Astenia	20
Cefalea	13
Irritabilidad	1
Mareo	2
Náusea	1
Somnolencia	5

Tabla 4. Sintomatología presentada por el personal quirúrgico expuesto a sevoflurano durante una anestesia general balanceada.

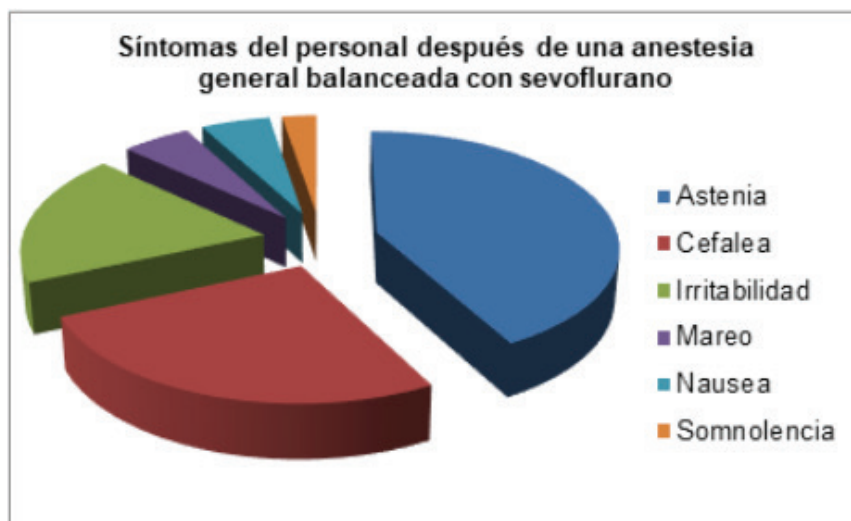


Grafico 2. Frecuencia de síntomas en el personal quirúrgico expuesto a sevoflurano

Para el análisis estadístico se realizó una prueba de t de Student. El tiempo de exposición se relacionó de manera lineal con los síntomas, a mayor tiempo de exposición aumentó la frecuencia de síntomas con una $p=0.01$ en 60 minutos de exposición, $p=0.0001$ en anestesia de 120 minutos y $p=0.000001$ en anestesisas de 240 minutos de duración.

En base al análisis de regresión lineal podemos concluir que en todos los grupos de expuestos a sevoflurano, conforme aumenta el tiempo de exposición aumenta la concentración sanguínea de sevoflurano en el personal.

Discusión

Las concentraciones de sevoflurano ambientales (concentraciones entre 0 y 1,288.0 $\mu\text{g/ml}$) encontradas en las salas de quirófano antes del inicio de una anestesia general balanceada (10 anestesisas) con sevoflurano, habla de contaminación previa al evento anestésico con sevoflurano. Solo el 40% de los quirófanos tuvieron una concentración menor de 2 ppm que son niveles de sevoflurano en el ambiente recomendado por la NIOSH para una exposición de 8 horas, las demás salas tuvieron niveles por arriba de estas recomendaciones. Estos hallazgos coinciden con lo encontrado por Granados-Tinajero y Lorenzana-Jiménez en 1986 ⁽¹²⁾. Posteriormente Leor-Moror y Lorenzana-Jiménez en 1987 evidencian que probablemente todas las salas de quirófano de los hospitales de México se encuentren contaminadas por anestésicos halogenados y que existan concentraciones mayores de 2 ppm, situación que se observó en el 60% de las salas en este estudio ⁽¹³⁾.

En todos los quirófanos hubo contaminación después una anestesia general balanceada y las concentraciones ambientales de sevoflurano se encontraron entre 0.22 y 306.49 $\mu\text{g/ml}$. Los actos anestésicos tuvieron una duración de 60 a 240 minutos; sería de esperarse más contaminación en las anestesisas de mayor duración, pero esto no fue así, en una anestesia de 60 minutos se encontró una concentración ambiental de 93.29 $\mu\text{g/ml}$, muy cercana a la encontrada en dos únicas anestesisas de 240 minutos (96.18 y 99.67 $\mu\text{g/ml}$); la mayor concentración ambiental de sevoflurano (306.49 $\mu\text{g/ml}$) se encontró en una anestesia de 120 minutos. Es posible que las concentraciones ambientales de sevoflurano encontradas en las salas quirúrgicas, previas a los eventos anestésicos que se monitorizaron al finalizar, tuvieran un efecto aditivo; sin embargo, en la sala en la que se encontraron las más altas

concentraciones de sevoflurano (1,288.0 µg/ml) antes de iniciar una anestesia con este agente anestésico, las concentraciones al finalizar la anestesia con duración de 60 minutos fueron de 13.52 µg/ml mucho menores que las iniciales. Estos hallazgos hacen pensar que en la sala más contaminada previo al inicio del evento anestésico pudiera haberse presentado fuga de sevoflurano por error humano ya que en ninguna sala después de la anestesia presentó concentraciones tan elevadas y por otra parte que el funcionamiento de los sistemas de ventilación y eliminación de gases nos es eficiente.

El personal participante en este estudio mostró contaminación sanguínea de sevoflurano previa al evento anestésico, contaminación que se adiciona al sevoflurano aplicado durante la anestesia general balanceada en la que participaron, dando por resultado una ganancia en las concentraciones sanguíneas del halogenado, siendo dicha ganancia muy pronunciada en algunos casos. Es importante mencionar que se necesitan hasta 5 días para la eliminación del sevoflurano después de una sola exposición según algunos autores (8). Encontrar al personal sin sevoflurano en sangre resultaba muy difícil dadas sus actividades laborales; por esta razón se tomaron las concentraciones sanguíneas de sevoflurano previas a la anestesia como basales y se valoraron las ganancias de estas al terminar la anestesia.

La concentración de sevoflurano en el quirófano, aumenta la probabilidad de que estas se eleven en la sangre del personal que labora en esas áreas. La contaminación de las salas de quirófano pudo deberse a una ventilación y extracción inadecuada y también a fallas en el equipo de anestesia como fugas en flujómetros, vaporizadores, circuitos o bien a mal ajuste de la mascarilla facial o fuga en la sonda endotraqueal. Todos estos aspectos deben vigilarse para evitar la contaminación de quirófanos que repercutirán en el personal quirúrgico.

Conclusiones:

En base a los resultados presentados podemos obtener las siguientes conclusiones:

1. El grupo de estudio de individuos expuestos a sevoflurano, presenta fuerte evidencia de contaminación por sevoflurano.
2. La concentración de sevoflurano en el grupo de individuos expuestos aumenta muy fuertemente con el tiempo.
3. La contaminación por sevoflurano en la sala de quirófano aumenta la probabilidad de que las concentraciones sanguíneas aumenten en el personal.
4. La contaminación de salas de quirófano con sevoflurano, puede deberse a varios factores: a. ausencia de extractores en salas de quirófano y en la sala de recuperación b. falta de una ventilación adecuada c. fallas en el equipo de anestesia como fugas en flujómetros, vaporizadores, circuitos, mal ajuste de la mascarilla facial o fuga en la sonda endotraqueal.

Por lo tanto, se recomienda la revisión de la máquina de anestesia, revisar sistemas de ventilación, instalación de sistemas de extracción y mejorar el uso de medidas preventivas por parte del anestesiólogo, rotar al personal por servicios donde no se manejen halogenados, medir la concentración en los quirófanos de manera frecuente. Todas estas medidas nos llevan a tener una buena salud ocupacional.

Bibliografía

1. Alejo Aris M, Dávila Cabo de Villa E, Hernández Dávila CM, Robaina M. Riesgo profesional en anestesiología. *Medisur*. 2006;4(1):79-84.
2. Ali M, Ramachari A. History of anaesthesia and Hyderabad Chloroform Commissions. *Bull Indian Inst Hist Med Hyderabad*. 1989;19(1):47-61.
3. Giridhar NR. Dr. Edward Lawrie's remarks on the findings of Hyderabad chloroform commissions in his annual report of 1303 Fasli. *Bull Indian Inst Hist Med Hyderabad*. 1996;26(1-2):93-102.
4. Masson AH, Wilson J, Hovell BC. Edward Lawrie of the Hyderabad Chloroform Commission. *Br J Anaesth*. 1969;41(11):1002-1011.
5. Hehir P. The Hyderabad Chloroform Commissions. *Ind Med Gaz*. 1893;28(4):103-106.
6. Rouillet S, Biais M, Sztark F. Absorción y distribución de los anestésicos halogenados. *EMC, Anestesia-Reanimación*. 2010;36(4):1-6.
7. Ikeda S, Makino H. A Round Trip: The Japanese Contribution to the Development of Sevoflurane. *Anesth Analg*. 2022;134(2):432-439.
8. Behne M, Wilke HJ, Harder S. Clinical pharmacokinetics of sevoflurane. *Clin Pharmacokinet*. 1999;36(1):13-26.
9. Summer G, Lirk P, Hoerauf K, et al. Sevoflurane in exhaled air of operating room personnel. *Anesth Analg*. 2003;97(4):1070-1073.
10. Costa Paes ER, Braz MG, Lima JT, et al. DNA damage and antioxidant status in medical residents occupationally exposed to waste anesthetic gases. *Acta Cir Bras*. 2014;29(4):280-286.
11. Hua HX, Deng HB, Huang XL, et al. Effects of Occupational Exposure to Waste Anesthetic Gas on Oxidative Stress and DNA Damage. *Oxid Med Cell Longev*. 2021;2021:8831535.
12. Granados Tinajero SO, Lorenzana-Jiménez M, Canto Sánchez L. Contaminación por anestésicos halogenados durante el uso de tres circuitos anestésicos. *Rev Mex Anest*. 1986;9(3):159-167.
13. Leor Moror H, Lorenzana-Jiménez M, Melman Szteyn E, Zepeda Elizondo E. Contaminación y costos de operación en anestesia pediátrica con el uso de dos circuitos anestésicos: circuito cerrado y circuito semiabierto. *Rev Mex Anest*. 1987;10(3):135-146.