

Gases anestésicos halogenados y la huella de carbono: Última evidencia y retos para reducir el impacto ambiental

Halogenated anesthetic gases and their carbon footprint: The latest evidence and challenges for reducing their environmental impact

Deborah Mejías D.¹, Maximiliano Zamora H.^{2,*} 

¹ Interna de Medicina, Escuela de Medicina, Facultad de Medicina, Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile.

² Anestesiólogo Cardiovascular, Sección de Anestesia Cardiovascular, División de Anestesiología, Escuela de Medicina, Facultad de Medicina, Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile.

Fuente de financiamiento: Los autores no recibieron patrocinio para llevar a cabo este artículo.

Conflicto de intereses: Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Fecha de recepción: 26 de agosto de 2025 / Fecha de aceptación: 24 de septiembre de 2025

ABSTRACT

The healthcare sector contributes significantly to global greenhouse gas emissions, and anesthesia practice is no exception. Halogenated anesthetic gases and nitrous oxide have a high global warming potential (GWP), contributing disproportionately to climate change relative to their use. This review addresses the environmental impact of these gases, methods for quantifying them, and available strategies to mitigate their emissions. Emerging evidence from the Chilean context is also analyzed, where environmental awareness in anesthesia is beginning to gain greater relevance. Finally, courses of action are proposed to advance toward more sustainable anesthesia practice.

Keywords: Greenhouse gases, sevoflurane, desflurane, carbon footprint, global warming.

RESUMEN

El sector salud contribuye significativamente a las emisiones globales de gases de efecto invernadero (GEI), y la práctica anestésica no está exenta de esta realidad. En particular, los gases anestésicos halogenados y el óxido nitroso presentan un elevado potencial de calentamiento global, contribuyendo al cambio climático de manera desproporcionada en relación con su uso. Esta revisión aborda el impacto ambiental de estos gases, los métodos para su cuantificación y las estrategias disponibles para mitigar sus emisiones. Se analiza además la evidencia emergente en el contexto chileno, donde la conciencia ambiental en anestesia comienza a adquirir mayor relevancia. Finalmente, se proponen líneas de acción para avanzar hacia una práctica anestésica más sostenible.

Palabras clave: Gases de efecto invernadero, sevoflurano, desflurano, huella de carbono, calentamiento global.

Introducción

El cambio climático se considera la mayor amenaza para la salud humana en el siglo XXI[1]. Desde la Revolución Industrial, la temperatura media global ha aumentado aproximadamente 1,1 °C, y si no se implementan reducciones

significativas de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), se proyecta un incremento adicional de entre 2,5 y 2,9 °C para finales de este siglo[2]. En concordancia, julio de 2021 fue registrado como el mes más cálido en 142 años, y el año 2022 experimentó temperaturas no vistas en más de 100.000 años[2].

Los sistemas de salud contribuyen de manera significativa a

Maximiliano Zamora H.
mszamora@uc.cl

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4895-7349>

ISSN: 0716-4076



estas emisiones, contribuyendo en aproximadamente el 4,4% de las emisiones netas mundiales de GEI[3]. La proporción varía según país: Estados Unidos produce cerca de 10% de las GEI[4], Reino Unido aproximadamente 5%[1], Australia 7% y China 2,7%[5].

En Chile, la discusión sobre la huella de carbono y la sustentabilidad en anestesia ha comenzado recientemente, y todavía existe un amplio margen para mejorar la educación, la medición de emisiones y la implementación de prácticas sostenibles en el ámbito clínico. Un artículo publicado en la Revista Chilena de Anestesia reconoce que estamos empezando aprender acerca de sustentabilidad en anestesia, lo que evidencia la necesidad de fortalecer la educación e implementación de este tema a nivel nacional.

En este contexto, los gases anestésicos inhalatorios como el desflurano, sevoflurano e isoflurano son relevantes debido a su elevado potencial de calentamiento global (GWP, por sus siglas en inglés, derivada de *Global Warming Potential*) y su persistencia en la atmósfera. Si bien su impacto ha sido estudiado en países desarrollados, existe escasa literatura sobre su contribución en Latinoamérica y particularmente en nuestro país. El presente trabajo revisa la última evidencia del impacto ambiental de los gases anestésicos halogenados, los métodos para cuantificar sus emisiones, y las estrategias disponibles para reducir su huella de carbono.

Huella de carbono del sector de salud y GWP

La huella de carbono se define como la suma total de emisiones de gases de efecto invernadero directas e indirectas, expresadas en equivalentes de dióxido de carbono (CO₂e), generadas por una actividad, organización o producto, y que cuantifican el impacto ambiental asociado[7]. En el ámbito sanitario, las emisiones varían considerablemente según el tipo de procedimiento. Por ejemplo, un procedimiento de anestesia intravenosa puede generar tan solo 0,01 kg CO₂e por hora, mientras que un tratamiento anual de hemodiálisis alcanza hasta 10.200 kg CO₂e[3].

Los GEI, al acumularse en la atmósfera, intensifican eventos climáticos extremos como olas de calor, inundaciones y sequías, lo que incrementa la mortalidad y morbilidad a nivel global. Alahmad et al., reportan que aproximadamente 9,4% de todas las muertes, equivalente a 5 millones al año, se asocian a temperaturas extremas[7],[8].

Para medir el impacto de los gases, se utiliza el concepto de Potencial de Calentamiento Global (GWP), que compara la capacidad de diferentes gases para atrapar calor en la atmósfera durante un período estándar de 100 años (GWP100), tomando el dióxido de carbono como referencia (GWP = 1)[7].

El Protocolo de Gases de Efecto Invernadero (*GHG Protocol*) divide las emisiones de carbono en tres alcances:

- **Alcance 1:** incluye las emisiones directas producidas por fuentes que son propiedad del centro de salud o están bajo su control, como el uso de combustibles para calefacción o la utilización directa de gases anestésicos[7],[9].
- **Alcance 2:** considera las emisiones indirectas derivadas del consumo de electricidad adquirida para el funcionamiento de las instalaciones. Juntos, los alcances 1 y 2 representan entre el 15% y el 50% del total de emisiones hospitalarias [7],[9].

- **Alcance 3:** agrupa todas las demás emisiones indirectas que no se incluyen en los dos primeros grupos, tales como aquellas originadas en la cadena de suministro, adquisición de medicamentos e insumos[9]. Este grupo puede representar entre el 50% y el 75% del total de GEI del sector[7].

En este escenario, los gases anestésicos halogenados, aportan una carga significativa de emisiones directas (alcance 1), al ser liberados mayoritariamente sin metabolización, contribuyendo a la huella de carbono[5].

Contribución de los agentes anestésicos halogenados y óxido nitroso

Los agentes anestésicos halogenados representan una fuente importante de gases de efecto invernadero en los centros hospitalarios. Se estima que estos gases pueden generar más del 45% de las emisiones totales de GEI en algunos hospitales, debido a su liberación directa a la atmósfera tras su uso[4].

El metabolismo de estos agentes en el organismo es mínimo; aproximadamente solo el 5% de los anestésicos por inhalación se metabolizan y eliminan del cuerpo, mientras que el 95% restante es expulsado a través del sistema de barrido de la máquina anestésica y liberado al ambiente[10].

- **Desflurano:** presenta el mayor potencial de calentamiento global, con un GWP100 estimado entre 2.530 y 26.000, es decir, 2.530 a 2.600 veces más potente que el CO₂ en un período de 100 años, y un impacto de 893 kg CO₂e por kg de gas[10],[11],[12]. Su vida atmosférica se estima entre 9 y 21 años. En términos prácticos, una hora de anestesia con desflurano equivale a las emisiones generadas por un automóvil que recorre entre 235 a 470 millas[12]. A pesar de su impacto ambiental, su uso ha aumentado en países de ingresos medios y bajos en los últimos años, en contraste con la disminución en países de altos ingresos. Esto es importante, ya que sabemos que desflurano no ofrece ventajas clínicas sobre el sevoflurano en resultados importantes como la mortalidad o la morbilidad[11] y sus beneficios farmacocinéticos son mínimos, al compararlos con otros halogenados si se usan de manera adecuada. Estudios recientes han reafirmado que el desflurano presenta un potencial de calentamiento global sustancialmente mayor que otros agentes inhalatorios, con implicancias directas en la contribución de la anestesia a las emisiones hospitalarias totales[13].
- **Sevoflurano:** considerado una alternativa más amigable con el ambiente, tiene un GWP100 que varía entre 125 y 195, siendo aproximadamente 48 kg CO₂e por kg de gas[11],[14]. Su vida útil en la atmósfera oscila entre 1 a 4 años[12]. Una hora de anestesia con sevoflurano equivale a las emisiones producidas por conducir alrededor de 18 millas o 29 km[12]. La UE lo considera un gas de bajo GWP.
- **Isoflurano:** posee un GWP100 de 508 a 539, con un impacto estimado de 191 kg CO₂e por kg, la UE lo considera un gas de alto GWP. Tiene una vida útil atmosférica de 3 a 6 años. Ha aumentado su uso en países de ingresos bajos y medios bajos, atribuible a su menor costo. Una hora de anestesia con isoflurano genera un impacto equivalente a conducir entre 20 y 40 millas[12].
- **Óxido nitroso (N₂O):** aunque no es un éter halogenado,

es un gas con alto potencial de calentamiento global, con un GWP de 298 y una vida útil atmosférica muy extensa, de 114 años[12].

En conjunto, estos gases constituyen una carga ambiental considerable y son responsables de un porcentaje relevante de las emisiones directas hospitalarias.

Estrategias de mitigación global y local

El impacto global de gases de efecto invernadero (GEI) asociados al uso de agentes anestésicos halogenados fue estimado en 2.754 kilotoneladas de CO₂ equivalente (ktonCO₂e) en 2014, cifra que disminuyó en 27% para alcanzar los 2.005 ktonCO₂e en 2023. Dentro de estos, el desflurano representó la mayor parte del impacto, evidenciando una disminución en países de altos ingresos, pero un aumento significativo en países de ingresos medios y bajos. Se ha calculado que la sustitución teórica de desflurano, isoflurano y halotano por sevoflurano podría haber reducido el impacto global en 73% durante el año 2023[11].

Al comparar el impacto de agentes específicos en una anestesia estándar de dos horas, el desflurano genera aproximadamente 239,2 kgCO₂e, lo que equivale a un impacto 45,5 veces mayor que el sevoflurano. Por su parte, el isoflurano emite 15,7 kgCO₂e, siendo 3,0 veces mayor que el sevoflurano, el cual genera 5,3 kgCO₂e en el mismo período[11]. Además, el óxido nítrico (N₂O), cuando se utiliza como gas portador para otros anestésicos volátiles, también contribuye significativamente a las emisiones[12].

Particularmente alarmante es el hecho de que la anestesia con desflurano en flujos altos de gas fresco puede tener un impacto climático hasta 200 veces mayor que una anestesia con sevoflurano en flujos bajos[11]. Además, un análisis reciente confirma que el desflurano tiene un GWP ~2590x y que sevoflurano e isoflurano son 24-45 veces menos dañinos por unidad clínica, lo que refuerza la importancia de priorizar agentes de menor impacto[13].

Un consenso global de la Federación Mundial de Sociedades de Anestesiólogos (WFSA) propone medidas centrales para una anestesia ambientalmente sostenible: eliminación progresiva de desflurano, priorización de anestesia regional, optimización de flujos frescos bajos, y fortalecimiento de la educación profesional en sostenibilidad[15].

El modelo neerlandés de descarbonización de la anestesia demostró que la eliminación progresiva de desflurano, junto con el uso sistemático de flujos bajos, puede lograr reducciones significativas en las emisiones sin comprometer la seguridad del paciente[16].

Avances en la reducción de la huella

Diversos estudios han demostrado la efectividad de estrategias institucionales de mitigación. Por ejemplo, la eliminación progresiva del desflurano en un centro médico académico de Estados Unidos generó una reducción del 78% en emisiones de CO₂e por paciente entre 2014 y 2022, siendo la elección del agente volátil el principal predictor de las emisiones[17].

Por otro lado, la anestesia total intravenosa (TIVA) con propofol ha sido la estrategia más efectiva en minimizar las emisio-

nes de GEI, produciendo apenas 0,4 kgCO₂e por hora, frente a los 3,1 kgCO₂e/h del sevoflurano y los 3,8 kgCO₂e/h del sevoflurano optimizado manualmente[18]. Sin embargo, no está exenta de impacto, la eliminación inadecuada del propofol y el desecho de equipos de un solo uso en TIVA también generan impacto[12].

La educación también ha sido identificada como un factor crucial. Un estudio demostró que la capacitación a anestesiólogos logró una reducción del 50% en el uso de desflurano, disminuyendo las emisiones de CO₂e de 185,6 ± 231,2 kg a 126,5 ± 186,7 kg por cirugía[10].

Tecnologías de captura de gases anestésicos

Además de las estrategias clínicas (sustitución de agentes de alto GWP, uso de TIVA y la implementación de flujos bajos), han surgido distintas tecnologías diseñadas para capturar y retener gases anestésicos en el punto de emisión. La mayoría de estos sistemas utilizan adsorbentes como carbón activado o materiales porosos sintéticos que fijan moléculas de halogenados presentes en el gas exhalado antes que sean liberadas al ambiente[19].

Los estudios experimentales muestran que los materiales adsorbentes pueden retener grandes cantidades de anestésico en condiciones de laboratorio, sin embargo, la eficiencia real en condiciones clínicas es más modesta y depende críticamente del diseño del filtro, el flujo de gas fresco, la saturación del material y la fracción del anestésico disponible en el gas de salida[20].

Un estudio valoró la eficacia del dispositivo CONTRAfluran en pacientes sometidos a anestesia de bajo flujo. Se detectó que el dispositivo retuvo una media del 45% del sevoflurano administrado, con mayor captura durante la fase del lavado. Esto demuestra que a pesar de esta captura, más de la mitad del anestésico sigue liberándose en condiciones reales, probablemente por liberación residual del paciente, pérdidas en el circuito y el sistema de ventilación[21]. Por esto, las tecnologías de captura deben considerarse como un método complementario a las medidas ya consolidadas.

Experiencia chilena y estudios de casos

En el contexto chileno, se realizó un Estudio de Caso en el Hospital Hernán Henríquez Aravena, de Temuco, que comparó una técnica anestésica de "recuperación optimizada" (RO) con una práctica convencional en cirugía de revascularización miocárdica. Los resultados iniciales sugieren que las emisiones de GEI son menores en la técnica de RO con TIVA. Asimismo, el uso de sevoflurano, incluso en flujos bajos, mostró una diferencia relevante en emisiones de CO₂e entre ambas técnicas[4].

Propuestas para una anestesia sostenible

El sector salud es responsable de entre el 4% y el 5% de las emisiones globales de GEI, lo que plantea la necesidad de adoptar políticas sostenibles a múltiples niveles[7]. En este contexto, diversas estrategias clínicas pueden contribuir a mitigar el impacto ambiental.

- **Optimización de prácticas clínicas:** es fundamental optimizar el uso de anestésicos, eliminando aquellos con alto potencial de calentamiento global, como el desflurano y el

óxido nitroso (N₂O)[4]. Se recomienda favorecer alternativas con menor impacto ambiental, como el sevoflurano, especialmente cuando se utiliza con bajos flujos de gas fresco (bajo 0,5 L/min) o en modo Anestesia Total Intravenosa (TIVA)[18]. Estas prácticas no solo disminuyen la huella de carbono, sino que mantienen la seguridad y eficacia anestésica.

- **Implementación de políticas públicas:** a nivel macro, es necesario establecer objetivos nacionales y regionales alineados con metas internacionales de sostenibilidad, como la neutralidad de carbono para 2050, impulsada por el Acuerdo de París[22]. Para esto se han propuesto incentivos financieros, regulaciones para la adquisición sostenible de insumos y una revisión de la Lista Modelo de Medicamentos Esenciales de la OMS para priorizar anestésicos con menor impacto ambiental y así desincentivar el uso de desflurano[11].
- **Cambio multisectorial:** educación y formación continua del personal sanitario son pilares para fomentar prácticas responsables en relación al impacto ambiental[23]. La creación de «equipos verdes» o comités de sostenibilidad dentro de los hospitales facilita la discusión sobre las emisiones y optimización de flujos de gas fresco[22]. Además, es importante promover la abogacía ambiental a nivel individual y colectivo. Reconocer y celebrar los logros ambientales contribuye a mantener el impulso y compromiso en este ámbito[24].
- **Brechas y oportunidades:** una encuesta reciente mostró que, a pesar de que la mayoría de los anestesiólogos reconocen el impacto ambiental de su actividad, persisten limitaciones importantes en conocimiento y aplicación de estrategias sostenibles[25]. Esto representa una oportunidad para reforzar la educación y desarrollo de políticas institucionales que faciliten una anestesia ambientalmente responsable.

Conclusión

Los gases anestésicos halogenados y el óxido nitroso representan una fuente significativa de emisiones de gases de efecto invernadero dentro del sector salud, contribuyendo de manera notable a la huella de carbono hospitalaria. Aunque existen estrategias clínicas efectivas para reducir su impacto, como el uso de anestesia total intravenosa y la optimización de flujos bajos, la realidad es que el desflurano y otros agentes con alto potencial de calentamiento global siguen siendo utilizados, especialmente en países de ingresos medios y bajos, lo que limita los avances globales en esta materia.

Las tecnologías emergentes de captura y recaptura de gases anestésicos ofrecen soluciones complementarias prometedoras para mitigar emisiones, pero requieren mayor validación clínica y evaluación de viabilidad en entornos reales. En el contexto chileno, aún existe un amplio margen para incorporar prácticas y políticas de anestesia sostenible, apoyadas en la educación, la regulación y la cooperación multisectorial.

Por último, avanzar hacia una anestesia más sostenible es una responsabilidad compartida que implica cambios en las prácticas clínicas, el diseño de políticas públicas y la transformación cultural en los equipos de salud. Solo a través de un abor-

daje integral será posible minimizar el impacto ambiental sin comprometer la seguridad y calidad de la atención al paciente.

Referencias

1. Walsh SJ, O'Leary A, Bergin C, et al. Huella de carbono de la atención primaria de salud y estrategias sostenibles para mitigar su contribución: una revisión exploratoria. *BMC Health Serv Res*. 2024;24:1630. <https://doi.org/10.1186/s12913-024-12068-8> PMID:39707355
2. Bell ML, Gasparrini A, Benjamin GC. Climate change, extreme heat, and health. *N Engl J Med*. 2024 May;390(19):1793–801. <https://doi.org/10.1056/NEJMra2210769> PMID:38749034
3. Kouwenberg LH, Cohen ES, Hehenkamp WJ, Snijder LE, Kampman JM, Küçükeles B, et al. The carbon footprint of hospital services and care pathways: a state-of-the-science review. *Environ Health Perspect*. 2024 Dec;132(12):126002. <https://doi.org/10.1289/EHP14754> PMID:39729358
4. Merino Urrutia W, Rubilar F, Cárcamo C, Manríquez C. Efectividad clínica, costos y emisiones de gases efecto invernadero de una estrategia anestésica de recuperación optimizada en cirugía de revascularización miocárdica. Primeros resultados. *Rev Chil Anest*; 2024. <https://doi.org/10.25237/congreso-2024-041>.
5. Wang J, DasSarma S. Contributions of medical greenhouse gases to climate change and their possible alternatives. *Int J Environ Res Public Health*. 2024 Nov;21(12):1548. <https://doi.org/10.3390/ijerph21121548> PMID:39767390
6. Henríquez G, Inostroza S, Mogrovejo P, Guentelican C, Herrero S, Estrada R, et al. Huella de carbono, sustentabilidad y anestesia. Estamos empezando a aprender. *Rev Chil Anest*. 2022;51(3): <https://doi.org/10.25237/revchil anestv5115031730>.
7. Rodríguez-Jiménez L, Romero-Martín M, Spruell T, Steley Z, Gómez-Salgado J. The carbon footprint of healthcare settings: A systematic review. *J Adv Nurs*. 2023 Aug;79(8):2830–44. <https://doi.org/10.1111/jan.15671> PMID:37198974
8. Alahmad B, Tobias A, Masselot P, Gasparrini A. Are there more cold deaths than heat deaths? *Lancet Planet Health*. 2025 Mar;9(3):e170–1. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(25\)00054-3](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(25)00054-3) PMID:40120621
9. Protocol GG. Technical Guidance for Calculating Scope 3 Emissions [Internet]. April 2013 [citado 26 ago 2025]. Disponible en: https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/Scope3_Calculation_Guidance_0.pdf
10. Park EJ, Bae J, Kim J, Yoon JU, Do W, Yoon JP, et al. Reducing the carbon footprint of operating rooms through education on the effects of inhalation anesthetics on global warming: A retrospective study. *Medicine (Baltimore)*. 2024 Mar;103(9):e37256. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000037256> PMID:38428851
11. Talbot A, Holländer HC, Bentzer P, Langlois PL, Tremblay MH, Garneau-Tsodikova S, et al. Greenhouse gas impact from medical emissions of halogenated anaesthetic agents: a sales-based estimate. *Lancet Planet Health*. 2025 Mar;9(3):e227–35. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(25\)00027-0](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(25)00027-0) PMID:40120629
12. Varughese S, Ahmed R. Environmental and occupational considerations of anesthesia: a narrative review and update. *Anesth Analg*. 2021 Oct;133(4):826–35. <https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000005504> PMID:33857027
13. Sulbaek Andersen MP, Nielsen OJ, Sherman JD. Assessing the

- potential climate impact of anaesthetic gases. *Lancet Planet Health*. 2023 Jul;7(7):e622–9. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(23\)00084-0](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(23)00084-0) PMID:37438003
14. Espinosa S, Martínez F, Antiñolo M, Nielsen OJ, Jiménez E. Updated global warming potentials of inhaled halogenated anesthetics, isoflurane and sevoflurane from new temperature dependent OH-kinetics. *Environ Sci Process Impacts*. 2025 Aug;27(8):2410–21. <https://doi.org/10.1039/D5EM00061K> PMID:40557949
 15. White SM, Shelton CL, Gelb AW, Lawson C, McGain F, Muret J, et al.; representing the World Federation of Societies of Anaesthesiologists Global Working Group on Environmental Sustainability in Anaesthesia. Principles of environmentally-sustainable anaesthesia: a global consensus statement from the World Federation of Societies of Anaesthesiologists. *Anaesthesia*. 2022 Feb;77(2):201–12. <https://doi.org/10.1111/anae.15598> PMID:34724710
 16. Kampman JM, van Bree EM, Gielen L, Sperna Weiland NH. A nationwide approach to reduction in anaesthetic gas use: the Dutch Approach to decarbonising anaesthesia. *Br J Anaesth*. 2025 Apr;134(4):1146–52. <https://doi.org/10.1016/j.bja.2024.11.049> PMID:39890491
 17. Seibold EL, Wachtendorf LJ, Needham MJ, Munoz-Acuna R, Redaelli S, Suleiman A, et al. Impact of desflurane removal from the operating room on carbon dioxide emissions at a tertiary academic medical centre: a retrospective cohort study. *Br J Anaesth*. 2025 Dec;135(6):1635–44. <https://doi.org/10.1016/j.bja.2025.05.031> PMID:40675839
 18. Bernat M, Cuvillon P, Brieyssel T, Roche M, Remacle A, Leone M, et al. The carbon footprint of general anaesthesia in adult patients: a multicentre observational comparison of intravenous and inhalation anaesthetic strategies in 35,242 procedures. *Br J Anaesth*. 2025 Jun;134(6):1620–7. <https://doi.org/10.1016/j.bja.2025.01.043> PMID:40187906
 19. Gandhi J, Barker K, Cross S, Goddard A, Vaghela M, Cooper A. Volatile capture technology in sustainable anaesthetic practice: a narrative review. *Anaesthesia*. 2024 Mar;79(3):261–9. <https://doi.org/10.1111/anae.16207> PMID:38205589
 20. Wenzel C, Flamm B, Loop T, Schumann S, Spaeth J. Efficiency of passive activated carbon anaesthetic gas capturing systems during simulated ventilation. *Br J Anaesth*. 2024 Dec;133(6):1518–24. <https://doi.org/10.1016/j.bja.2024.05.028> PMID:38960831
 21. Mulier H, Struys MM, Vereecke H, Rex S, Teunkens A, Kalmar AF. Efficiency of CONTRAfluran™ in reducing sevoflurane pollution from maintenance anaesthesia in minimal flow end-tidal control mode for laparoscopic surgery: efficiency of CONTRAfluran™. *Anaesthesia*. 2024 Aug;79(8):849–55. <https://doi.org/10.1111/anae.16289> PMID:38606765
 22. Braithwaite J, Smith CL, Leask E, Wijekulasuriya S, Brooke-Cowden K, Fisher G, et al. Strategies and tactics to reduce the impact of healthcare on climate change: systematic review. *BMJ*. 2024 Oct;387:e081284. <https://doi.org/10.1136/bmj-2024-081284> PMID:39379104
 23. Hammer S, Eichlseder M, Klivinyi C, Lang-Ilievich K, Moser A, Pichler A, et al. Effects of departmental green anaesthesia interventions on carbon dioxide equivalent emissions: a systematic review. *Br J Anaesth*. 2025 Jul;135(1):79–88. <https://doi.org/10.1016/j.bja.2025.03.038> PMID:40348671
 24. Domico M, Meyer MJ, Blackburn L, Toomey SA, Gooch ME, Nadkarni VM, et al. Environmental Sustainability in ICUs: A Report From the Society of Critical Care Medicine Sustainability Task Force. *Crit Care Med*. 2025 Mar;53(3):e632–44. <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000006581> PMID:39982135
 25. Santos P, Oliveira B, Romão C, Leiria N. A survey on environmental sustainability among anesthesiologists: an opportunity for changing behaviors. *Cureus*. 2024 Feb;16(2):e53367. <https://doi.org/10.7759/cureus.53367> PMID:38314392