

DOI: 10.25237/revchilanestv55n3-06

Práctica anestésica y sostenibilidad ambiental: Experiencia regional en Chile

Anesthetic practice and environmental sustainability: A regional experience in Chile

Luis Fuentes Cabrera MD.^{1,*} , Anamaría Correa Bustillos MD.^{1,2}, Verónica Maureira Moreno MD., MSc.^{1,2}, Roberto Garnham Parra MD., MSc.³

¹ Cátedra de Anestesiología, Escuela de Medicina, Universidad de Valparaíso. Valparaíso, Chile.

² Unidad de Anestesiología, Hospital Carlos Van Buren. Valparaíso, Chile.

³ Centro Interdisciplinario de Estudios en Salud (CIESAL), Universidad de Valparaíso. Valparaíso, Chile.

Declaraciones obligatorias

- Este estudio no ha sido enviado simultáneamente a otra revista científica nacional o internacional.
- Este trabajo se adhiere a los principios bioéticos del ICMJE.
- Se respetaron los principios éticos de la Asociación Médica Mundial y la Declaración de Helsinki.
- Se resguardó la privacidad y anonimato de los participantes.
- Se obtuvo consentimiento informado y aprobación del Comité de Ética de la Universidad de Valparaíso.
- Cesión de derechos: Se ceden los derechos de propiedad intelectual a la Revista Chilena de Anestesiología.

Fuente de financiamiento: Ninguno.

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

Fecha de recepción: 25 de septiembre de 2025 / Fecha de aceptación: 10 de enero de 2026

ABSTRACT

Introduction: Anesthesia contributes significantly to the healthcare sector's carbon footprint, primarily through the use of inhaled anesthetic agents. Despite international recommendations aimed at reducing this impact, there is limited information on anesthetic practice from a sustainability perspective in Chile. **Objectives:** To characterize anesthetic practices and explore perceptions, attitudes, and barriers related to environmental sustainability among anesthesiologists working in high-complexity public hospitals in the Valparaíso region, Chile. **Materials and Methods:** A cross-sectional study was conducted using an online survey administered to anesthesiologists from nine public hospitals. Variables related to anesthetic practices, use of inhaled agents, fresh gas flows, and sustainability aspects were collected. Descriptive and exploratory inferential analyses were performed. **Results:** A total of 100 participants were included (66,6% response rate). The most common technique was inhalational general anesthesia (64%), with sevoflurane as the predominant agent (95%). Fifty-two percent reported using fresh gas flows ≤ 1 L/min. Although 83% had access to nitrous oxide (N_2O), its routine use was low (4%). Eighty-five percent acknowledged the environmental impact of anesthesia, with no association observed between this perception and more sustainable practices. Associations were found between hospital and anesthetic technique, as well as with N_2O use. The main reported barrier was lack of training. **Conclusions:** Inhalational anesthesia remains the predominant practice, coexisting with high environmental awareness and variability in the adoption of sustainable practices. Institutional factors may influence clinical practice. These findings provide local evidence and may inform the development of educational and organizational interventions to promote more sustainable anesthesia practices.

Keywords: Anesthesia, environmental sustainability, greenhouse gases, public hospitals.

*Autor de correspondencia:

Luis Fuentes Cabrera
luis.fuentes.cbr@gmail.com

*ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-6035-7676>

ISSN: 0719-6792



RESUMEN

Introducción: La anestesia contribuye de manera relevante a la huella de carbono del sector salud, principalmente a través del uso de agentes anestésicos inhalatorios. Pese a recomendaciones internacionales para reducir este impacto, existe escasa información sobre la práctica anestésica desde una perspectiva de sostenibilidad en Chile. **Objetivos:** Caracterizar las prácticas anestésicas y explorar percepciones, actitudes y barreras relacionadas con la sostenibilidad ambiental en anestesiólogos de hospitales públicos de alta complejidad de la región de Valparaíso, Chile. **Material y Métodos:** Estudio transversal mediante encuesta en línea aplicada a anestesiólogos de nueve hospitales públicos. Se recolectaron variables sobre prácticas anestésicas, uso de agentes inhalatorios, flujos de gas fresco y aspectos relacionados con sostenibilidad. Se realizó análisis descriptivo y análisis inferencial exploratorio. **Resultados:** Se incluyeron 100 participantes (66,6% de respuesta). La técnica más frecuente fue la anestesia general inhalatoria (64%), con predominio de sevoflurano (95%). El 52% reportó utilizar flujos ≤ 1 L/min. Aunque el 83% dispone de óxido nitroso (N_2O), su uso habitual fue bajo (4%). El 85% reconoce el impacto ambiental de la anestesia, sin observarse asociación con prácticas más sostenibles. Se observaron asociaciones entre hospital y técnica anestésica, así como con el uso de N_2O . La principal barrera reportada fue la falta de capacitación. **Conclusiones:** La anestesia inhalatoria sigue predominando como práctica, coexistiendo con una alta conciencia ambiental y variabilidad en prácticas sostenibles. Factores institucionales podrían influir en la práctica clínica. Estos hallazgos aportan evidencia local y podrían orientar el diseño de intervenciones educativas y organizacionales para avanzar hacia una anestesia más sostenible.

Palabras clave: Anestesia, sostenibilidad ambiental, gases de efecto invernadero, hospitales públicos.

Introducción

El calentamiento global secundario al aumento sostenido en la concentración de gases de efecto invernadero (GEI), originado principalmente por las actividades humanas, ha generado serias implicancias para la salud pública global[1],[2]. La temperatura del planeta va en aumento y se espera que para el año 2030 supere un incremento de $1,58^{\circ}C$ [3]. La Organización Mundial de la Salud (OMS) proyecta que este cambio genere 25.000 muertes adicionales por año entre 2030 y 2050, principalmente en la población pediátrica y adulta mayor[3],[4]. Paradójicamente, el sector salud contribuye aproximadamente con el 5% de las emisiones netas globales de GEI[5],[6]. Esta contribución adquiere especial relevancia dado que el propio sistema sanitario deberá enfrentar las consecuencias del cambio climático[7].

Los servicios perioperatorios son identificados como una de las mayores fuentes de emisiones de GEI dentro del sector salud, debido a su alto consumo de energía y recursos[6],[8]; y en este contexto, la práctica anestésica ocupa una posición particularmente relevante. Campbell et al., reportaron que los anestésicos inhalatorios representan el 5% de las emisiones de dióxido de carbono equivalente (CO_2e) de los hospitales del Reino Unido y el 50% de las emisiones de GEI de los servicios perioperatorios en países de altos ingresos[9]. El CO_2e es una medida que considera el potencial de calentamiento global (Global Warming Potential, GWP) de cada gas en relación con el CO_2 , el cual compara la capacidad de un gas para retener calor en la atmósfera durante un período determinado, habitualmente 100 años (GWP100)[3]. El GWP100 para el CO_2 es 1 por convención[10]. En este contexto, los anestésicos inhalatorios presentan diferencias sustanciales en su impacto climático: mientras el sevoflurano posee un GWP100 aproximado de 130, el desflurano es de 2.540, lo que implica un potencial de calentamiento global casi veinte veces mayor[3]. Además, el óxido nitroso (N_2O), es un potente gas de efecto invernadero que, al liberarse a la atmósfera, contribuye tanto al calentamiento global como al agotamiento de la capa de ozono, con un GWP de 265 y una larga vida media atmosférica de aproximadamente 114 años[11]. Estas diferencias refuerzan la relevancia de la

elección del agente anestésico como una decisión clínicamente modificable con impacto ambiental significativo, lo que ha llevado a diversas sociedades científicas a recomendar limitar o evitar su uso cuando existan alternativas clínicamente adecuadas[3],[12],[13]. Esto se alinea con el principio de 'rethink' dentro de la jerarquía de las 6 "Rs" de la sostenibilidad, que prioriza el repensar (rethink) y rechazar (refuse) por sobre estrategias como reducir (reduce), reusar (reuse), reciclar (recycle) e investigar (research)[14]-[16].

En este contexto, la European Society of Anaesthesiology and Intensive Care (ESAIC) publicó un documento de consenso que establece cuatro ámbitos estratégicos para avanzar hacia una práctica perioperatoria más sostenible[3]. Entre ellos se menciona la reducción de emisiones directas, optimización del uso de recursos y energía, y la gestión responsable de residuos. Dentro de las técnicas anestésicas que tienen un impacto positivo en la huella medioambiental se encuentran la reducción del consumo de gases anestésicos, la selección de agentes de menor GWP y el uso de la anestesia de bajo flujo (ABF), donde el flujo de gas fresco se reduce a 1 L/min. En caso que el procedimiento lo permita, se sugiere evitar la técnica de anestesia inhalatoria y preferir alternativas con menor GWP, como la anestesia total intravenosa (TIVA) o la anestesia regional[3].

A pesar de la existencia de estas recomendaciones internacionales, la adopción real de prácticas sostenibles depende en gran medida del contexto local, la cultura institucional y el nivel de conocimiento de los profesionales[17]. En Chile, la evidencia sobre esto es aún limitada. Si bien existen reportes aislados, no se dispone de información sistemática que permita contrastar la práctica anestésica en relación con las recomendaciones internacionales actuales. Un ejemplo, es el trabajo realizado en el Hospital Base de Puerto Montt que evidenció, en términos CO_2e , una contribución significativa de los gases halogenados a las emisiones de GEI de este hospital[18]. Por lo tanto, es difícil estimar el impacto ambiental anestésico del sistema de salud en Chile, lo que limita el desarrollo de estrategias de mejora.

El objetivo de este estudio fue establecer un diagnóstico basal de la práctica anestésica de los anestesiólogos de los hospitales públicos de alta complejidad de la región de Valparaíso en Chile, desde una perspectiva ambiental sostenible. Asimismo, se explo-

ró el grado de familiarización de los profesionales con conceptos de anestesia sostenible, su interés en esta área y las barreras percibidas para la adopción de estas prácticas en sus instituciones. A diferencia de estudios previos, que se han concentrado principalmente en países de altos ingresos o en descripciones parciales de la práctica clínica, este trabajo integra simultáneamente patrones de uso de técnicas anestésicas, percepciones y factores contextuales, incorporando además un análisis inferencial que permite explorar posibles determinantes de la variabilidad observada. Este es el primer estudio de estas características realizado en el país y aporta evidencia relevante para orientar futuras intervenciones y estrategias de implementación en esta área.

Métodos

Se realizó un estudio transversal mediante encuesta en línea, dirigido a anestesiólogos que trabajan en hospitales públicos de alta complejidad de la región de Valparaíso (Chile), correspondientes a centros de nivel terciario con especialidades críticas e infraestructura avanzada. La participación fue voluntaria y anónima. La invitación se distribuyó a través de los jefes de servicio de cada hospital, quienes compartieron el enlace de la encuesta con los potenciales participantes. La recolección de datos se realizó entre abril y septiembre de 2025, con el envío de recordatorios periódicos para favorecer la participación. El estudio contó con la aprobación del Comité de Bioética de la Universidad de Valparaíso. Todos los participantes otorgaron consentimiento informado previo a responder la encuesta. El estudio fue conducido y reportado de acuerdo con la guía STROBE para estudios observacionales.

El tamaño muestral se calculó para una población finita de 150 anestesiólogos, asumiendo un nivel de confianza del 95%, un margen de error del 5% y una proporción esperada de 0,5 para maximizar la variabilidad. El tamaño muestral requerido fue de 108 participantes. Finalmente, se incluyeron 100 participantes, lo que corresponde al 92,6% del tamaño muestral estimado.

Las variables del estudio se agruparon en cuatro dominios principales. En primer lugar, se recolectaron variables socio-demográficas y profesionales, incluyendo edad, género, años de experiencia profesional, participación en actividades docentes, hospital de trabajo y área de desempeño clínico. En segundo lugar, se evaluaron las prácticas anestésicas generales, considerando el tipo de anestesia habitualmente utilizada (general, regional o combinada) y los agentes anestésicos empleados. En tercer lugar, se analizaron variables relacionadas con el uso de anestesia inhalatoria, incluyendo el flujo de gas fresco durante la mantención anestésica y el tipo de circuito utilizado. Finalmente, se exploraron variables vinculadas a la sostenibilidad ambiental en anestesia, tales como el grado de familiarización con el concepto de anestesia sostenible, la percepción del impacto ambiental de la práctica anestésica y la identificación de barreras para la implementación de prácticas más sostenibles.

Se utilizó un cuestionario digital diseñado por los investigadores (Anexo N°1). El instrumento incluyó 26 preguntas de selección múltiple, escala Likert y preguntas abiertas, con un tiempo estimado de respuesta de 15 a 20 minutos. Previo a su aplicación, el cuestionario fue revisado por dos anestesiólogos

con experiencia en anestesia sostenible para evaluar su claridad y pertinencia. No se realizó una validación formal del instrumento.

Las variables se analizaron mediante estadística descriptiva. Las variables categóricas se resumieron como frecuencias absolutas y porcentajes, mientras que las variables continuas se describieron utilizando medidas de tendencia central y dispersión, según su distribución. La normalidad se evaluó mediante la prueba de Shapiro-Wilk. Las técnicas anestésicas, el uso de agentes inhalatorios y los flujos de gas fresco se describieron mediante frecuencias y porcentajes, y se analizaron según características demográficas y profesionales de los participantes. Los flujos de gas fresco se categorizaron en tres grupos de acuerdo con la literatura: bajo (< 1 L/min), medio (1-2 L/min) y alto (> 2 L/min). Las asociaciones entre variables categóricas se evaluaron mediante la prueba de Chi-cuadrado o la prueba exacta de Fisher, según correspondiera. Las variables continuas con distribución no normal se analizaron utilizando la prueba U de Mann-Whitney. Las actitudes hacia la sostenibilidad se analizaron a partir de escalas tipo Likert, utilizando estadísticas descriptivas. Asimismo, se exploraron asociaciones entre el grado de familiarización con la sostenibilidad y las prácticas reportadas.

Para evaluar factores asociados al uso de N₂O, se utilizó un modelo de regresión logística ordinal, considerando la frecuencia de uso como variable dependiente categorizada en cuatro niveles (nunca, ocasional, frecuente y siempre). Se evaluó el supuesto de proporcionalidad de *odds* previo a la aplicación del modelo. El modelo incluyó como variable independiente principal el hospital de desempeño. Dado el carácter exploratorio del estudio, no se realizó un ajuste multivariable.

El análisis estadístico se realizó utilizando Stata IC 14 (StataCorp, College Station, TX, USA). Todas las pruebas fueron bilaterales y se consideró un valor de $p < 0,05$ como estadísticamente significativo. Dado el carácter exploratorio del estudio y el número de comparaciones realizadas, no se aplicaron correcciones por multiplicidad.

Resultados

Participantes

Se invitó a participar a 150 anestesiólogos que ejercían en nueve hospitales públicos de la región de Valparaíso durante el período de estudio. Un total de 100 respondieron la encuesta, lo que corresponde a una tasa de respuesta de 66,6%. Algunos participantes reportaron desempeñarse en más de un centro, sin embargo, el análisis se realizó a nivel individual.

Las características demográficas y profesionales de los participantes se presentan en la Tabla 1. La edad promedio fue de 41,6 años. El 27% reportó más de 15 años de ejercicio profesional, mientras que el 43% tenía 5 años o menos de experiencia. El 66% combina actividades diurnas electivas y turnos de urgencia. La mayoría (87%) declaró realizar actividades docentes en anestesiología.

Práctica anestésica general

El 86% de los anestesiólogos reportó utilizar con mayor frecuencia anestesia general, siendo el 64% anestesia gene-

Tabla 1. Características de los anestesiólogos participantes (n = 100)

Variable	n (%) o Media ± DE
Edad, años	41,6 ± 10,3
Sexo	
Hombres	58 (58%)
Mujeres	41 (41%)
PNR	1 (1%)
Años de experiencia	
< 5 años	43 (43%)
6 - 9 años	17 (17%)
10 - 15 años	13 (13%)
> 15 años	27 (27%)
Tipo de práctica	
Electiva	32 (32%)
Urgencia	2 (2%)
Mixta	66 (66%)
Tipo de pacientes	
Sólo adultos	17 (17%)
Adultos > Pediátricos	69 (69%)
Pediátricos > Adultos	6 (6%)
Mixto	6 (6%)
Sólo pediátricos	2 (2%)
Actividad docente	
Sí	87 (87%)
No	13 (13%)

DE: desviación estándar; PNR: prefiere no responder.

ral inhalatoria, con o sin anestesia regional asociada. En menor proporción reportaron el uso de TIVA (15%), anestesia regional con o sin sedación (14%) y la combinación de TIVA con anestesia regional (7%) (Figura 1).

Uso de anestesia inhalatoria

El agente halogenado más utilizado fue el sevoflurano, se-

ñalado por el 95% de los encuestados, mientras que el desflurano fue reportado por el 5%. No se documenta uso habitual de isoflurano.

El 83% de los participantes indicó que dispone de N₂O en su centro hospitalario. Sin embargo, solo el 4% declaró utilizarlo de forma frecuente o habitual, 31% ocasionalmente y 65% nunca.

Respecto al flujo de gas fresco durante la mantención de la anestesia inhalatoria, el 52% reportó flujos ≤ 1 L/min, mientras que el 41% utiliza flujos entre 1-2 L/min y 7% utiliza flujos de 2 L/min o más. Durante la inducción anestésica, el flujo más frecuentemente reportado fue 5-6 L/min (48%), mientras que durante el despertar predominó el uso de flujos > 8 L/min (62%). Entre quienes no utilizan anestesia de bajo flujo (48%), las principales razones señaladas fueron la percepción de mayor costo (76%), la preocupación por la producción de compuesto A y el riesgo de nefrotoxicidad (69%) y el desconocimiento o falta de entrenamiento en la técnica (59%). En relación con el recambio de cal sodada, el criterio más frecuentemente utilizado fue el cambio de color de ésta mayor a la mitad (54%). El 2% de los encuestados utiliza circuitos abiertos tipo Jackson-Rees o Mapleson al menos ocasionalmente.

Percepción del impacto ambiental de la práctica anestésica

El 85% de los participantes considera que la práctica anestésica tiene impacto en el calentamiento global y en la huella de carbono del sector salud. Ante la pregunta sobre cuál práctica tiene mayor impacto en mitigar los efectos del calentamiento

Tabla 2. Prácticas con mayor impacto ambiental según los anestesiólogos

Práctica	n (%)
Elección técnica anestésica (TIVA, inhalatoria, regional)	24 (24%)
Rechazo de insumos de uso único	9 (9%)
El uso anestesia de bajo flujo y circuito de anestesia cerrado	43 (43%)
Reducir el consumo de energía	6 (6%)
Reutilizar insumos y reciclar	18 (18%)

TIVA: Anestesia total intravenosa.

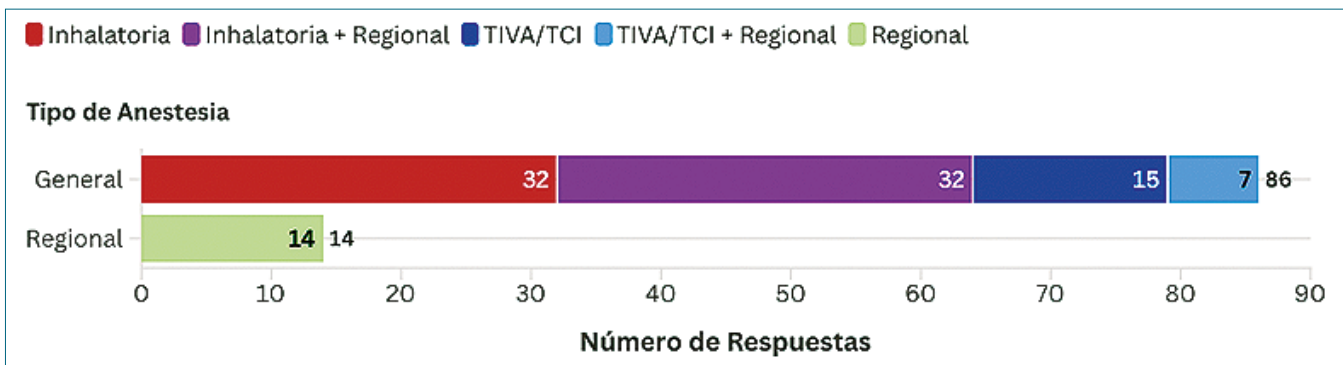


Figura 1. Técnica anestésica más reportada por los anestesiólogos. TIVA: Anestesia total intravenosa; TCI: Target controlled infusion.

to global en anestesia y pabellón, la opción más seleccionada fue la ABF y circuito cerrado (Tabla 2). Respecto al anestésico considerado más contaminante, el 47% identificó a desflurano como el de mayor impacto ambiental, mientras que el 20% declaró desconocer esta información.

Actitudes hacia la sostenibilidad en anestesia

En relación con la disposición a modificar la práctica clínica para contribuir a la sostenibilidad, el 56% se manifestó de acuerdo o totalmente de acuerdo con esta afirmación, mientras que el 6% se mostró en desacuerdo y el 2% muy en desacuerdo.

Barreras percibidas para la implementación de prácticas sostenibles

El 80% de los encuestados considera que la principal barrera para implementar prácticas más sostenibles es la falta de capacitación (Escala de Likert "afecta significativamente" o "afecta de manera crítica"), seguida de la resistencia del equipo de salud (54%) y la falta de recursos o equipamiento adecuado (48%) (Figura 2).

Análisis inferencial

Se realizaron análisis exploratorios para evaluar asociaciones entre variables institucionales, características profesionales y prácticas anestésicas.

Se observó una asociación estadísticamente significativa entre el hospital de desempeño y la técnica anestésica más frecuentemente empleada ($\chi^2(24) = 67,46$; $p < 0,001$) (Figura 3). Así mismo el hospital de desempeño se asoció significativamente con la frecuencia de uso de N_2O (p global $< 0,001$). En particular, en los hospitales Gustavo Fricke, San Martín de Quillota y Quilpué se observó una mayor probabilidad de reportar uso ocasional o frecuente, mientras que en los hospitales Eduardo Pereira y San Juan de Dios de Los Andes predominó la categoría "nunca" (Tabla 3).

Se observó una asociación entre la experiencia profesional y la percepción del costo de la anestesia de bajo flujo. Los anestesiólogos con más de 9 años de experiencia reportaron con mayor frecuencia que esta técnica es más costosa en comparación con aquellos con menor experiencia (90% vs 66,7%; $\chi^2(1) = 7,16$; $p = 0,007$).

Fuera de estas asociaciones, no se observaron asociaciones

	No afecta (n)	Afecta poco (n)	Afecta moderadamente (n)	Afecta significativamente	Afecta críticamente
Falta de recursos o equipamiento	5	13	34	20	28
Falta de conocimiento o capacitación sobre sostenibilidad	0	2	17	40	40
Resistencia del equipo de salud o del hospital	4	16	26	33	21

Figura 2. Barreras para implementación de prácticas sostenibles en el lugar de trabajo identificadas por los anestesiólogos.

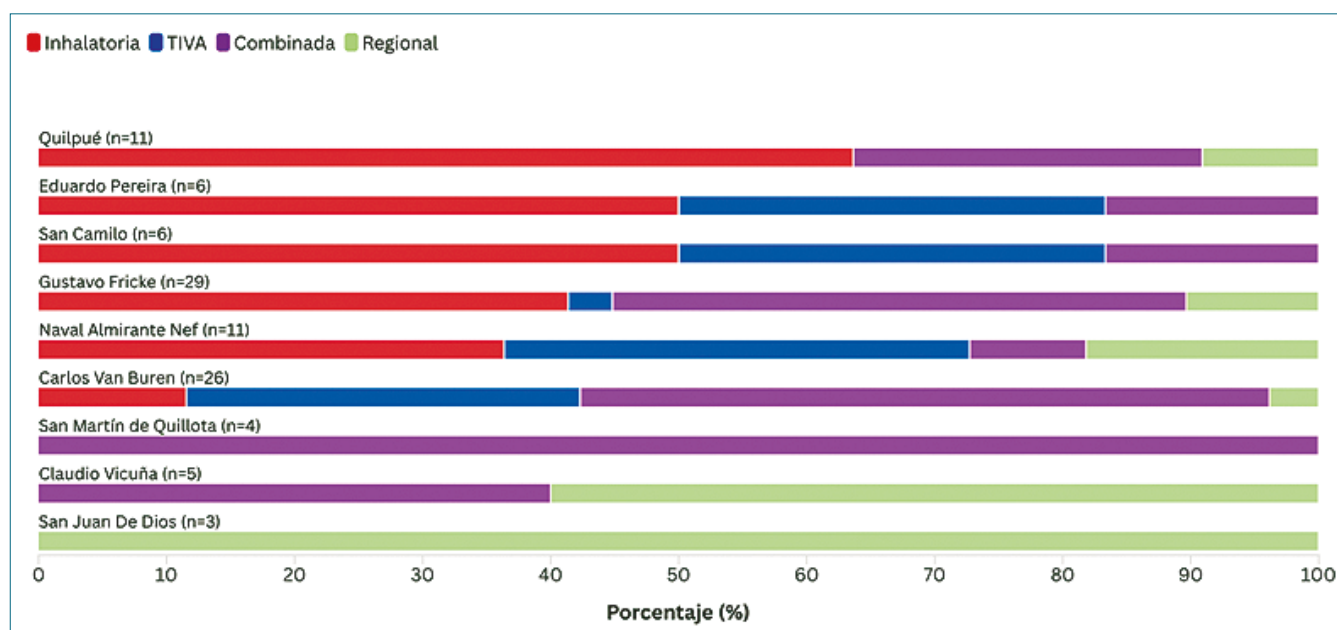


Figura 3. Distribución de técnicas anestésicas más utilizada por los anestesiólogos según hospital. Cada barra representa el 100% de los anestesiólogos por centro. Los resultados deben interpretarse con cautela en centros con bajo tamaño muestral. TIVA: Anestesia total intravenosa; Combinada: Anestesia general combinada con anestesia regional.

Tabla 3. Frecuencia de uso de N₂O por los anestesiólogos según hospital

Hospital	Nunca n (%)	Ocasional n (%)	Frecuente n (%)	Siempre n (%)	Total
Hospital Carlos Van Buren	23 (88,5%)	3 (11,5%)	0	0	26
Hospital Claudio Vicuña	3 (60%)	2 (40%)	0	0	5
Hospital Eduardo Pereira	6 (100%)	0	0	0	6
Hospital Gustavo Fricke	14 (48,3%)	12 (41,4%)	3 (10,3%)	0	29
Hospital Naval	7 (63,6%)	4 (36,4%)	0	0	11
Hospital San Camilo	4 (80%)	0	0	1 (20%)	5
Hospital San Juan de Dios	3 (100%)	0	0	0	3
Hospital San Martín	0	4 (100%)	0	0	4
Hospital de Quilpué	5 (45,5%)	6 (54,5%)	0	0	11
Total	65 (65%)	31 (31%)	3 (3%)	1 (1%)	100

estadísticamente significativas entre las demás variables analizadas, incluyendo características profesionales, prácticas anestésicas y percepciones relacionadas con sostenibilidad ($p > 0,05$ para todas las comparaciones).

Discusión

Conociendo el potencial impacto ambiental que conlleva el quehacer anestésico, consideramos relevante evaluar cómo estas decisiones se alinean con las recomendaciones actuales orientadas a reducir la huella ambiental de la anestesia. Los resultados muestran que la práctica anestésica predominante en hospitales públicos de alta complejidad de la región de Valparaíso, es la anestesia general inhalatoria asociada o no a anestesia regional (64%). La TIVA, si bien ha sido propuesta como una alternativa con menor impacto ambiental en comparación con la anestesia inhalatoria, aún no se consolida como técnica predominante. La persistencia de incertidumbres respecto a su huella ambiental global, particularmente en relación con la generación de residuos farmacológicos y microplásticos, limita una evaluación concluyente de su impacto ecológico[9],[11].

En relación con los agentes inhalatorios, el sevoflurano fue ampliamente predominante, mientras que el uso de desflurano fue marginal. Este patrón es consistente con tendencias internacionales y se alinea con recomendaciones actuales orientadas a privilegiar agentes con menor GWP[9],[19],[20]. En esta misma línea, si bien la mayoría dispone de N₂O, su utilización fue mínima. Este desacople entre disponibilidad y uso sugiere un cambio progresivo en la práctica clínica, coherente con las recomendaciones que promueven limitar o evitar su uso debido a su alto impacto ambiental[3],[13],[17].

Respecto al uso de anestesia de bajo flujo, poco más de la mitad de los participantes reportó su implementación frecuente durante la mantención anestésica, lo que indica una adopción parcial de esta estrategia. Entre quienes no la utilizan, la principal barrera reportada fue la percepción de mayor costo, particularmente en el grupo de profesionales con más experiencia, pese a que se describe como una de las intervenciones más costo-efectivas y de fácil implementación para disminuir la hue-

lla de carbono asociada a la anestesia inhalatoria[17],[21],[22]. También, resalta que la segunda preocupación más reportada por los participantes fue la producción de compuesto A y el riesgo de falla renal asociado a este, aunque la evidencia clínica disponible no ha demostrado efectos significativos en humanos[21],[23]. Las limitaciones tecnológicas y de seguridad de la técnica fueron menos seleccionadas por los encuestados, siendo ambos los factores limitantes más destacados en la literatura[17],[21],[22]. En conjunto, estos resultados indican que las principales barreras podrían ser potencialmente modificables mediante intervenciones educativas específicas.

Un hallazgo adicional es que una proporción importante de los anestesiólogos combina anestesia general inhalatoria con anestesia regional. Desde un punto de vista clínico, esta estrategia permite reducir los requerimientos de agentes inhalatorios al disminuir la concentración alveolar mínima (CAM), lo que podría traducirse en una reducción indirecta de emisiones[16],[24]. Sin embargo, la evaluación de su impacto ambiental global es compleja. Estudios basados en análisis de ciclo de vida han mostrado resultados heterogéneos, al incorporar variables como el consumo energético, el uso de insumos y la generación de residuos, por lo que su beneficio ambiental debe interpretarse con cautela[25].

En cuanto a la percepción de impacto ambiental, la mayoría de los participantes reconoce que la anestesia contribuye a la huella de carbono del sector salud. Sin embargo, esta percepción no se asoció con la adopción de prácticas específicas, lo que sugiere una posible brecha entre conocimiento general y aplicación clínica. No obstante, los encuestados identificaron correctamente las intervenciones con mayor impacto en la reducción de emisiones, particularmente aquellas relacionadas con la elección de la técnica anestésica y del agente utilizado. Este hallazgo es consistente con la jerarquía de sostenibilidad, que prioriza intervenciones basadas en la 6 "Rs", interpretándose como un aspecto positivo en la comprensión del problema[14]-[16]. A pesar de ello, persisten brechas relevantes de conocimiento, evidenciadas por el hecho de que aproximadamente 20% de los participantes declara desconocer cuál es el anestésico más contaminante y un bajo porcentaje identifica el ahorro energético como una práctica sostenible esencial. Esta

coexistencia de conocimientos parciales y vacíos específicos sugiere que la formación en sostenibilidad anestésica aún está en desarrollo.

Las barreras percibidas para la implementación de prácticas sostenibles refuerzan esta interpretación. La falta de capacitación fue identificada como el principal obstáculo, seguida por la resistencia del equipo de salud y, en menor medida, por limitaciones de recursos. En conjunto, estos hallazgos sugieren que las dificultades para avanzar hacia una anestesia más sostenible no dependen exclusivamente de factores tecnológicos, sino que estarían fuertemente influenciadas por elementos educativos y culturales, como se ha mencionado en otras publicaciones[11].

Destacamos que la técnica anestésica y el uso de N_2O se asociaron de forma estadísticamente significativa con el hospital de desempeño. Estos hallazgos sugieren que la técnica anestésica podría estar influenciada por factores organizacionales y culturales dentro de los entornos hospitalarios, reflejando dinámicas institucionales, distinta disponibilidad de recursos, tradiciones locales de práctica clínica y modelos de formación distintos en cada centro[9],[26]. Esto refuerza la idea de que las estrategias orientadas a mejorar la sostenibilidad en anestesia podrían beneficiarse de intervenciones estructurales a nivel institucional, más allá de cambios individuales. Estas estrategias podrían incluir, entre otras, la formación de grupos o comités de sostenibilidad, la incorporación de criterios de práctica clínica sostenible dentro de la evaluación profesional y el desarrollo de programas de capacitación específicos en anestesia ambientalmente responsable que generen una reducción medible en la huella de carbono[9],[27]-[29].

Otro elemento que merece atención es que la mayoría de los anestesiólogos encuestados desempeñan funciones docentes dentro de programas universitarios de formación en anestesiología. Este entorno hospitalario-académico constituye un espacio donde se consolidan patrones de práctica que posteriormente son incorporados por nuevas generaciones de especialistas[30]. En este contexto, la incorporación temprana de contenidos relacionados con sostenibilidad ambiental dentro de los programas de formación médica, así como también en la formación de nuevos anestesiólogos, podría significar una oportunidad estratégica para facilitar cambios sostenidos en la práctica clínica a largo plazo[12]. Sin embargo, la evidencia disponible sugiere que esta integración aún es limitada[31]. En una encuesta reciente dirigida a jefes de departamento y directores de programas de residencia en anestesiología en Canadá, solo el 29% de los programas reportó incluir contenidos de anestesia sostenible dentro de su currículo formal. El mismo estudio identificó además, diversas barreras para la implementación de estas iniciativas, entre las que destacan limitaciones de tiempo dentro del currículo, falta de expertos en el área y la ausencia de estructuras institucionales dedicadas específicamente a programas de sostenibilidad ambiental en anestesia[32].

En cuanto a perspectivas futuras, el desarrollo de tecnologías para capturar y reciclar gases anestésicos surge como una estrategia complementaria para reducir la huella ambiental, especialmente en centros quirúrgicos de alta demanda[4],[16].

Dentro de las limitaciones, se deben considerar: en primer lugar, al tratarse de una encuesta basada en autoinforme, las respuestas podrían estar sujetas a sesgos de recuerdo o deseabilidad social, sobre todo considerando que la mayoría de los

participantes reportan ejercer tareas como docentes universitarios. Los encuestados podrían tender a reportar conductas percibidas como más adecuadas o socialmente aceptables, lo que podría haber sesgado los resultados hacia una sobreestimación de la adopción de prácticas anestésicas sostenibles. Además, el estudio se realizó en hospitales públicos de una región específica del país, lo que podría limitar la generalización de los resultados, sumado a que en algunos centros el número de profesionales fue considerablemente más bajo. Dado el diseño observacional de corte transversal, los análisis inferenciales deben interpretarse con cautela, ya que no permiten establecer relaciones causales, sino únicamente identificar asociaciones entre variables. En este sentido, el análisis tuvo un carácter exploratorio y no se aplicaron correcciones por comparaciones múltiples, lo que aumenta el riesgo de error tipo I. Asimismo, la categorización de algunas variables -como los flujos de gas fresco- se realizó posteriormente con fines analíticos en base a definiciones de la literatura, lo que podría introducir cierto grado de simplificación de la práctica clínica real. Finalmente, el instrumento utilizado no fue sometido a un proceso formal de validación, pudiendo afectar la precisión en la medición de algunas variables, particularmente aquellas relacionadas con percepciones y actitudes.

Como fortalezas, destacan: en primer lugar, que constituye una de las primeras aproximaciones en Chile para caracterizar la práctica anestésica desde una perspectiva de sostenibilidad ambiental, abordando una temática emergente con escasa evidencia en Latinoamérica[9]. En segundo lugar, la inclusión de anestesiólogos de múltiples hospitales públicos de alta complejidad permite capturar una visión amplia y representativa de la práctica clínica en la red asistencial regional, aumentando la relevancia externa de los resultados dentro de este contexto. Asimismo, la tasa de respuesta obtenida del 66% es adecuada para estudios de este tipo, lo que reduce el riesgo de sesgo de no respuesta. Otro aspecto destacable es el enfoque integral del instrumento, que no solo describe patrones de uso de técnicas y agentes anestésicos, sino que también explora percepciones, actitudes y barreras, permitiendo una comprensión más completa del fenómeno estudiado. Finalmente, la incorporación de análisis inferenciales, aun con su carácter exploratorio, aporta un valor adicional al identificar posibles factores asociados a la variabilidad en la práctica clínica, generando hipótesis relevantes para futuras investigaciones e intervenciones orientadas a mejorar la sostenibilidad en anestesia.

Conclusión

Este es el primer reporte enfocado en caracterizar las técnicas anestésicas con una mirada hacia la sostenibilidad en hospitales públicos de alta complejidad de una región de Chile. En conjunto, estos resultados sugieren que en la región predomina la técnica de anestesia general inhalatoria, con más de la mitad de los participantes utilizando anestesia de bajo flujo en la mantención y con el agente inhalatorio con menor GWP100 disponible. Además, existe conciencia e interés por temas de cuidado del medio ambiente, aunque con variabilidad en la adopción de prácticas sostenibles que podrían estar asociadas al centro de desempeño. Esto sugiere que la implementación de futuras estrategias educativas e institucionales podrían tener

un impacto positivo en la práctica anestésica sostenible. Estos resultados no solo aportan evidencia inicial en el contexto local, sino que también pueden servir como base para el diseño de estudios similares a nivel nacional y para intervenciones orientadas a mejorar la sostenibilidad de la práctica anestésica en el ámbito público.

Referencias

- McMichael AJ, Woodruff RE, Hales S. Climate change and human health: present and future risks. *Lancet*. 2006 Mar;367(9513):859–69. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(06\)68079-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(06)68079-3) PMID:16530580
- Prüss-Ustün A, Wolf J, Corvalán C, Neville T, Bos R, Neira M. Diseases due to unhealthy environments: An updated estimate of the global burden of disease attributable to environmental determinants of health. *Journal of Public Health*. United Kingdom: Oxford University Press; 2017. pp. 464–75. <https://doi.org/10.1093/pubmed/fdw085>.
- González-Pizarro P, Brazzi L, Koch S, Trinks A, Muret J, Sperna Weiland N, et al.; Sustainability National Representatives. European Society of Anaesthesiology and Intensive Care consensus document on sustainability: 4 scopes to achieve a more sustainable practice. *Eur J Anaesthesiol*. 2024 Apr;41(4):260–77. <https://doi.org/10.1097/EJA.0000000000001942> PMID:38235604
- Hales S, Kovats S, Lloyd S, Campbell-Lendrum D. Quantitative risk assessment of the effects of climate change on selected causes of death, 2030s and 2050s. Geneva: World Health Organization; 2014.
- Rübsam ML, Kruse P, Dietzler Y, Kropf M, Bette B, Zarbock A, et al. A call for immediate climate action in anesthesiology: routine use of minimal or metabolic fresh gas flow reduces our ecological footprint. *Can J Anaesth*. 2023 Mar;70(3):301–12. <https://doi.org/10.1007/s12630-022-02393-z> PMID:36814057
- Sherman J, Le C, Lamers V, Eckelman M. Life cycle greenhouse gas emissions of anesthetic drugs. *Anesth Analg*. 2012 May;114(5):1086–90. <https://doi.org/10.1213/ANE.0b013e31824f6940> PMID:22492186
- Lindholm E, Hegde J, Saltnes C, Leonardsen AC, Aasheim ET. Climate change, sustainability and anesthesiology practice: a national survey among anesthesiologists and nurse anesthetists in Norway. *J Clim Change Health*. 2023;13:100259. <https://doi.org/10.1016/j.joclim.2023.100259>.
- Samad K, Yousuf MS, Ullah H, Ahmed SS, Siddiqui KM, Latif A. Anesthesia and its environmental impact: approaches to minimize exposure to anesthetic gases and reduce waste. *Med Gas Res*. 2025 Mar;15(1):101–9. <https://doi.org/10.4103/mgr.MEDGAS-RES-D-23-00059> PMID:39436173
- González-Pizarro P, Koch S, Muret J, Trinks A, Brazzi L, Reinoso-Barbero F, et al. Environmental sustainability in the operating room: A worldwide survey among anaesthesiologists. *Eur J Anaesthesiol Intensive Care*. 2023 Jun;2(4):e0025. <https://doi.org/10.1097/EA9.0000000000000025> PMID:39917069
- Campbell M, Pierce JM. Atmospheric science, anaesthesia, and the environment. *BJA Educ*. 2015 Aug;15(4):173–9. <https://doi.org/10.1093/bjaceaccp/mku033>.
- Cappellini I, Schirru E. Bridging Anesthesia and Sustainability: A Special Article for a Path towards Eco-Conscious Practice. *Anesthesia Research*. 2024 Oct;1(3):168–79. <https://doi.org/10.3390/anesthres1030016>.
- 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
- American Society of Anesthesiologists. Greening the Operating Room and Perioperative Arena: Environmental Sustainability in Anesthesia Practice. Schaumburg (IL): ASA; 2023.
- Herr M, Segura L. Sustainable anesthesia: limiting waste, maximizing resiliency. *APSF Newsl*. 2023;6:96–9.
- Merino W, Quispe I, Guentelican C, Herrero S, Estrada R, Inostroza S, et al. 5R and Hospital Sustainability: our contribution in the climate emergency. Part I. Reduce, Reuse and Recycle. *Revista Chilena de Anestesia*. 2022;51(1):10–6. <https://doi.org/10.25237/revchilanestv5126111920>.
- Van Zundert A, Nicolae R. The green footprint of regional anesthesia. *Reg Anesth Pain Med*. 2023;48 Suppl 1:A365–8. <https://doi.org/10.1136/rapm-2023-ESRA.675>.
- McGain F, Muret J, Lawson C, Sherman JD. Environmental sustainability in anaesthesia and critical care. *Br J Anaesth*. 2020 Nov;125(5):680–92. <https://doi.org/10.1016/j.bja.2020.06.055> PMID:32798068
- Balkenhol M, Castillo A, Soto M, Feijoo M, Merino W. Huella de carbono en el Hospital Base de Puerto Montt. *Rev Med Chil*. 2018 Dec;146(12):1384–9. <https://doi.org/10.4067/s0034-98872018001201384> PMID:30848740
- McGain F, Bishop JR, Elliot-Jones LM, Story DA, Imberger GL. A survey of the choice of general anaesthetic agents in Australia and New Zealand. *Anaesth Intensive Care*. 2019 May;47(3):235–41. <https://doi.org/10.1177/0310057X19836104> PMID:31088129
- Kumar M, Sinha M, Reazaul Karim HM, Panda CK, Singha SK. Practice pattern of fresh gas flow and volatile agent choices among anesthesiologists working in different Indian hospitals: an online survey. *Anesth Essays Res*. 2018;12(4):907–13. https://doi.org/10.4103/aer.AER_164_18 PMID:30662129
- Kennedy RR, Hendrickx JF, Feldman JM. There are no dragons: low-flow anaesthesia with sevoflurane is safe. *Anaesth Intensive Care*. 2019 May;47(3):223–5. <https://doi.org/10.1177/0310057X19843304> PMID:31124374
- Chowdappa GK, lolov SI, Abuamra KS, Kulkarni PP, Shariff JA, Abdelaziz HM, et al. Precision in practice: an audit study on low-flow anesthesia techniques with desflurane and sevoflurane for cost-effective and sustainable care. *Saudi J Anaesth*. 2024;18(3):388–94. https://doi.org/10.4103/sja.sja_142_24 PMID:39149724
- Sondekoppam RV, Narsingani KH, Schimmel TA, McConnell BM, Buro K, Özsel TJ. The impact of sevoflurane anesthesia on postoperative renal function: a systematic review and meta-analysis of randomized-controlled trials. *Can J Anaesth*. 2020 Nov;67(11):1595–623. <https://doi.org/10.1007/s12630-020-01791-5> PMID:32812189
- Outterson RE. What do we know about the environmental benefits of regional anesthesia? *ASRA Pain Med News*; 2023. p. 48.
- McGain F, Sheridan N, Wickramarachchi K, Yates S, Chan B, McAlister S. Carbon footprint of general, regional, and

- combined anesthesia for total knee replacements. *Anesthesiology*. 2021 Dec;135(6):976–91. <https://doi.org/10.1097/ALN.0000000000003967> PMID:34529033
26. Biro J, Neyens DM, Jaruzel C, Tobin CD, Alfred M, Coppola S, et al. "One size" doesn't "fit all": understanding variability in anesthesia work practices. *Hum Factors Healthc*. 2022 Dec;2:100026. <https://doi.org/10.1016/j.hfh.2022.100026>.
27. Glenski TA, Levine L. The implementation of low-flow anesthesia at a tertiary pediatric center: A quality improvement initiative. *Paediatr Anaesth*. 2020 Oct;30(10):1139–45. <https://doi.org/10.1111/pan.13994> PMID:32786105
28. Wyssusek K, Chan KL, Eames G, Whately Y. Greenhouse gas reduction in anaesthesia practice: a departmental environmental strategy. *BMJ Open Qual*. 2022 Aug;11(3):e001867. <https://doi.org/10.1136/bmj-oq-2022-001867> PMID:36002191
29. Chambrin C, de Souza S, Gariel C, Chassard D, Bouvet L. Association Between Anesthesia Provider Education and Carbon Footprint Related to the Use of Inhaled Halogenated Anesthetics. *Anesth Analg*. 2023 Jan;136(1):101–10. <https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000006172> PMID:35986678
30. Dornan T. Workplace learning. *Perspectives on Medical Education*. Bohn Stafleu van Loghum; 2012. pp. 15–23. <https://doi.org/10.1007/S40037-012-0005-4>.
31. Rosen L, Cerceo E, Chen C, Edwards S, Erny BC, Fitzpatrick CM, et al. The Climate Health Curriculum Tool (CHCT): an assessment framework for integrating climate health education in U.S. undergraduate medical curricula. *BMC Med Educ*. 2026 Feb;26(1):316. <https://doi.org/10.1186/s12909-026-08671-4> PMID:41634687
32. Petre MA, Bahrey L, Levine M, van Rensburg A, Crawford M, Matava CT. Anesthesia environmental sustainability programs—a survey of Canadian department chiefs and residency program directors. *Can J Anaesth*. 2020 Sep;67(9):1190–200. <https://doi.org/10.1007/s12630-020-01738-w> PMID:32529472