

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA-LEÓN  
FACULTAD DE CIENCIAS MÉDICAS  
HEODRA**



**TESIS**

**Para optar al título de  
Especialista en Anestesiología**

**Beneficios y costos de la anestesia inhalatoria a flujos bajos en pacientes  
sometidos a cirugía en el HEODRA, 2019.**

Autora: Dra. Grisbyan Antonia Bucardo Matute  
Residente de Anestesiología, HEODRA.

Tutor: Dr. José de Jesús Camacho.  
Médico de base de anestesiología.

¡A la Libertad por la Universidad!

León, febrero de 2020

## **DEDICATORIA**

A Dios eterno y toda su corte celestial por iluminar siempre mi camino.

A mi madre Jany del Socorro Matute Rizo y a mi abuelita Francisca Rizo Altamirano. Quienes me enseñaron a no tener miedo a nada ambas son mi brújula, mi norte.

A mi hermana la doctora Maykely Álvarez Matute por su apoyo incondicional durante toda mi carrera. Mientras escuche tu voz diciendo que la batalla no ha terminado, no dejare de pelear hasta el cansancio.

A mi esposo Melvin José Velásquez mi compañero, mi amigo, mi escudo.

A mi pequeño hijo Lyam Gabriel Velásquez mi fuerza para seguir adelante.

A mis maestros, doctor Juan Braulio Salinas Aguilar y doctora Xilda Patricia Marengo Campos. Quienes por su experiencia en la vida y en la anestesiología, me exigieron con paciencia y mucho cariño.

## **AGRADECIMIENTO**

A Mi maestro el doctor José de Jesús Camacho por haberme apoyado en la realización de este estudio y ser mi guía.

A mis maestros que me ayudaron a coleccionar muestras y datos, Dra. Xilda Marengo, Dra. Raquel Herrera, Dra. Fátima Somarriba, Dra. Janeth Reyes, Dra. Karen Álvarez, Dra. Yessenia Alvarado y Dr. Heiner Moreno.

A todas mis compañeras residentes por su apoyo incondicional y de manera especial a mi compañera de clave la doctora Ingrid Núñez.

Al licenciado en anestesiología Diedrich Alemán por su importante información sobre cálculo y uso de sevoflurano.

## RESUMEN

Se realizó un estudio tipo ensayo clínico, ciego simple con el fin de comprobar la eficacia y costos de la anestesia inhalatoria a flujos bajos en pacientes sometidos a cirugía. Se realizaron gasometrías para confirmar su eficacia y se usó la fórmula de sevoflurano: porcentaje de concentración anestésico (%) x FGF (L/min) x3, para medir el consumo y costo.

150 pacientes conformaron el estudio, distribuyéndose en dos grupos por medio de un sorteo, cada uno de 75 pacientes los cuales cumplieron con los criterios de inclusión propuestos para el estudio. Al grupo A se le administro oxígeno a dos litros por minuto y al grupo B oxígeno a un litro por minuto.

Todos los pacientes recibieron anestesia general con dosis de fármacos anestésicos similares en la inducción y sevoflurane entre 2% y 3% durante la cirugía.

El uso de flujos bajos de oxígeno resultó ser eficaz en el mantenimiento de la anestesia con resultados de gasometrías normales. Siendo el grupo de flujos medios quienes presentaron más tendencia a las alteraciones gasométricas.

De igual manera se confirmó que el costo de la anestesia a flujos bajos es menor que al usar flujos medios de oxígeno.

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES	2
JUSTIFICACIÓN	4
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
HIPÓTESIS	6
OBJETIVOS	7
MARCO TEÓRICO	8
MATERIALES Y MÉTODOS	22
RESULTADOS	29
DISCUSIÓN	34
CONCLUSIONES	36
RECOMENDACIONES	37
REFERENCIAS	38
ANEXOS	41
Instrumento de recolección de datos	
Consentimiento informado	
Cronograma	

### INTRODUCCIÓN

En los últimos años el uso de flujos bajos en anestesia ha tomado un fuerte resurgimiento debido a factores económicos y ambientales, avances en la tecnología de monitoreo y por la introducción de «nuevos» gases anestésicos inhalados.<sup>5-7</sup>

Según Nunn,<sup>8</sup> no existe una definición universalmente aceptada de anestesia de bajo flujo. Sin embargo, Baum<sup>9</sup> la define como una técnica anestésica por inhalación a través de un sistema de re-inspiración en al menos 50%, es decir el 50% del volumen de gas exhalado regresa al paciente después de la absorción de dióxido de carbono en la inspiración siguiente. Para estandarizar la terminología para circuitos respiratorios, Baker sugirió la siguiente modificación de la clasificación de Simion de las tasas de flujos de gas fresco en la práctica clínica: alta (2-4 L/min), flujo medio (1-2 L/min), flujo bajo (0.5-1 L/min), y flujo mínimo (<0,5 L/min).<sup>10</sup>

Diversos autores <sup>5,6,11,12</sup> han proveído evidencias sobre las ventajas al utilizar flujos bajos, por ejemplo, contribuye a disminuir los gastos en la anestesia; mejora la climatización de los gases inspirados; y la reducción de la contaminación atmosférica. También el consumo de sevoflurano se ve aumentado más del doble en flujos altos que en los de flujo bajo. Así mismo, el utilizar flujos bajos ayuda a conservar la humedad y la temperatura y se puede aumentar el número de horas de anestesia por botella de sevoflurano hasta en un 73.7%.

El incremento de los costos de agentes anestésicos inhalados, como sevoflurano y desflurano, han influenciado que un número creciente de anestesiólogos a usar flujos reducidos de gas fresco en sistemas respiratorios circulares. Estudios económicos de anestesia han usado modelos matemáticos para predecir el consumo anestésico<sup>5,13,14</sup>, y se acepta generalmente que los flujos bajos se asocian a menor consumo de agentes anestésicos.<sup>15-17</sup>

### ANTECEDENTES

En base a la revisión realizada solamente se encontró un ensayo clínico similar realizado recientemente en el Hospital Antonio Lenin Fonseca, para comparar la eficacia y costos de flujos bajos (n=15) y medios (n=15). Las principales cirugías fueron colecistectomías, apendicectomías, hernioplastias, laparotomía abdominal exploratoria e histerectomía. Las principales alteraciones gasométricas se presentaron en pacientes del grupo de flujos medios, en términos de acidosis, hipernatremia e hipocapnia. No se observó disminución de la perfusión tisular ni alteraciones hemodinámicas patológicas. En ambos grupos no se observaron diferencias significativas en la duración de la cirugía ni en la duración de la anestesia. Sin embargo, el uso de flujos bajos reduce el consumo y costo anestésico a un tercio de forma significativa.<sup>18</sup>

A continuación, se presentan resultados de estudios similares realizados internacionalmente:

Ryu et al. realizaron un estudio observacional para evaluar el efecto del consumo de la anestesia inhalatoria con flujos bajos, basado en sevoflurano ya que representa más del 90% de los anestésicos volátiles utilizados en el Departamento of Anestesiología and Medicina del Dolor, del National University Hospital, Seúl, Corea. Los autores concluyeron que la política de flujos bajos durante el mantenimiento de la anestesia general reduce la cantidad de sevoflurano en casi 40%, mejorando la rentabilidad de los anestésicos volátiles.<sup>19</sup>

Mehmet et al. investigaron los efectos de 3 diferentes tasas de flujo sobre la estabilidad hemodinámica perioperatoria, con desflurano. El diseño fue prospectivo en el Departamento de Anestesiología y Reanimación, Universidad de Gaziantep, en Turquía en pacientes entre 18-65 años, con ASA I-II, no premedicados programados para someterse a cirugía (ureterolitotomía, colecistectomía, pielolitotomía o tiroidectomía). Se concluyó que la anestesia con desflurano de bajo flujo puede ser una alternativa a la anestesia de alto flujo en pacientes con ASA I o II.<sup>20</sup>

## **Beneficios y costo de la anestesia inhalatoria a flujos bajos**

---

Doolke et al. realizaron un estudio en pacientes sometidos a artroscopia electiva de rodilla en un hospital sueco para determinar el consumo de sevoflurane y su relación con el flujo de gases. En conclusión, la simple reducción del flujo de gas fresco resultó en una disminución del consumo de sevoflurano y se considera una técnica anestésica eficaz en la estrategia de minimización de costos.<sup>21</sup>

Ruiz, realizó un estudio prospectivo en 115 pacientes sometidos a toracotomía electiva, divididos en dos grupos, uno con flujos bajos y otro con flujos altos. El objetivo fue mostrar las ventajas de la ventilación anestésica con flujos bajos. Se concluyó que la principal ventaja fue el ahorro del 68% en el consumo de oxígeno y un 60% en sevoflurano.<sup>22</sup>

### JUSTIFICACIÓN

La evaluación económica de medicamentos y tecnologías sanitarias es una disciplina en auge en nuestros tiempos.<sup>23,24</sup> Los recursos sanitarios son limitados y debemos aprovecharlos del mejor modo posible, especialmente en los países de ingreso bajo como Nicaragua. Sin embargo, es obvio que para poder optimizar algo primero hay que conocerlo, haciendo un diagnóstico situacional. Lamentablemente en el sector salud los médicos conocemos muy poco acerca de los costos de la prestación de los servicios, por lo que se hace difícil controlarlos.

En el caso concreto de la Anestesiología en general, es un campo en desarrollo, y eso dificulta la formación o el desarrollo de programas prácticos y protocolos basados en recomendaciones basadas en evidencia donde se incluya el punto de vista de la farmacoeconomía. Por otro lado, a pesar las ventajas de la anestesia a flujos bajos su uso es limitado.<sup>5,6,8,11,12,19</sup>

Los beneficiarios de este estudio serán las autoridades de salud del HEODRA y el personal de anestesiología y sala de operaciones para seleccionar métodos de anestesia más económicos y amigables con el ambiente y de manera segura para los pacientes.

**PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

¿Cuál son los beneficios (reflejada en los cambios de pCO<sub>2</sub> y CAM) y el costo de la anestesia inhalatoria según el tipo de flujos en cirugías realizadas en el HEODRA, durante enero-diciembre del 2019?

**HIPÓTESIS**

**DE INVESTIGACIÓN O ALTERNATIVA:**

El beneficio y el costo de la anestesia inhalatoria a flujos bajos en cirugía es mejor a la de flujos medios en el HEODRA, durante enero-diciembre del 2019.

**NULA O DE NO DIFERENCIA:**

El beneficio y costo de la anestesia inhalatoria a flujos bajos en cirugía es igual a la de flujos medios en el HEODRA, durante enero diciembre 2019.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general:**

Evaluar el beneficio y costos de la anestesia inhalatoria a flujos bajos en pacientes sometidos a cirugía en el HEODRA, durante enero-diciembre del 2019.

### **Objetivos específicos:**

1. Describir las características generales de ambos grupos.
2. Analizar los parámetros gasométricos según el uso de flujos usado.
3. Comparar el consumo de anestésico
4. Estimar los costos entre ambos grupos de estudio.

### MARCO TEORICO

#### Historia de la anestesia de los flujos bajos

Desde hace aproximadamente 150 años, John Snow introdujo los sistemas de reinhalación para administrar gases anestésicos, utilizando hidróxido de potasio, como absorbedor del dióxido de carbono. Posteriormente, en 1924, Ralph Waters creó un sistema cerrado de “vaivén” (to and for), empleando la cal sodada para absorber el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).<sup>6</sup>

Brian Sword, en 1930, diseñó y puso en práctica el sistema circular cerrado tal como lo conocemos en la actualidad, con válvulas inspiratoria y espiratoria, absorbedor de CO<sub>2</sub> con cal sodada, las dos mangueras y la bolsa reservorio. Dicho sistema fue ideal para administrar en circuito cerrado el ciclopropano y el éter, por su potencia de explosión y flamabilidad, lo cual permitió que su empleo se difundiera ampliamente en el mundo de la anestesia. Las características fisicoquímicas de estos dos agentes facilitaron su uso clínico, ya que no requerían concentraciones exactas para lograr una anestesia segura.<sup>6</sup>

Con el advenimiento del primer anestésico halogenado (flutano), presentado clínicamente por Raventos en 1956, comenzaron a emplearse los sistemas de altos flujos por ser un anestésico no explosivo y de gran potencia. De esta forma, el empleo de la técnica circular de flujos bajos fue cayendo en desuso con el tiempo. Los flujos altos de gas fresco pasaron a ser la práctica común en muchos países a pesar de ser una técnica ineficiente, costosa y pese a que las modernas máquinas de anestesia y sistemas de monitorización son capaces de cumplir los requerimientos necesarios para administrar anestesia a flujos bajos en el sistema circular, puesto que es un método que proporciona una especial atención del paciente, seguridad, efectividad y eficiencia en función de los costos.<sup>6</sup>

### Clasificación de los sistemas ventilatorios

Los sistemas para administrar anestesia general se clasifican de acuerdo con varios criterios. A este respecto, diferentes autores han dado diversas clasificaciones y la mayoría describen cuatro sistemas, a saber:

1. Abierto.
2. Semiabierto.
3. Semicerrado.
4. Cerrado.

Moyers basó su clasificación en la presencia o ausencia de la bolsa reservorio y en la existencia de reinhalación. En un sistema abierto no hay reservorio ni reinhalación. El sistema semiabierto tiene reservorio y no existe reinhalación. En el sistema semicerrado hay reservorio y una reinhalación parcial, mientras que en el sistema cerrado existe reservorio y la reinhalación es completa.<sup>6</sup>

Collins, cuya clasificación se observa en el Tabla 1, define un **sistema abierto** como aquel en el cual un agente anestésico es llevado al tracto respiratorio por el aire atmosférico como agente diluyente, de modo que la vía respiratoria tiene acceso a la atmósfera durante la espiración y la inspiración, no existiendo reservorio ni reinhalación (ejemplo: éter en gota abierta). Un **sistema semiabierto** es aquel en el cual el tracto respiratorio está abierto a la atmósfera tanto en la espiración como en la inspiración, existiendo reservorio abierto a la atmósfera y técnicamente no existe reinhalación, siendo el aire atmosférico transportador o diluyente del agente anestésico. El **sistema semicerrado** lo define como aquel en el cual el sistema respiratorio del paciente está completamente cerrado en la inspiración y abierto a la atmósfera en la espiración, tiene la bolsa reservorio y si hay inhalación ésta es parcial. El sistema cerrado es aquel que no permite fugas de las mezclas anestésicas, no existiendo comunicación con la atmósfera, y la reinhalación es completa. Otros autores, basándose en la cantidad de gas fresco usado, clasifican el circuito circular como sistema de no reinhalación, sistema de reinhalación parcial o sistema de reinhalación total.

---

## Beneficios y costo de la anestesia inhalatoria a flujos bajos

---

Con cualquiera de estos sistemas, se debe estar seguro de que los gases frescos suministrados sean suficientes para satisfacer las necesidades del paciente en materia de oxígeno, de anestésico inhalado y la eliminación del CO<sub>2</sub>.<sup>6</sup>

Tabla 1      Sistemas ventilatorios

Sistema	Reservorio	Reinhalación	Comunicación a la atmosfera	
			Inspiración	Espiración
Abierto	No	No	Sí	Sí
Semiabierto	Sí	No	Sí	Sí
Semicerrado	Sí	No o parcial	No	Sí
Cerrado	Sí	Sí	No	No

Adaptado de: Collins VJ: Principles of anesthesiology. Philadelphia, Lea & Febiger, 1966.

### **Importancia de los flujos bajos y el circuito cerrado**

La técnica de los flujos bajos y circuito cerrado es hoy en día una necesidad para cuantificar mejor los anestésicos y proporcionar un mejor margen de seguridad, puesto que en su aplicación conocemos ampliamente la farmacocinética de los anestésicos inhalatorios. Las investigaciones y la experiencia continuas en anestesiología han determinado una serie de recomendaciones mediante las cuales “la ciencia mejorará el arte”.

Los anestesiólogos que utilizan los flujos bajo circuito cerrado lo hacen con un interés común de conocer, investigar y promocionar esta técnica, obteniendo como resultado final reducir el riesgo anestésico, aumentado el beneficio de suministrar una anestesia más segura y efectiva a los pacientes. Utilizando esta técnica, pensamos en términos de absorción y dosis total más que en una concentración de los anestésicos inhalados que entran al circuito ventilatorio. Este cambio en la forma de pensar es el principal obstáculo para efectuar la transición entre la anestesia con flujos altos a la de flujos bajos. Éstos permiten que el circuito cerrado actúe como un sistema amortiguador de los cambios graduales en la mezcla inspiratoria, puesto que el flujo es bajo con relación al volumen del circuito respiratorio.

Además de las consideraciones anteriores, obtenemos otros beneficios utilizando los flujos bajos de circuito cerrado, como son la disminución de la toxicidad producida por la inhalación crónica de los gases anestésicos en el personal que labora en salas de cirugía. Proporciona gases húmedos y calientes, disminuyendo la morbilidad posoperatoria de la vía aérea. Además, aumenta la economía en cada acto anestésico.

6

A pesar de estas ventajas, la anestesia de flujos bajos sigue siendo, en la actualidad, subutilizada porque existen creencias históricas de que puede asociarse esta técnica a hipoxia, a sobre o infra dosificación de gases anestésicos, a la hipercapnia y a la acumulación en el circuito respiratorio de productos de degradación potencialmente tóxicos. Sin embargo, con el uso de máquinas de anestesia, equipos de monitoreo actuales y con nuevos agentes anestésicos de baja solubilidad, dichas creencias se han disipado. Muchos anesthesiólogos que no fueron entrenados en la técnica de los flujos bajos de circuito cerrado se sienten menos cómodos y no han tenido la oportunidad de observar los beneficios de esta técnica.

Respecto a los nuevos agentes halogenados (Sevofluorano y desfluorano) cuyas características físico-químicas permiten que sean más adecuados para el uso con flujos bajos, se ha dirigido una importante atención hacia la seguridad, especialmente sobre las implicaciones clínicas de la degradación de los anestésicos por los absorbentes del dióxido de carbono. El desfluorano (al igual que el enfluorano y el isofluorano) es degradado a monóxido de carbono por la cal sodada seca y la cal de hidróxido de bario, con la consiguiente formación de carboxi hemoglobina. A pesar de ello, este hecho es relativamente infrecuente si evitamos usar cal sodada seca.

El Dr. Wissing, en su trabajo experimental, demostró que los anestésicos que más monóxido de carbono producen, en orden, son: el desfluorano, enfluorano e isofluorano y en menor proporción el sevofluorano y halotano. Además, demostró que después de la segunda hora de anestesia, la producción de monóxido de carbono se suspende a pesar de continuar con igual flujo de gas anestésico; la concentración en el circuito respiratorio baja a cero o cerca de cero en todos los casos.

---

## Beneficios y costo de la anestesia inhalatoria a flujos bajos

---

Esto implica que alguna sustancia o algo que se requiere para que continúe la reacción comienza a agotarse; por esto existe una inconsistencia entre los hallazgos de laboratorio y la experiencia clínica.<sup>6</sup>

El sevoflurano se degrada por acción de la cal sodada y el hidróxido de bario, a compuesto A (un haloalqueno). Las concentraciones elevadas de este compuesto A provocan nefrotoxicidad a nivel de túbulos proximales en ratas. Hasta este momento, después de haber revisado un material bibliográfico relativamente amplio, no se ha demostrado en forma real la nefrotoxicidad en humanos, por lo cual justificamos el empleo de sevoflurano con flujos bajos, incluso en circuito cerrado. Se han tenido en cuenta cuatro factores importantes que favorecen la formación del compuesto A en el absorbedor del dióxido de carbono:

Que la temperatura en el canister con la cal sodada esté por encima de los 50° C. En nuestra larga experiencia (20 años) usando circuito cerrado, la temperatura máxima que hemos observado ha sido de 45 a 47 °C después de 12 a 16 h de usar anestésicos halogenados.

A mayor cantidad de sevoflurano que se vaporice, aumenta la posibilidad de la formación de compuesto A. Cuando se usa la técnica de flujos altos (de 2 a 4L/min), el paciente capta (en la primera hora) aproximadamente 20% del vapor anestésico que sale del vaporizador y 80% se pierde (al medio ambiente). Usando los flujos bajos y circuitos cerrados, vaporizamos 80% menos de sevoflurano.

La cal sodada “seca” favorece la formación del compuesto A. Empleando los flujos bajos y circuito cerrado, la humedad en el canister va aumentando con el tiempo.

Hay más posibilidad de formación de compuesto A en la misma proporción que aumenta el tiempo quirúrgico. Cuando decidimos usar sevoflurano con flujos bajos circuito cerrado lo hacemos en cirugías no mayores de 3 a 4 h. Si la cirugía se prolonga después de este tiempo, abrimos el circuito respiratorio cada 2 h.<sup>6</sup>

En cuanto a la posible hipoxemia que se pueda presentar en el sistema cerrado o semicerrado, esto puede suceder si usamos óxido nitroso, si los flujómetros de la máquina de anestesia están mal calibrados, o si accidentalmente se aumenta el flujo de óxido nitroso. Estas situaciones se previenen empleando en el circuito un analizador de oxígeno confiable o utilizando únicamente el oxígeno en la técnica anestésica. Por consiguiente, es obligatorio mantener un analizador de oxígeno cuando usamos óxido nitroso en circuito cerrado.

Por otra parte, hoy en día es discutible el uso del óxido nitroso en anestesia por los numerosos efectos tóxicos de este gas. Aunque se ha empleado desde hace 150 años, no es esencial para producir en la actualidad ni analgesia ni mucho menos anestesia. Desde hace una década se han venido evidenciando riesgos clínicos y posibles efectos secundarios indeseables. En nuestra práctica diaria (Parra, 2004), desde hace 20 años hemos usado flujos bajos, prescindiendo del óxido nitroso, máxime cuando, en nuestro concepto, no “cabe” en el sistema cerrado; no es necesario utilizando agentes anestésicos con las cualidades de los halogenados y siendo fácilmente reemplazables por otros fármacos, como los opioides, con menos efectos secundarios.<sup>6</sup>

Usando el oxígeno como único flujo de gas fresco, estamos seguros de administrar una concentración inspiratoria alta, la cual depende de la desnitrogenación previa, y de otros gases que se puedan acumular en el circuito cerrado a través del tiempo, como el metano, monóxido de carbono, acetona, etanol y vapor de agua.<sup>6</sup>

Respecto al monóxido de carbono, el índice tóxico se define como el producto de la concentración del mismo en el suero y el tiempo que el paciente está expuesto a dicha concentración. Se ha establecido que las diversas concentraciones hasta de 900 partes por millón no presentan un índice tóxico. Middlenton y colaboradores, en el estudio de concentración de monóxido de carbono durante la anestesia en circuito cerrado, encontraron que las concentraciones más altas en este sistema fluctúan entre 300 a 600 partes por millón.<sup>6</sup>

### Clasificación de los flujos en anestesia

Algunos autores clasifican los flujos bajos teniendo en cuenta el grado de reinhalación y por esto hablaremos de flujos que permiten una reinhalación completa, parcial o sin reinhalación. Otros autores utilizan el óxido nitroso a diferentes flujos. Aldrete define los flujos bajos como la administración de mezclas gaseosas, desde el límite inmediatamente inferior de la ventilación alveolar por minuto, hasta el flujo requerido solamente para suplir el consumo básico de oxígeno y la absorción del agente anestésico. Portela-Ortiz, et al. (2015) proponen una clasificación de los flujos en anestesia usando sólo oxígeno, similar a lo reportado por Aldrete (Parra, 2004) se presenta en el la Tabla 2.<sup>6,7</sup>

Tabla 2 Clasificación de los flujos en anestesia

<b>Flujos</b>	<b>Rangos</b>
Flujo metabólico	< 250 mL/min
Flujo mínimo	250 a 500 mL/min
Flujos bajos	500 a 1,000 mL/min
Flujos medios	1 a 2 L/min
Flujos altos	2 a 4 L/min
Flujos muy altos	> 4 L

Los flujos metabólicos nos permiten usar de manera satisfactoria los vaporizadores termo–baro–compensados y al no usar óxido nitroso, minimizamos la posibilidad de hipoxia. Cuando utilizamos un monitor de gases en el circuito respiratorio, éstos aspiran continuamente una muestra de gas para analizarlo, entre 150 a 200 mL/min, y por consiguiente se debe tener en cuenta esta pérdida de gas en el circuito. Si utilizamos flujos de gas fresco por encima de este valor, el gas que sale del monitor puede desprenderse. En cambio, si utilizamos flujos metabólicos, la muestra que toma el monitor es de valor significativo, por lo que deberá devolverse al circuito después de ser analizada por el monitor. Durante la administración de una anestesia en circuito cerrado, disponemos de importantes parámetros fisiológicos, cardiorrespiratorios, sin técnicas invasivas. Dichos parámetros son:

- a. Consumo de oxígeno por minuto,
- b. producción de CO<sub>2</sub> por minuto,
- c. ventilación alveolar y ventilación total por minuto,
- d. gasto cardiaco;
- e. consumo basal de líquidos;
- f. captación del agente anestésico.

El volumen total de ventilación en el sistema cerrado lo componen el flujo de gas de la máquina, la capacidad residual funcional de cada paciente y la capacidad del circuito. El volumen total y la entrada de gases deben permanecer constantes, y la entrada de gases frescos debe ser proporcional al volumen captado por el organismo.<sup>7</sup>

### Ventajas del uso de flujos bajos y circuito cerrado

Además de ser una técnica segura para el paciente, proporcionándole al anesthesiólogo nuevos parámetros para el control clínico de la anestesia, se deben tener en cuenta las siguientes ventajas:

- a. **Conservación del calor y la humedad:** Los gases anestésicos comprimidos son fríos y secos; utilizar flujos bajos ayuda a conservar la humedad y la temperatura.
- b. **Disminución de la contaminación ambiental:** Disminuye la contaminación anestésica en las salas de cirugía; es evidente, como lo han demostrado estudios serios, que la inhalación crónica de gases anestésicos produce en el personal que labora en las salas de cirugía efectos tóxicos (carcinogénicos, teratogénico, daño celular, etc.).
- c. Actualmente, los anestésicos volátiles en uso son compuestos halogenados con el potencial de destruir la capa de ozono; el efecto de un anestésico volátil en la depleción de la capa de ozono depende de su peso molecular, el número y tipo de átomos halogenados y su vida atmosférica (el tiempo en remover 63% del gas emitido). La evidencia actual es insuficiente para determinar si la contribución del anestésico es significativo en el cambio de clima global; sin embargo, el reducir el flujo de gas fresco tiene un potencial efecto benéfico en la calidad de aire en el área de trabajo.

- d. **Aspectos económicos:** Se ha demostrado que utilizar flujos bajos ayuda a disminuir los gastos en la anestesia. También que el consumo de sevoflurano se ve aumentado más del doble cada vez que se aumenta al doble el flujo bajo. Así mismo se ha demostrado que se puede aumentar el número de horas de anestesia por botella de sevoflurano hasta en un 73.7% (17.4 horas por botella). El uso de anestésicos volátiles puede ser reducido hasta en un 80 al 90% si se generaliza el uso de circuitos cerrados y si se usan rutinariamente los flujos bajos.<sup>6,7</sup>

Debido a que se utilizan flujos de gas fresco bajos, se incrementa la cantidad de reinhalación, lo que aumenta a su vez la cantidad de absorbentes de dióxido de carbono, el cual también tiene un impacto ambiental; sin embargo, es improbable que supere el impacto de los anestésicos inhalados. La reducción de costos que ofrece el uso del circuito cerrado debe ser considerada para:

- Lograr que los colegas anesthesiólogos evalúen la importancia de la farmacocinética de los agentes anestésicos empleando flujos bajos en circuito cerrado.
- Cambiar el concepto de porcentajes en la administración de los anestésicos por “cantidad” de vapor anestésico que se entrega minuto a minuto al circuito respiratorio.
- Proporcionar seguridad y confianza en las técnicas anestésicas, ya sea con dosis administradas al circuito respiratorio o en las técnicas de flujos bajos y circuitos cerrados con vaporizadores termocompensados.<sup>6,7</sup>

### **Aspectos teóricos y bases fisiológicas**

Para el manejo de un flujo fresco de gas se requiere, entre otros factores, de una comprensión de los sistemas de circuito, el consumo de oxígeno, la absorción y distribución de los anestésicos:<sup>6</sup>

- **Consumo de oxígeno.** El consumo de oxígeno del gas inspirado se relaciona con los requerimientos fisiológicos, los cuales son dependientes del tamaño del cuerpo y las necesidades metabólicas. Puede ser estimado por la fórmula:

$$VO_2 = FiO_2 - F_{exp} O_2 (\%) \times MV (L) \times 10.$$

Donde,  $FiO_2$  es la fracción inspirada de oxígeno,  $F_{exp} O_2$  la fracción expirada de oxígeno y MV es la ventilación por minuto.

Si consideramos que el consumo de oxígeno durante la anestesia en circunstancias fisiológicas normales es de 2 a 3 mL/kg/min, el flujo de gas puede ser disminuido con seguridad hasta 250 a 500 mL en adultos con peso menor a 100 kg.

Se utiliza el valor de 5 mL/kg/min como un aproximado, ya que esta regla sobrestimaré el consumo de oxígeno y permitirá crear un margen de seguridad al momento de satisfacer las necesidades.

- **Sistemas de circuitos.**

- ✓ **Circuito abierto:** ocurre cuando el flujo de gas fresco es lo suficientemente alto para que no haya reinhalación; la concentración del gas inspirado será equivalente a las concentraciones en el flujo fresco de gas.
- ✓ **Circuito cerrado:** únicamente el suficiente gas fresco es suministrado para reemplazar el que consume el paciente. Todo el gas inhalado es reinhalado y ninguno de los gases ingresa al sistema de desecho. Las concentraciones de gases en el circuito cambian muy lentamente a no ser que se utilicen el rango amplio de valores que tiene el vaporizador. Por ejemplo, en el de desflurano, valores de 0-18%.
- ✓ **Absorción y distribución de los anestésicos inhalados.** Seis factores principales influyen en la absorción y distribución de los anestésicos inhalados: la presión parcial del gradiente del anestésico a través de la membrana alveolar, la ventilación alveolar, el coeficiente de solubilidad sangre-gas del anestésico inhalado, el gasto cardíaco, la absorción de los anestésicos inhalados en los diferentes compartimentos del cuerpo y la solubilidad de los fármacos en el sistema nervioso central.

**Son requerimientos básicos al utilizar flujos bajos:** el equipo de monitoreo que mide las concentraciones de gas inspirado y espirado, la medición continua de la saturación de oxígeno, la medición de la ventilación por medición del dióxido de carbono al final de la espiración, así como un absorbente de CO<sub>2</sub>.

### **Aspectos farmacológicos de los anestésicos inhalados**

El conocimiento de las características farmacocinéticas de los anestésicos en el contexto de los flujos bajos es esencial para su aplicación clínica segura y efectiva (Tabla 2). Es necesario el conocimiento de la cinética de la administración de los fármacos, la concentración del gas como la fracción de concentración del gas (Fd), la concentración inspirada del anestésico (Fiaa), la concentración alveolar determinada por la concentración del anestésico al final de la espiración (Etaa) así como su absorción y su distribución.<sup>6</sup>

Tabla 2 Variables de importancia en la farmacocinética de los flujos bajos.

Concentración del dial, concentración en el vaporizador	Fd
Concentración del agente anestésico inspirado	Fiaa
Concentración del agente anestésico al final de la espiración	Etaa
Concentración alveolar del agente anestésico	FA
Concentración del agente anestésico en el sitio de efecto	Ce

### **Manejo de los flujos durante la inducción**

Durante el proceso de inducción, el volumen interno de la máquina de anestesia, el circuito y la capacidad funcional del paciente deben ser llenados con las concentraciones deseadas del anestésico. Según el circuito utilizado, el volumen interno total típicamente excede los 5L. Así, durante la inducción podemos escoger entre dos manejos:

## **Beneficios y costo de la anestesia inhalatoria a flujos bajos**

---

- ✓ En el primer manejo, el flujo de gas debe exceder la ventilación minuto para eliminar la reinhalación, ya que ésta reduciría la concentración inspirada y por tanto haría más lento el proceso de inducción. Sin embargo, no hay beneficio al aumentar el flujo fresco más allá de la cantidad necesaria para eliminar la reinhalación.
- ✓ En el segundo manejo, se podría aumentar la concentración en el vaporizador (18 vol.% para el desflurano y 8 vol.% para el sevoflurano) y utilizar flujos bajos (eje: 0.7 L/min) con una mezcla, que incluya o no al óxido nitroso, para la conducción de los mismos.<sup>6</sup>

Lo anterior lleva a la práctica común de cerrar el vaporizador cuando la mascarilla facial se retira para proceder a la intubación del paciente, provocando así que los gases anestésicos que se han acumulado en el circuito anestésico sean empujados al ambiente contaminándolo al iniciar el flujo fresco. Para reducir esto se recomienda cerrar el flujo fresco de gas durante la intubación y dejar el vaporizador abierto, ya que ante la ausencia de flujo fresco ninguno de los anestésicos es lavados hacia el ambiente y los gases que se encuentran en el circuito son preservados. Existe el concepto de «sobrepresión» que indica un aumento súbito en el dial del vaporizador hasta llegar al CAM deseado logrando así concentraciones inspiradas y expiradas equilibradas.<sup>6</sup>

Si consideramos que la absorción del anestésico por parte de los pulmones continúa, cuando se reduce el flujo aumenta la posibilidad de reinhalación y de que la concentración del gas disminuya, por lo cual es muy importante observar el analizador de gases anestésicos en línea y asociarlos con los datos clínicos de profundidad anestésica mostrados por el paciente. Si el valor anestésico exhalado es más bajo que el necesario para mantener la concentración anestésica deseada, un incremento en el flujo fresco de gas y/o un aumento en la concentración del vaporizador restaurará la concentración deseada del anestésico.<sup>6</sup>

El nitrógeno constituye una parte importante del aire ambiente y de las vías aéreas y por lo tanto debe de ser considerado en la anestesia con flujos bajos. Un adulto de 70 kg tiene aproximadamente 2.7 L de gas nitrogenado (1.6 L en la capacidad residual funcional y 1.1 L disueltos en los compartimentos de agua y grasa en el cuerpo). Después de la desnitrógenización < 1 L permanece en el cuerpo y es lentamente exhalado, por lo tanto, podemos encontrar una concentración de nitrógeno de hasta 18% en un circuito cerrado.<sup>6</sup>

El nitrógeno, el metano y la acetona se acumulan en cantidades pequeñas durante el procedimiento anestésico; sin embargo, mientras se mantengan las concentraciones de oxígeno de manera adecuada, éstas no deben de ser de importancia. Al momento de utilizar flujos bajos, es importante tomar en cuenta las fugas en el circuito. Si se está utilizando un analizador de gas para tomar muestras de gas del circuito, el volumen removido (aproximadamente 200 mL) debe de ser reemplazado por flujo fresco de gas.<sup>6</sup>

### **Manejo de los flujos durante el mantenimiento**

La fase del mantenimiento de la anestesia es el mejor momento para reducir los flujos frescos de gas debido a que comúnmente es la fase más larga del procedimiento y a que la concentración del gas anestésico es relativamente estable. Durante ésta, se debe buscar mantener una concentración del agente anestésico al final de la espiración a un CAM de 0.8 o más para evitar el despertar transoperatorio (Tabla 3).

El objetivo se traduciría en incrementar la Et<sub>aa</sub> a intervalos de 0.3 CAM.hhh

### **Manejo de los flujos durante la emersión**

Durante la emersión el objetivo principal consiste en remover los gases anestésicos inhalados del paciente; los sistemas actuales hacen imposible evitar la contaminación ambiental; sin embargo, la forma en que se manejan los flujos puede reducir el impacto ambiental.

### Uso de desflurano con flujos bajos

El desflurano presenta la solubilidad gas/sangre más baja (0.42), lo cual permite que la concentración alveolar del anestésico permanezca lo más cercano a la concentración inspirada, permitiendo así un cambio rápido y grande, con un control preciso, en la profundidad anestésica y en la emersión temprana.

El tiempo de equilibrio  $Ke_0$  refleja el coeficiente de partición sangre-gas y sangre-cerebro, el cual depende de la solubilidad; un alto  $Ke_0$  indica un equilibrio más rápido del vaporizador al  $C_{eff}$ . El desflurano presenta valores más altos de  $ke_0$  que del sevoflurano o isoflurano. Esto significa que un incremento o decremento en el  $E_{taa}$  usando desflurano resulta en cambios más rápidos en la profundidad de la anestesia.

El riesgo elevado de producir elevaciones de monóxido de carbono con el uso de desflurano se debe a una deshidratación del absorbente o a la presencia de absorbentes con niveles altos de álcalis fuertes. Actualmente la mayoría de los absorbentes modernos carecen de esta formulación.

En la población obesa se ha demostrado una emersión más rápida y predecible con un lavado más rápido en comparación con sevoflurano.<sup>6</sup>

Tabla 3 Ajustando la concentración en el sitio-efecto en la profundidad anestésica.

• Bolos o “sobrepresión”: ráfagas de incremento del flujo de gas fresco y concentración del dial de 2 a 3 CAM (ejemplo 30 segundos)
• Incrementar $F_{i,a}$
• Incrementar la velocidad en el $E_{taa}$
• Incrementar la velocidad para elevar la concentración del sitio-efecto
• Incrementar la profundidad anestésica

## **DISEÑO METODOLOGICO**

**Tipo de estudio:** Es un ensayo clínico aleatorio, ciego simple que incorpora una evaluación económica o *piggy-back clinical trials*.<sup>1,24</sup>

**Área de estudio:** departamento de Anestesiología del HEODRA, León.

**Población:** Todos los (las) pacientes sometidos a cirugía bajo anestesia general durante enero a diciembre de 2019.

**Tamaño de la muestra y muestreo:**

Se usó el software Epilnfo (Statcalc), basado en un nivel de significancia de 95%; un poder de 80%; un ahorro de 40% en el consumo de sevoflurano en el grupo de intervención o de flujos bajos (basado en las estimaciones reportadas por Ryu et al.)<sup>19</sup> y de 64% en el grupo control; y una relación de 1:1. La muestra resultante fue de 75 pacientes en cada grupo. El método de muestreo fue aleatorio, a través del método de lotería. Los pacientes se dividieron en 2 grupos:

- **Grupo de intervención A (n = 75):** pacientes sometidos a anestesia inhalatoria con flujos bajos utilizando sevoflurano.
- **Grupo control B (n = 75):** pacientes sometidos a anestesia inhalatoria con flujos medios utilizando sevoflurano.

**Criterios de Inclusión:**

1. Pacientes sometidos a cirugía convencional electiva.
2. Pacientes entre 14-80 años de edad y de ambos sexos.
3. Aceptar participar al estudio, previo consentimiento informado escrito.
4. ASA I - II.
5. Duración de la cirugía menor a 4 horas.

### **Criterios de Exclusión:**

1. Pacientes que no cumplieron con los anteriores criterios de inclusión.
2. Pacientes con dificultad para comunicarse por cualquier causa.
3. Rechazo a participar en el estudio.
4. Pacientes con patología respiratoria
5. Pacientes con ERC

### **Técnica y Procedimientos:**

A cada paciente que cumplió con los criterios de inclusión, se le explicaron los objetivos del estudio, el margen de seguridad de los protocolos terapéuticos a utilizar, sus ventajas y desventajas. Se aclaró la voluntariedad de la participación y la utilización que se le dará a los resultados. Posteriormente, se le solicitó su consentimiento informado firmado. La selección de los pacientes para grupo fue aleatoria por el método de lotería.

El paciente no tuvo conocimiento del tipo de flujo a que fue sometido (bajo o medio), solamente el autor lo sabía, dado el diseño del estudio.

Se dividieron los pacientes en dos grupos, un grupo de flujos bajos (1 litro por minuto) y otro grupo de flujos medios (2 litros por minuto).

En ambos grupos se monitorizaron hemodinámicamente y se preoxigenó y posteriormente se premedicaron con metoclopramida 0.1mg/kg, posteriormente se realizó la inducción con fentanil 5mcg/kg, pancuronio 0.08 mg/kg, y Propofol 2mg/kg. Se procedió a intubar y luego se configuró la máquina de anestesia según el tipo de flujo (grupo de flujo bajo a 1litro; y grupo de flujo medio a 2litrosa), se inició sevoflurane a 2% a 3% en ambos grupos y se monitorizó P/A, FC, SO<sub>2</sub>, PCO<sub>2</sub>, CAM, PAM durante el transquirúrgico. Al aproximarse el término quirúrgico se tomó una gasometría y se procesó, posteriormente se sacó del plano anestésico y se cerró sevoflurane a cero y se esperó inicio del tono ventilatorio y se extubó según criterios de extubación.

---

## Beneficios y costo de la anestesia inhalatoria a flujos bajos

---

Con los resultados gasométricos se analizó cada uno de los grupos y se obtuvo el consumo de sevoflurane con la fórmula de sevoflurane (sevoflurane consumido = concentración anestésica % x FGF (L/ min) x 3 el resultado se multiplicó por 15 que es el aproximado del costo de un ml de sevoflurane en el mercado en córdobas.

La fuente de información fue primaria y secundaria, a través del expediente clínico. Se elaboró una ficha para recolección de datos, la cual contenía las variables en estudio y los parámetros o indicadores bajo los que se compararon ambos grupos en el ensayo clínico.

### Análisis

Los datos fueron introducidos, procesados y analizados en el software usado fue SPSS versión 22.0. El Grupo 1 se comparó con el Grupo 2 en relación a las variables generales y los parámetros gasométricos o indicadores de costo. Para determinar los costos se usó la metodología de costeo por manejo de caso promedio, tomando como referencia la División del Costos Hospitalario del agente inhalatorio. La fórmula utilizada para estimar el consumo de sevoflurano fue la siguiente:<sup>25</sup>

Consumo de sevoflurano (ml) = concentración anestésica % x FGF (L/ min) x 3

Costo de sevoflurano: 15 córdobas por cada ml. (Estimados del hospital bajo estudio).

Para establecer las diferencias significativas se usaron pruebas paramétricas como t de Student y no paramétricas como chi cuadrado (ajustado y no ajustado) o la prueba exacta de Fisher.

### **Variable Dependiente:**

1. Eficacia (basada en los niveles gasométricos), y
2. Costos (basado en el volumen del consumo de los agentes inhalatorios).

### **Variables Independientes:**

1. Edad.
2. Sexo.
3. ASA.
4. Antecedentes patológicos
5. Duración de la anestesia
6. Alteraciones gasométricas
7. Alteraciones hemodinámicas
8. CAM
9. Tipo de flujo.

### **Aspectos éticos**

Se contó con la autorización de la dirección del HEODRA y con el consentimiento informado escrito de los/las pacientes, así como de la aprobación del Comité de Ética de la Universidad. Se garantizó el anonimato de los pacientes y la confidencialidad de la información. El único identificador fue el número de los expedientes clínicos para corregir errores o para valorar la veracidad o calidad de la información. La información obtenida tuvo como propósitos contribuir a mejorar la calidad de servicio de anestesiología brindado a los pacientes sometidos a cirugía en el HEODRA, así como identificar el método de anestesia más económicos y amigables con el ambiente.

**Operacionalización de las variables**

<b>Variable</b>	<b>Concepto</b>	<b>Valor/Escala</b>
Edad	Tiempo transcurrido en años cumplidos, desde el nacimiento hasta el momento del estudio.	≤14 20-44 45-64 ≥65
Sexo	Características fenotípicas que diferencian al macho de la hembra.	Masculino Femenino
Antecedentes patológicos	Comorbilidad crónica que presenta el paciente.	Si No
Estado físico del paciente	Se clasificó según la American Society Anesthesiologists (ASA): I, sano; II, con enfermedad sistémica leve, controlada y no incapacitante.	I II
Grupo	Clasificación de pacientes según el tipo de flujo anestésico utilizado. El grupo experimental fue el de flujo bajo y el control el de flujo alto.	Experimental Control
Cirugía	Tipo de procedimiento quirúrgico realizado a los pacientes.	Se especificará
Duración de la anestesia	Número de minutos que tuvo el paciente bajo anestesia.	Se especificará

## Beneficios y costo de la anestesia inhalatoria a flujos bajos

---

Variable	Concepto	Valor/Escala
Nivel de pH:	Alcalosis en gasometría son niveles de pH por arriba de 7.45; y acidosis en gasometría son niveles de pH por abajo de 7.35. Valores normales 7.35-7.45.	Alcalosis Normal Acidosis
Nivel de bicarbonato (HCO <sub>3</sub> ):	Tendencia a alcalosis en gasometría son niveles de bicarbonato HCO <sub>3</sub> por arriba de 26; tendencia a la acidosis en gasometría son niveles de bicarbonato HCO <sub>3</sub> por abajo de 22. Valores normales entre 22-26.	Tendencia a la alcalosis Normal Tendencia a la acidosis
Nivel de PCO <sub>2</sub> :	Hipercapnia en gasometría son niveles de pco2 por arriba de 45: hipocapnia en gasometría son niveles de pco2 por debajo de 35. Valores normales 35-45.	Hipocapnia Normal Hipercapnia
Nivel de lactato:	El lactato en gasometría nos demuestra la perfusión tisular la cual cuando se encuentra por arriba de 2.5 nos demuestra una disminución de la perfusión tisular.	≤2.5 >2.5

## Beneficios y costo de la anestesia inhalatoria a flujos bajos

---

<b>Variable</b>	<b>Concepto</b>	<b>Valor/Escala</b>
Concentración alveolar mínima (CAM)	Concentración alveolar mínima anestésica de 1 atmósfera que se requiere para abolir el movimiento en el 50% de los pacientes o en animales en respuesta ante la incisión quirúrgica.	2% a 3%
Consumo de anestésico	Medición del consumo de anestésicos en mililitros.	Se especificará.
Costo del anestésico	Costo total en córdobas del volumen anestésico consumido tomando como referencia las estadísticas de consumo hospitalarias.	sevoflurano 250 cc: vale 3792 córdobas
Eficacia de la intervención	Estuvo basada en los cambios gasométricos.	Si No

**RESULTADOS**

Durante enero a diciembre del 2019 se estudiaron a 75 pacientes para el grupo de intervención (flujo bajo) y para el grupo control (flujo medio), respectivamente. La mayoría de pacientes sometidos a cirugía tenían entre 20-44 años (48.7%), sexo femenino (78%), con antecedentes patológicos personales (51.3%), sin medicación habitual (76.7%) y ASA II (53.3%). El predominio de estas características generales fue similar entre ambos grupos de comparación. Las diferencias no fueron estadísticamente significativas (Tabla 1).

Tabla 1 Características generales (%) \* de pacientes quirúrgicos sometidos a anestesia inhalatoria, HEODRA, 2019.

Características generales	Flujo bajo (n=75)		Flujo medio (n=75)		Total (n=150)		Valor P
	No.	%	No.	%	No.	%	
<b>Edad (años):</b>							
≤19	4	5.3	11	14.7	15	10.0	0.174
20-44	37	49.3	36	48.0	73	48.7	
45-64	24	32.0	23	30.7	47	31.3	
≥65	10	13.3	5	6.7	15	10.1	
<b>Sexo:</b>							
Masculino	19	25.3	14	18.7	33	22.0	0.324
Femenino	56	74.7	61	81.3	117	78.0	
<b>Antecedentes patológicos:</b>							
Si							0.412
No	35	46.7	42	56	77	51.3	
	40	53.3	33	44	73	48.7	
<b>Medicamento habitual:</b>							
Si	15	20.0	20	26.7	35	23.3	0.334
No	60	80.0	55	73.3	115	76.7	
<b>ASA:</b>							
I	33	44.0	37	49.3	70	46.7	0.513
II	42	56.0	38	50.7	80	53.3	

\*Porcentaje calculado en base al total de columna.

## Beneficios y costo de la anestesia inhalatoria a flujos bajos

Las principales cirugías realizadas durante el período de estudio fueron colecistectomías, histerectomías, tiroidectomías, laparotomía abdominal exploratoria (LAE), apendicectomías, cirugías urológicas, herniorrafias, cirugías ortopédicas y máxilo faciales, respectivamente (Fig. 1). En la Fig. 2 se presenta la distribución en cada grupo de flujo, observándose que el porcentaje de colecistectomía, tiroidectomía, LAE y cirugías máxilo faciales y otras cirugías fue más frecuente en pacientes con flujo medio, mientras que la frecuencia de histerectomía, apendicectomía, herniorrafias y cirugías urológicas fue mayor en pacientes con flujo bajo.

Figura 1: Principales cirugías realizadas HEODRA 2019.

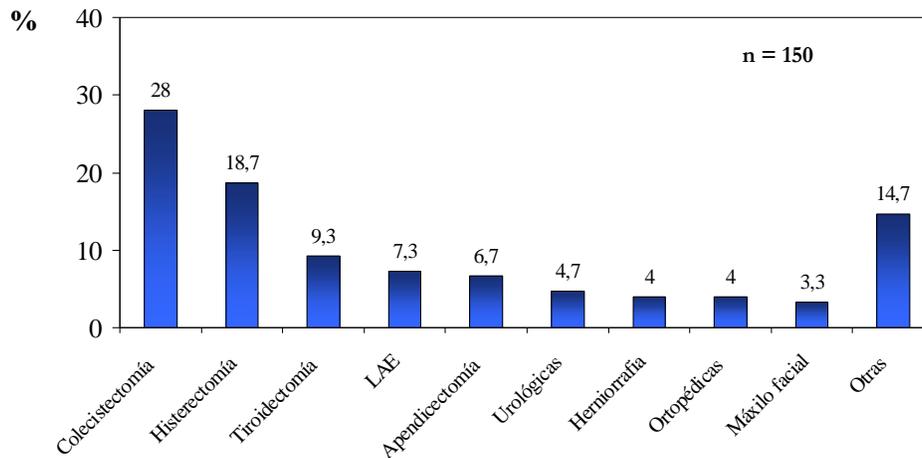
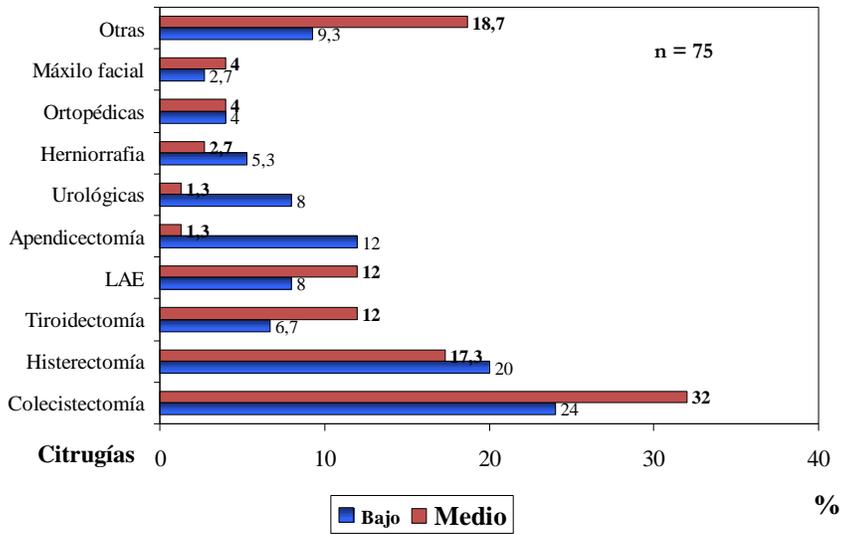


Figura 2: principales cirugías realizadas según el tipo de flujos

## Beneficios y costo de la anestesia inhalatoria a flujos bajos



En la Tabla 2 se presentan los principales indicadores gasométricos según el tipo de flujos usado. La presencia de acidosis fue mayor en el grupo de flujo medio (20.0% vs. 10.7%). En ambos grupos no se observó tendencia a la alcalosis metabólica, pero la tendencia a la acidosis metabólica fue similar en ambos grupos (14.7% vs. 14.5). Por otro lado, la presencia de hipocapnia (<35) fue mayor en el grupo de flujo medio (8.8% vs. 5.3%), similarmente la presencia de hipercapnia fue mayor en pacientes con flujo medio (13.2% vs. 9.3%). Se observó disminución de perfusión tisular basados en el nivel de lactato (>2.5), pero fue mayor en el grupo control o de flujo medio (5.3% vs. 2.7%). No obstante, las diferencias gasométricas no fueron estadísticamente significativas (valor P = 0.024) y en el nivel de PCO<sub>2</sub> (valor P > 0.05).

## Beneficios y costo de la anestesia inhalatoria a flujos bajos

Tabla 2 Comparación de los indicadores gasométricos intraoperatoria según tipo flujo anestésico, HEODRA, 2019.

Gasometrías	Flujo bajo (n=75)	Flujo medio (n=75)	Valor P
<b>Nivel de Ph:</b>			
Ph < 7.45 (Acidosis)	10.7	20.0	0.269
Ph < 7.45 (Normal)	85.3	77.3	
Ph > 7.45 (Alcalosis)	4.0	2.7	
<b>Nivel de bicarbonato (HCO<sub>3</sub>):</b>			
<22 (Acidosis metabólica)	0.0	0.0	0.976
18-24 (Normal)	85.3	85.3	
≥ 24 (Alcalosis metabólica))	14.7	14.5	
<b>Nivel de PCO<sub>2</sub>:</b>			
<35 (Hipocapnia)	5.3	8.8	0.510
35-45 (Normal)	85.3	77.9	
>45 (Hiper-capnia)	9.3	13.2	
<b>Nivel de lactato:</b>			
≤2.5	97.3	94.7	0.681
>2.5	2.7	5.3	

En la Tabla 3 se observa que las diferencias observadas entre ambos grupos en términos de CAM del anestésico no fueron estadísticamente significativas.

Tabla 3 Comparación de la CAM del anestésico inhalatorio según tipo flujo anestésico, HEODRA, 2019.

CAM	Flujo bajo (n=75)	Flujo medio (n=75)	Valor P
Media ± Desviación estándar	2.89 ± 0.236	2.88 ± 0.282	0.755
Mediana (Valores extremos)	3.0 (2.0, 3.0)	3.0 (2.0, 3.0)	

## Beneficios y costo de la anestesia inhalatoria a flujos bajos

Al analizar las variables numéricas se observó que la media de edad en el grupo de flujo bajo y medio fue de  $43.5 \pm 16.4$  años y  $40.5 \pm 14.9$  años, respectivamente, dichas diferencias no fueron estadísticamente significativas (valor  $P=0.247$ ). La media de la duración de la anestesia fue mayor en el grupo de flujo medio que en el de flujo bajo (149.8 vs. 122.0) y las diferencias fueron estadísticamente significativas (valor  $P=0.001$ ). Por otro lado, la media del volumen de consumo de anestésicos y su costo en el grupo control fue más del doble al observado en el grupo de intervención o de flujo bajo. Las diferencias observadas fueron estadísticamente significativas (valor  $P=0.000$ ) (Tabla 4).

Tabla 4 Características descriptivas numéricas de pacientes sometidos a anestesia inhalatoria según tipo flujo anestésico, HEODRA, 2019.

Características generales	Flujo bajo (n=75)	Flujo medio (n=75)	Valor P
<b>Edad (años):</b>			
Media $\pm$ Desviación estándar	$43.5 \pm 16.4$	$40.5 \pm 14.9$	0.247
<b>Duración de la anestesia (minutos):</b>			
Media $\pm$ Desviación estándar	$122.0 \pm 50.47$	$149.8 \pm 52.49$	0.001
<b>Consumo de anestésicos (ml.):</b>			
Media $\pm$ Desviación estándar	$19.19 \pm 12.85$	$43.49 \pm 18.9$	0.000
<b>Costo de anestésicos (córdobas):</b>			
Media $\pm$ Desviación estándar	$268.8 \pm 114.7$	$640.6 \pm 252.4$	0.000

### DISCUSIÓN

La muestra de este estudio fue mayor (cinco veces) a la realizada por otro estudio similar en el Hospital Alemán Nicaragüense, Managua, durante el 2017.<sup>18</sup> En ambos grupos se administró sevoflurano debido a que es el anestésico inhalatorio más utilizados y también porque es una forma de estandarizar la comparación entre los tipos de flujo y tener un panorama real y adecuado del problema.

Las principales cirugías realizadas fueron colecistectomías, histerectomías y apendicectomías. Similar a lo reportado por Olivas en el Hospital Alemán Nicaragüense.<sup>18</sup> Esto revela que dichos procedimientos son muy comunes en Nicaragua y que se asocia con la similitud en la duración de los procedimientos quirúrgicos y de la anestesia.

Debido a que el objetivo del estudio incluye el beneficio y el costo asociado al tipo de técnicas de flujos bajos y medios. En el primer aspecto se quiere demostrar la seguridad o ausencia de riesgos y en el segundo el ahorro que representara para el hospital bajo estudio la aplicación de estas técnicas. Los parámetros para garantizar la calidad y seguridad de la anestesia fueron los cambios gasométricos adversos como ph o alteraciones en el bicarbonato o la presencia de hipercapnia intraoperatoria y la concentración alveolar mínima (CAM) durante toda la cirugía. En ambos grupos no se reportó tendencia a la alcalosis metabólica y la proporción de tendencia a la acidosis metabólica en el HEODRA fue muy similar entre los grupos control y el grupo de intervención o de flujos bajos. Sin embargo, la frecuencia de las principales alteraciones gasométricas como acidosis e hipocapnia fue mucho mayor en pacientes del grupo de flujos medios. Además, la disminución de la perfusión tisular fue mayor en el grupo de flujos bajos. En ambos grupos se observaron diferencias significativas en la duración de la anestesia. Sin embargo, el uso de flujos bajos redujo el consumo y costo anestésico promedio a la mitad de forma significativa similar a lo reportado en estudios nacionales<sup>18</sup> e internacionales<sup>19-22</sup>.

---

## **Beneficios y costo de la anestesia inhalatoria a flujos bajos**

---

Los flujos bajos representan una técnica anestésica eficaz en términos de seguridad y como una estrategia de minimización de costos hospitalarios. La reducción de los costos anestésicos asociados al uso de flujos bajos es consistente con lo reportado por la literatura nacional e internacional.<sup>5,6,11-22</sup> Por ejemplo, se han demostrado que otras ventajas al utilizar flujos bajos además de la reducción de los costos en anestesia, como: la mejora en la climatización de los gases inspirados; y la reducción de la contaminación atmosférica. También el consumo de sevoflurano se ve aumentado más del doble en flujos altos que en los de flujo bajo, a como se demostró en este estudio. Además, puede ayudar a conservar la humedad y la temperatura y se puede aumentar el número de horas de anestesia por botella de sevoflurano hasta en un 73.7%.

Con los resultados de este estudio hay suficiente evidencia para que el personal de anestesiología y la dirección del HEODRA consideren la promoción de los flujos bajos en anestesiología no solamente para reducir los costos y el mal uso de los recursos en salud sino también mejorar la seguridad y la calidad de atención a los usuarios del servicio de anestesiología, cumpliendo así con las políticas del MINSA y del Gobierno.

### ➤ CONCLUSIONES

- Las características generales fueron similares en ambos grupos.
- Las principales cirugías fueron colecistectomías, histerectomías y tiroidectomías.
- Las principales alteraciones gasométricas fueron observadas en los pacientes del grupo de flujos medios, en términos de acidosis, hipocapnia y disminución de perfusión tisular.
- El promedio de duración de la anestesia fue mayor en el grupo de flujos medios.
- En base a los resultados de este estudio se comprueba la hipótesis de investigación de que la eficacia y el costo de la anestesia inhalatoria a flujos bajos en cirugía es mejor que la de flujos medios en el HEODRA.

**RECOMENDACIONES**

- Promover estudios similares en otras unidades hospitalarias del país.
- Promover la adquisición de unidades de anestesia que permitan el uso de flujos bajos, así como la capacitación del personal de anestesia para potenciar los beneficios para los pacientes y el ahorro para el MINSA.
- Hacer uso de gasometría para valorar el estado de oxigenación del paciente según el flujo utilizado.
- Informar al personal de anestesia y sala de operaciones sobre los beneficios de este estudio.
- Realizar estudios similares con otros gases halogenados.

**REFERENCIAS**

1. Rubio-Terrés C, et al. Evaluación económica para clínicos: Métodos utilizados para realizar evaluaciones económicas de intervenciones sanitarias. *Med Clin (Barc)* 2004;122(15):578-83
2. Revicki DA, Frank L. Pharmacoeconomic evaluation in the real world. Effectiveness versus efficacy studies. *Pharmacoeconomics* 1999;15:423-34.
3. Altman DG. Randomisation. Essential for reducing bias. *BMJ* 1991;302: 1481-2.
4. Soto J. Inclusión de análisis farmacoeconómicos en ensayos clínicos: principios y prácticas. *Med Clin (Barc)* 2003;120:227-35.
5. Baxter AD. Low and minimal flow inhalation anesthesia. *Can J Anaesth.* 1997;44:643-652.
6. Parra C. Flujos bajos y circuito cerrado. Capítulo 27. En: Aldrete JA, Guevara U, Capmoureres EM. *Texto de Anestesiología-Teórico-Práctica*. Segunda edición. México D.F.: El Manual Moderno. 2004. Disponible en:  
<https://es.scribd.com/doc/226518869/Texto-de-Anestesiologia-Teorico-Practica>
7. Portela-Ortiz JM, Hernández-Cortés C, Delgadillo-Arauz C. Flujos bajos en anestesia. *Revista Mexicana de Anestesiología* 2015; 38 (Supl. 1): S352-S355.
8. Nunn G. Low-flow anaesthesia. *Continuing Education in Anaesthesia, Critical Care & Pain* 2008; 8 (1): 1-4. Disponible en:  
[https://oup.silverchair-dn.com/oup/backfile/Content\\_public/Journal/ceaccp/8/1/10.103](https://oup.silverchair-dn.com/oup/backfile/Content_public/Journal/ceaccp/8/1/10.103)
9. Baum JA. *Low Flow Anaesthesia with Dräger CAMhines*. Germany: Dräger Medical AG & Co. KGaA. Disponible en:  
<https://www.draeger.com/Products/Content/m-644-low%20low-anaesthesia.pdf>
10. Baker AB. Low flow and closed circuits. *Anaesth Intensive Care*. 1994;22:341-342.
11. Brattwall M, Warrén-Stomberg M, Hesselvik F, Jacobson J. Brief review: theory and practice of minimal fresh gas flow anesthesia. *Can J Anaesth.* 2012;59:785-797.
12. Mychaskiw G. Low and minimal flow anesthesia. Angels dancing on the point of a needle. *J Anaesthesiol Clin PharCAMy*. 2012;28:423-425.

13. Weiskopf RB, Eger EI. Comparing the costs of inhaled anesthetics. *Anesthesiology* 1993; 79: 1413–8.
14. Mapleson WW. The theoretical ideal fresh-gas flow sequence at the start of low-flow anaesthesia. *Anaesthesia* 1998; 53: 264–72.
15. Body SC, Fanikos J, DePeiro D, Philip JH, Segal BS. Individualized feedback of volatile agent use reduces fresh gas flow rate, but fails to favorably affect agent choice. *Anesthesiology* 1999; 90: 1171–5.
16. Cotter SM, Petros AJ, Dore CJ, Barber ND, White DC. Low-flow anaesthesia. Practice, cost implications and acceptability. *Anaesthesia* 1991; 46: 1009–12.
17. Eger EI. Economic analysis and pharmaceutical policy: a consideration of the economics of the use of desflurane. *Anaesthesia* 1995; 50 (Suppl): 45–8.
18. Olivas GA. Eficacia y costos de la anestesia inhalatoria a flujos bajos en pacientes sometidos a cirugía en el Hospital Alemán Nicaragüense, durante enero-febrero del 2017. UNAN-Managua. Tesis (Especialista en Anestesiología y Reanimación). 2017.
19. Ryu HG, Lee JH, Lee KK, et al. The effect of low fresh gas flow rate on sevoflurane consumption. *Korean J Anesthesiol.* 2011;60:75-77.
20. Mehmet A, et al. Effects of Flow Rate on Hemodynamic Parameters and Agent Consumption in Low-Flow Desflurane Anesthesia: An Open-Label, Prospective Study in 90 Patients. *CurrRes Ther Clin Exp.* 2005;66:4-12.
21. Doolke A, et al. The effects of lowering fresh gas flow during sevoflurano anaesthesia: a clinical study in patients having elective knee arthroscopy. *Ambulatory Surgery* 2001; (9): 95–98.
22. Ruiz J. Estudio de ventilación unipulmonar con bajos flujos. Zaragoza, España: Universidad de Zaragoza. Tesis (Doctor en Medicina). 2005.
23. Ortiz-Gómez JR, et al. Fundamentos de farmacoeconomía y su aplicación en anestesia clínica. *Rev Esp Anesthesiol Reanim.* 2011;58:295-303. Disponible en: <https://www.sedar.es/media/2015/09/Fundamentos-de-farmaeconomia.pdf>

24. Saladrigas MV, Sacristán del Castillo JA. Fichas de MedTrad (n.º 13): eficacia, efectividad y eficiencia en la investigación de fármacos. Panace@. 2004; 5 (17): 188-190.
25. Bocanegra JC, Botero Posada LF. Anestesia balanceada. Aprobado por la S.C.A.R.E.

**ANEXOS**

## Instrumento de recolección de datos

Beneficios y costos de la anestesia inhalatoria a flujos bajos en pacientes sometidos a cirugía en el HEODRA, durante enero a diciembre del 2019.

### I. Datos generales:

1. Ficha No.: \_\_\_\_\_
2. Número de expediente: \_\_\_\_\_
3. Edad: \_\_\_\_\_
4. Sexo: \_\_\_\_\_ a) Masculino b) Femenino

### II. Datos Clínicos:

5. Antecedentes patológicos personales:
  - a. Diabetes mellitus
  - b. Hipertensión arterial
  - c. Asma bronquial
  - d. EPOC
  - e. Neumonía
  - f. Obesidad
  - g. Cirrosis
  - h. Anemia
  - i. Convulsiones
  - j. Cardiopatía
  - k. Otras (especifique): \_\_\_\_\_
  - l. Ninguna
6. Medicación habitual: \_\_\_\_\_
7. Clasificación ASA: \_\_\_\_\_
8. Tiempo operatorio (minutos): \_\_\_\_\_
9. Tipo de cirugía: \_\_\_\_\_
10. Hora de inicio de la anestesia (0-24 horas): \_\_\_\_\_
11. Hora de inicio de la cirugía (0-24 horas): \_\_\_\_\_
12. Hora de finalización de la anestesia (0-24 horas): \_\_\_\_\_

### III. Manejo anestésico

13. Tipo de sistema ventilatorio:
  - a. Cerrado
  - b. Semicerrado
14. Tipos de flujo:
  - a. Bajo
  - b. Medio

15. Tipo de agente halogenado:  
 a. Sevofluorano  
 b. Otro (especifique): \_\_\_\_\_

16. Premedicación anestésica: \_\_\_\_\_

17. Fármacos anestésicos usados en inducción: (Nombre-G) \_\_\_\_\_

18. Estudio de gases intraoperatorio

HORA	FiO <sub>2</sub>	Ph	PO <sub>2</sub>	pCO <sub>2</sub>	SAT O <sub>2</sub>	HCO <sub>3</sub>	Lactato	MAC	Fi	Fe

19. Datos sobre el monitoreo hemodinámico:

Momento del monitoreo	Hora del monitoreo	PAS	PAD	PAM	FC	STO2	PCO2
Llegada del paciente al quirófano							
Inicio de la anestesia							
Mantenimiento de la anestesia							
Término de la anestesia							
Término de la cirugía							

20. Consumo de anestésico (ml): \_\_\_\_\_

21. Costo total (Córdobas): \_\_\_\_\_

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA

HEODRA

DEPARTAMENTO DE ANESTESIOLOGÍA

CONSENTIMIENTO INFORMADO

Identificación del paciente (expediente): \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

INFORMACIÓN GENERAL:

NOMBRE DEL ESTUDIO:

beneficios y costo de la anestesia general a flujos bajos de gas fresco (oxígeno) en pacientes que se realizan cirugías en el HEODRA.

OBJETIVOS DEL ESTUDIO:

- Describir las características generales de los pacientes que participan en el estudio.
- Analizar los parámetros gasométricos de los pacientes que participan en el estudio.
- Comparar el consumo anestésico
- Estimar el costo de la anestesia inhalatoria de los pacientes que participan en el estudio.

Con este estudio se pretende verificar cuál de las dos técnicas anestésicas (a flujos bajos o medios) es de menor costo y beneficio y así seleccionar técnicas anestésicas más económicas y amigables con el ambiente.

Para cumplir el segundo objetivo del estudio, se tomará una muestra del paciente cerca del término quirúrgico.

Los gases en sangre son una prueba en la cual se mide el PH (acidez) y el contenido de oxígeno y dióxido de carbono en la sangre arterial. Este examen se utiliza para evaluar enfermedades respiratorias y condiciones que afectan a los pulmones, e igualmente para determinar la efectividad de la terapia con oxígeno. El componente ácido – básico del examen también suministra información respecto al funcionamiento de los riñones.

Para realizar este examen, una vez el paciente bajo anestesia general y cerca del término quirúrgico, se realiza una punción introduciendo una aguja fina a través de la piel hasta la arteria (se tomará una sola muestra por cada paciente). La aguja se retira después de extraer la muestra. Dicha muestra se puede tomar de la arteria radial de la muñeca, de la arteria femoral en la ingle o de la arteria braquial en el brazo. Después de la punción se aplica presión sobre la zona durante unos cinco a diez minutos para prevenir el sangrado.



**Riesgos del examen:**

En general cuando el procedimiento se lleva a cabo correctamente el riesgo es muy bajo. Puede haber sangrado o amoratamiento en el sitio de la punción o un sangrado tardío. Se puede producir un trastorno de la circulación en el área de la punción, pero es excepcional.

**Consideraciones especiales:**

Antes de tomar la muestra se debe notificar al médico si presenta sangrado, moretones, entumecimiento, hormigueo o decoloración en el sitio de la punción. De la misma manera se debe informar si está tomando algún anticoagulante o aspirina.

He sido informad@ sobre los beneficios y riesgos sobre la toma de gases en sangre arterial. He comprendido toda la información que se me ha proporcionado y mis dudas han sido aclaradas, declarando mi consentimiento para que se me practique la toma de gases en sangre arterial.

Comprendo que se emplearán todos los esfuerzos materiales y humanos disponibles para que mi operación se exitosa y sin complicaciones, pero que nos eme puede garantizar un resultado específico, como en todo acto quirúrgico o anestésico.

Al firmar este documento doy mi consentimiento para participar en el estudio, lo cual es necesario ser entrevistad@, me tomen muestra en sangre arterial y durante el acto anestésico se me administren flujos de oxígeno acordes al estudio.

FIRMA DEL PACIENTE: \_\_\_\_\_

FIRMA DEL MÉDICO: \_\_\_\_\_

N DE CÉDULA \_\_\_\_\_

### CRONOGRAMA 2017- 2018

<b>ACTIVIDAD</b>	<b>JUL 2017</b>	<b>SEPT 2017</b>	<b>NOV 2017</b>	<b>ENE 2018</b>	<b>MAR 2018</b>	<b>ABRIL 2018</b>	<b>MAY 2018</b>	<b>JUL 2018</b>	<b>NOV 2018</b>
Selección del tema	x								
Redacción de protocolo		x	x	x	x		x	x	x
Entrega de protocolo para revisión						x			
Revisión y correcciones						x	x	x	x
Redacción del protocolo final									x

### CRONOGRAMA 2019 -2020

<b>ACTIVIDAD</b>	<b>MAY 2019</b>	<b>JUN 2019</b>	<b>JUL 2019</b>	<b>AGO 2019</b>	<b>SEP 2019</b>	<b>OCT 2019</b>	<b>NOV 2019</b>	<b>DIC 2019</b>
Aprobación del protocolo	x							
Aprobación del comité de ética		x						
Recolección de datos		x	x	x	x	x	x	x
Introducción de datos y análisis de la información		x	x	x	x	x	x	x
Resultados							x	x
Discusión							x	x
Conclusión							x	x
Recomendaciones							x	x
Elaboración del informe final							x	x
Entrega para revisión							x	x
Revisión y correcciones							x	x
Entrega informe final							x	x
Pre- defensa: se realizará en los meses de enero y febrero 2019								
Defensa: se realizará en el mes de marzo 2019.								