



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
FACULTAD DE MEDICINA

DIVISIÓN DE ESTUDIOS SUPERIORES  
DEPARTAMENTO DE ANESTESIOLOGÍA

SERVICIOS DE SALUD DEL ESTADO DE SONORA  
EHOSPITAL GENERAL DEL ESTADO  
“Dr. Ernesto Ramos Bours”

**TESIS**

**“COMPARACIÓN DE LA OXIGENACIÓN TRANSOPERATORIA Y EL CONSUMO DE SEVOFLORANE EN PACIENTES SOMETIDOS A ANESTESIA GENERAL BALANCEADA CON FLUJOS ALTOS DE OXIGENO Y FLUJOS BAJOS”**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE ESPECIALIDAD EN  
ANESTESIOLOGIA

PRESENTA

**DRA. NORMA ALICIA NAVARRO GAUTRIN**

ASESOR

DR. RAMON HUMBERTO NAVARRO YANES

HERMOSILLO, SONORA.

FEBRERO DEL 2012



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## DEDICATORIAS

*A mis padres:*

*Por darme la vida, por siempre estar a mi lado apoyándome en cada una de las decisiones que he tomado en la vida, por quererme y amarme sin pedir nada a cambio.*

*A mis hermanos:*

*Por ayudarme en este camino tan difícil, por estar incondicionalmente a mi lado, por ser la risa y el paño de lágrimas, así como el mayor consuelo en los momentos tristes y alegres de mi vida, por que Dios no pudo haberme dado mejores hermanos. Los quiero.*

*A DIOS:*

*Por darme salud, por que bendice mis manos día con día, porque ilumina mi mente para que pueda tomar las decisiones correctas. Por darme paciencia y sabiduría, pero sobre todo por darme la oportunidad de vivir.*

*A mis pacientes:*

*Por haber tenido la confianza de depositar su vida en mis manos y en las de todos mis colegas.*

HOSPITAL GENERAL DEL ESTADO  
"DR. ERNESTO RAMOS BOURS"  
DEPARTAMENTO DE ANESTESIOLOGÍA

Dr. RENÉ FRANCISCO PESQUEIRA FONTES  
DIRECTOR GENERAL.

Dr. JORGE ISAAC CARDOZA AMADOR  
DIRECTOR MÉDICO.

Dra. CARMEN A. ZAMUDIO REYES  
JEFA DE LA DIVISIÓN. DE CAPACITACIÓN, ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN.

Dr. HUGO MOLINA CASTILLO  
PROFESOR TITULAR DEL CURSO DE CIRUGÍA GENERAL.

Dr. RAMON HUMBERTO NAVARRO YANES  
JEFE DEL SERVICIO DE ANESTESIOLOGIA.  
ASESOR DE TESIS.

Dr. VICTOR MANUEL DAVILA BERNAL  
JEFE DEL SERVICIO DE CIRUGÍA GENERAL.

PROFESOR JOSÉ MIGUEL NORZAGARAY MENDIVIL  
ASESOR METODOLÓGICO.

Dra. NORMA ALICIA NAVARRO GAUTRIN  
RESIDENTE DE TERCER AÑO DE ANESTESIOLOGÍA

## ÍNDICE.

Introducción.	1
<b>CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO.</b>	<b>3</b>
1.1 Historia de los anestésicos inhalados modernos.	3
1.2 Descripción de las leyes de los gases.	6
1.3 Aplicación de las leyes en la práctica de anestesiología.	10
1.4 Principios de la anestesia con flujos bajos.	13
1.5 Efectos de la utilización de flujos bajos en anestesia general balanceada.	20
1.6 Sevoflorane.	23
<b>CAPITULO II. MATERIAL Y MÉTODOS.</b>	
2.1 Planteamiento del problema.	28
2.2 Justificación.	28
2.3 Objetivos.	28
2.4 Hipótesis.	29
2.5 Descripción general del estudio.	29
2.6 Criterios de selección.	29
2.7 Criterios de exclusión	30
2.9 Recolección de datos.	30
2.10 Análisis estadístico.	30
Tablas y gráficas.	33
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS, DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.</b>	<b>37</b>
3.1 Resultados.	37
3.2 Discusión.	39
3.3 Conclusiones.	40
Bibliografía.	41
<b>ANEXOS.</b>	<b>43</b>
ANEXO I. Gráfica 1	43
ANEXO II. Gráfica 2	43
ANEXO III. Tabla 1	44

# “COMPARACIÓN DE LA OXIGENACIÓN TRANSOPERATORIA Y EL CONSUMO DE SEVOFLORANE EN PACIENTES SOMETIDOS A ANESTESIA GENERAL BALANCEADA CON FLUJOS ALTOS DE OXIGENO Y FLUJOS BAJOS”

## INTRODUCCIÓN

Durante muchos años se a utilizado la anestesia general balanceada con flujos altos de oxígeno, esto quiere decir a 2ml/min, considerándose que esta manera los pacientes recibían una adecuada oxigenación transoperatorio, no presentando así desaturación durante la monitorización y tampoco presentando datos de hipoxia o hipoxemia en las tomas de gasometrías. Con la aparición de los anestésicos inhalados modernos, la anestesia general balanceada es mucho mas práctica y fácil de administrar a los pacientes, conservando una adecuada hemodinamia transoperatoria. Así mismo con grandes cantidades administradas de oxígeno por minuto mediante el circuito cerrado, se utiliza más cantidad de **sevoflorane**, causando esto contaminación ambiental dentro del área quirúrgica y para el personal médico. También es causa de altos costos por el uso de estos medicamentos (**sevoflorane** mas O<sub>2</sub>)

La anestesia general balanceada empleando anestésicos inhalados modernos, actualmente forma parte de la práctica mas comúnmente utilizada para pacientes sometidos a cirugía mayor, ya que esto implica más tiempo quirúrgico y una mejor estabilidad hemodinámica para los pacientes.

Con la aparición del **sevoflorane** como anestésico inhalado en la década de los ochenta, la anestesia general balanceada tomó un gran auge, debido a que es un gas que tiene un coeficiente de partición sangre-gas bajo (0.46), por lo que llega de una manera más rápida a los pulmó1nes a la sangre, ocasionando esto que las constantes de tiempo se cumplan más rápido, para que el paciente entre en plano anestésico en un menor tiempo

y también la emersión anestésica mucho más rápida que con otros anestésicos inhalados de coeficientes de solubilidad altos.

En la actualidad, varios autores han demostrado que con la administración de flujos bajos de oxígeno, y las variables de las constantes de tiempo (demostradas por las leyes de los gases y las leyes de los flujos bajos), se puede llegar en el mismo tiempo al plano anestésico para los pacientes sometidos a anestesia general balanceada con sevoflorane, fentanyl, teniendo también la misma emersión anestésica. Por lo que en la práctica actual, los flujos bajos han tomado mayor auge ya que se obtiene un mejor costo beneficio para los pacientes y para las instituciones hospitalarias, causando así mismo un menor gasto y contaminación ambiental.

En este estudio se demostrará que la administración de sevoflorane con flujos bajos de oxígeno puede ser de gran beneficio, y sobre todo que no significa un riesgo para los pacientes en cuanto a la oxigenación transoperatoria.

# **“COMPARACIÓN DE LA OXIGENACIÓN TRANSOPERATORIA Y EL CONSUMO DE SEVOFLORANE EN PACIENTES SOMETIDOS A ANESTESIA GENERAL BALANCEADA CON FLUJOS ALTOS DE OXIGENO Y FLUJOS BAJOS”**

## **CAPITULO 1. MARCO TEORICO**

### **1.1 HISTORIA DE LOS ANESTESICOS INHALADOS MODERNOS**

#### **1.1.1 DESCUBRIMIENTO Y DESARROLLO INICIAL DE LA ANESTESIA**

Horace Wells, William Morton y James Simpson, respectivamente, descubrieron los primeros anestésicos, óxido nítrico, dietil éter y cloroformo, en un período de cuatro años. Ellos (particularmente Morton) hicieron al mundo un donativo que es uno de los grandes descubrimientos, si no es que el más grande descubrimiento de toda la medicina. Crawford Long de Georgia había utilizado anteriormente éter (1842) y documentó ese descubrimiento, pero debido a que no publicó sus hallazgos ha recibido crédito limitado de su hallazgo. El óxido nítrico, el éter y el cloroformo proporcionaron la mayoría de la anestesia para la cirugía durante casi un siglo, testimonio de su excelencia. La percepción de que podría encontrarse un agente mejor no se consideró seriamente hasta los años de 1920-1940 que trajeron al etileno, el ciclopropano y al divinil éter. Estos nuevos compuestos ganaron aceptación debido, en parte, a que permitieron una recuperación más rápida de la anestesia que los anestésicos anteriores.

Los anestésicos inhalados modernos (los halogenados, algunos, con flúor), han desplazado a todos los agentes previos excepto al óxido nitroso. El dietil éter, el divinil éter, el etileno, y el ciclopropano, desaparecieron de la práctica principalmente por su inflamabilidad. El cloroformo, el cloruro de etilo y el tricloroetileno (compuestos halogenados con cloro) desaparecieron debido a su toxicidad.

El descubrimiento de la química del flúor que acompañó al desarrollo de la bomba atómica hizo posible el uso del flúor para la halogenación. Los agentes fluorinados inhalados empezaron con el fluoxeno (que tuvo un éxito limitado por su asociación con náusea posoperatoria) y llegaron a ser importantes para la introducción del halotano. La sustitución del cloro o bromo por el flúor proporcionó una mayor estabilidad molecular (menos toxicidad) y una menor solubilidad (con las características consecuentes de una



mejor cinética). Con la excepción del metoxiflurano, aumentó la presión de vapor saturado y disminuyó la potencia.

Entre 1950 y 1980, el Dr. Ross C. Terrell y sus asociados en Ohio Medical Products (ahora Baxter Healthcare Corp.) sintetizó mas de 700 compuestos fluorinados en un programa diseñado para producir un mejor anestésico inhalado. El enflurano (conocido entonces como compuesto 347) y el isoflorano (compuesto 469) fueron resultado de este programa y se convirtieron en los pilares de la anestesia en las décadas de 1970 y 1980, respectivamente. Los compuestos candidatos alternos tenían una o más desventajas. Algunos no producían anestesia: otros eran tóxicos. Unos cuantos producían lo que parecía ser una excelente anestesia pero se percibieron como extraordinariamente difíciles de manejar, peligrosos y/o costosos para su fabricación. En el caso del desflorano, estas percepciones se modificaron después dramáticamente.

El desflorano fue el compuesto 653 (conocido inicialmente como compuesto I-653) de la serie. Este agente fue producido en un principio utilizando síntesis potencialmente explosiva que utilizaba flúor elemental. Tenía otras dos limitaciones potenciales: 1) una presión de vapor saturado de casi una atmósfera a temperatura ambiente, excluyendo por lo tanto, el uso de sistemas convencionales para la vaporización: y 2) tenía una quinta parte de la potencia del isoflorano, y por lo tanto, hacía que su uso fuera relativamente más costoso porque se necesitaba más para conducir una anestesia.

### 1.1.2 WALLIN Y EL SEVOFLORANO

El **sevoflorano** fue sintetizado a finales de la década de 1960 por Wallin y sus colaboradores en el laboratorio Travenol como una serie de compuestos, describiéndose muchas propiedad básicas, Como el desflorano, el **sevoflorano** fue difícil y costoso para sintetizar. También era inestable en presencia de absorbentes convencionales del bióxido de carbono, y existía preocupación respecto a su potencial de toxicidad, tanto de él como de su metabolismo. Por ejemplo, los estudios iniciales en animales y en humanos mostraron que el metabolismo del **sevoflorano** producía flúor inorgánico, la asociación de un flúor sérico aumentado y la toxicidad renal habían sido sugeridas por los entonces recientes estudios del metoxiflurano.

### 1.1.3 DESARROLLO DEL DESFLORANO Y EL SEVOFLORANO

El desflorano y el **sevoflorano** no fueron escogidos inmediatamente para desarrollo comercial debido a las limitaciones potenciales ya descritas. El desarrollo se reconsideró en la década de 1980 debido a dos percepciones.

Primera, la anestesia ambulatoria se convirtió parte importante de la práctica anestésica, existiendo la necesidad de un anestésico con una acción que se disipará rápidamente. Esta percepción se extendió a otros anestésicos y auxiliares anestésicos y llevó al desarrollo de fármacos bloqueadores neuromusculares de acción más corta (p. ej. Atracurio y vecuronio, en contraste con la d-tubocurarina y el pancuronio), opioides (alfentanil en contraste con la morfina, meperidina), benzodiazepinas (midazolam en contraste con el diazepam), y el agente de inducción propofol (en contraste con el tiopental).

Segunda, la halogenación exclusivamente con flúor de los agentes anestésicos inhalados (desflorano y **sevoflorano**) logró una menor solubilidad en la sangre que, satisfacía la necesidad de un agente de acción más corta. Se sospechaba también de que la ausencia de clorinación podrían conferir otras ventajas: como una menor toxicidad y la preocupación respecto a la contaminación ambiental.

A mediados de la década de lo 1980, se sintetizó una pequeña cantidad de desflorano y se probó su solubilidad en la sangre (coeficiente de partición sangre/gas). Como se anticipaba, el coeficiente de partición de sangre/gas del desflorano (0.45) estaba mucho más lejos que otros anestésicos potentes inhalados, igualando al óxido nitroso (0.46). Estos hallazgos motivaron el inicio de un programa de dos vertientes: Primera, se buscaron enfoques mas eficientes y menos peligrosos para la síntesis. Segunda: se exploraron las propiedades físicas y farmacológicas del desflorano. Las pruebas en voluntarios y en pacientes siguieron a la terminación de los estudios de farmacología en animales.

Un nuevo proceso sintético aprovechó la similitud entre el **sevoflorano** y el isoflorano. Ambos compuestos son metil-etil éteres altamente fluorinados. El desflorano

( $\text{CHF}_2\text{-O-CHF-CF}_3$ ) difirió del isoflorano ( $\text{CHF}_2\text{-O-CHCl-CF}_3$ ) sólo en la sustitución del flúor por el cloro en el carbono  $\alpha$ -etil. La sustitución se llevó a cabo (cuidadosamente) combinando el isoflorano con trifluoruro de bromo.

En forma similar, Maruishi Pharmaceuticals revivió el interés en el **sevoflorano**, y con el apoyo de la compañía, el **sevoflorano** se aprobó para su uso clínico en Japón en 1990, convirtiéndose en el anestésico más popular en Japón en corto tiempo. El **sevoflorano** fue aprobado para su uso en Norte América (en menos de un año), y fue similarmente popular en Estados Unidos.

Las evaluaciones físicas y farmacológicas del desflorano y el **sevoflorano** confirmaron la predicción de una baja solubilidad y una rápida recuperación de la anestesia con estos agentes fluorinados. Estudios in vitro e in vivo demostraron también que el desflorano es más estable que otros anestésicos volátiles potentes actualmente utilizados para proporcionar anestesia en humanos, pero los estudios del **sevoflorano** confirmaron la determinación anterior de la inestabilidad (a pesar de la ausencia de clorinación). Sin embargo, los estudios de toxicidad raras veces mostraron daño con estos agentes. Con unas cuantas diferencias importantes, sus propiedades respiratorias, cardiovasculares y electroencefalográficas fueron paralelas a las encontradas con el isoflorano.

## 1.2 DESCRIPCIÓN DE LAS LEYES DE LOS GASES

### 1.2.1 LEYES DE LOS GASES

La determinación de una ecuación de estado de los gases implica inevitablemente la medición de la presión, o fuerza por unidad de área, que un gas ejerce sobre las paredes del recipiente que lo contiene. La presión de los gases comúnmente se expresa en atmósferas o milímetros de mercurio. El estudio sistemático del comportamiento de los gases interesó a los científicos durante siglos. Destacan los nombres de varios investigadores que establecieron las propiedades de los gases.

### 1.2.2. LEY DE BOYLE

La relación matemática que existe entre la presión y el volumen de un cantidad de un gas a una cierta temperatura fué descubierta por Robert Boyle en 1662. Boyle encerró una cantidad de aire en el extremo cerrado de un tubo en forma de U, utilizando mercurio como fluido de retención. Boyle descubrió que el producto de la presión por volumen de una cantidad fija de gas era un valor aproximadamente constante. Notó que si la presión de aire se duplica su volumen era la mitad del volumen anterior y si la presión se triplicaba el volumen bajaba a una tercera parte del inicial. También observó que al calentar un gas aumentaba su volúmen si la presión se mantenía constante, a este proceso se le llama proceso isobárico.

La ley de Boyle se puede expresar así: donde  $K_{n,t}$  es una constante cuyo valor depende de la temperatura y de la cantidad de gas. Hoy, después de numerosas confirmaciones del trabajo de Boyle y experimentos adicionales, la relación entre el volúmen y la presión de un gas se conoce como **Ley de Boyle**. Si aumenta la presión de un gas. El volúmen disminuye proporcionalmente; por lo tanto, si la presión disminuye, el volúmen aumenta. Si dos cantidades son inversamente proporcionales, cuando una aumenta la otra disminuye. Ejemplo: piense en un globo inflado, cuando oprimimos el globo (aumenta la presión) el volúmen disminuye; al soltarlo (disminuye la presión) el volúmen aumenta. Un método que se utiliza extensamente para demostrar la relación entre dos cantidades es la construcción de gráficas, en las que se aprecia fácilmente como varían 2 cantidades entre sí, (ver dibujo 1).

#### **Ley de Boyle:**

***“El volumen de un gas, a temperatura constante, es inversamente proporcional a la presión”***

### 1.2.3 LEY DE CHARLES

En 1787, Jacques Charles investigó la relación existente entre el volúmen y la temperatura de gas a presión constante. Al conservar la presión constante, el volúmen aumenta y cuando la temperatura disminuye, el volúmen también disminuye. Luego, había

una proporcionalidad lineal directa entre el volúmen y la temperatura, la cual se conoce como Ley de Charles.

Ejemplo: un globo lleno aumenta su volumen cuando se le calienta y lo disminuye cuando se le enfría.

### **Ley de Charles:**

***“El volumen de un gas a presión constante es directamente proporcional a la temperatura kelvin”.***

## **1.2.4 LEY DE LAS PRESIONES PARCIALES DE DALTON**

Cuando Dalton formuló por primera vez su teoría atómica poco había elaborado la teoría acerca de la vaporización del agua y el comportamiento de mezclas gaseosas. A partir de sus mediciones dedujo que dos gases en una mezcla, actuaban de manera mutuamente independiente. Por ejemplo si se colocan tres gases en un recipiente de determinado volúmen,  $V$ , se puede considerar que cada uno de los gases ocupa todo el volúmen. Es decir, si el gas está cerrado, las moléculas del gas debido a su rápido movimiento al azar y ese tamaño tan pequeño, ocuparán todo el recipiente. Luego, cada uno de los tres gases que forman todo el recipiente. Cada uno de los tres gases que forman la mezcla tendrá el volumen  $V$ . Ahora, si temperatura del recipiente tuviera un valor constante,  $T$ , cada uno de los gases tendría esta temperatura.

Si estudiamos cada uno de estos gases en forma separada, la contribución a la presión de cada componente está directamente relacionada con el número de moles del componente y con la razón a la que las partículas chocan con las paredes del recipiente. Dado que cada componente tiene el mismo volumen y temperatura, las diferencias entre las presiones que ejercen se deberá a los distintos números de moles.

La presión que ejerce un componente determinado de la mezcla de gases si éste ocupara por sí solo el recipiente, se llama **presión parcial del componente**. Las presiones parciales se calculan aplicando la ley de los gases ideales a cada componente. Así la presión parcial, **PC**, para una componente consistente en **NC** moles está dada por la expresión:

$$P_C = \frac{ncRT}{V}$$

Se puede calcular la presión parcial de cada componente, si se conoce el número de moles de cada uno en la mezcla encerrada en un volumen determinado, a una temperatura dada. Debido a que las partículas de cada gas componente se conducen en forma independiente, la presión total que ejerza la mezcla será un resultado de todas las partículas. Establece que la presión total de una mezcla de gases es igual a la suma de las presiones parciales de los gases individuales.

Esta relación se conoce como **Ley de las Presiones Parciales de Dalton** e indica que la presión total de una mezcla de gases es igual a la suma de las presiones parciales de los componentes de la mezcla.

La ley de Dalton es muy útil cuando deseamos determinar la relación que existe entre las presiones parciales y la presión total de una mezcla de gases.

#### 1.2.5. D LEY DE GAY-LUSSAC

Cuando se investiga experimentalmente como dependen entre sí el volumen y la temperatura de un gas a una presión fija, se encuentra que el volumen aumenta linealmente al aumentar la temperatura. Esta relación se conoce como **Ley de Charles y Gay-Lussac**, y se puede expresar algebraicamente por:

$$V = V_0 (1 + \frac{t}{273})$$

Donde  $V_0$  es el volumen que a la temperatura de 0 °C, es una constante que tiene aproximadamente el valor 1/273 para todos los gases y  $t$  es la temperatura en la escala Celsius. Esta ecuación establece que el volumen de un gas aumenta linealmente al aumentar su temperatura

## **1.3 APLICACIONES DE LAS LEYES EN LA PRACTICA DE ANESTESIOLOGÍA**

### **1.3.1 COEFICIENTES DE SOLUBILIDAD**

La máxima cantidad de gas que puede disolverse en un líquido depende de tres factores: 1. La presión parcial del gas, 2. Temperatura del líquido. 3. La solubilidad específica del líquido. La solubilidad es inversamente proporcional a la temperatura. En tanto que la presión parcial, otro factor determinante enunciado en la ley de Henry, es de particular importancia en el proceso de absorción de los gases anestésicos y en la fisiología respiratoria. Hay gases muy solubles y otros poco solubles tanto en agua, como en otros líquidos; a esta característica propia de cada gas se le designa como coeficiente de solubilidad y se expresa de manera cuantitativa. En la representación de un sistema líquido-gas, para cada nivel de presión parcial del gas se establecerá, después de cierto tiempo, un equilibrio entre la cantidad de moléculas del gas que se incorporan al líquido y la cantidad de moléculas que salen de éste para volver a la fase gaseosa. Un proceso semejante ocurre cuando se ponen en contacto dos líquidos no miscibles que contienen disuelto un mismo gas.

Cuando se alcanza la fase o estado de equilibrio en el sistema líquido-gas, la presión del gas disuelto muestra una tendencia a escapar del líquido, la cual será igual a la presión parcial del mismo gas en la fase gaseosa del sistema. La solubilidad de un gas se puede definir utilizando los siguientes coeficientes: a) Coeficiente de solubilidad (beta), b) Coeficiente de solubilidad de Ostwald ( $\lambda$ ). c) Coeficiente de partición o distribución (sangre-tejidos), d) Coeficiente de solubilidad de Bunsen (alfa). Los coeficientes de solubilidad más utilizados en la anestesiología son el coeficiente de solubilidad de Ostwald (b) y el coeficiente de partición o de distribución (sangre-tejidos) (c).

### **1.3.2 COEFICIENTE DE SOLUBILIDAD DE OSTWALD**

Es el volúmen de gas, medido a la temperatura del experimento, que se disuelve en la unidad de volúmen de un líquido a determinada temperatura, cuando la presión del gas encima del líquido es de una atmósfera.

### **1.3.3. COEFICIENTES DE SOLUBILIDAD DE BUNSEN**

Se define prácticamente igual que el coeficiente de solubilidad de Ostwald, pero en el coeficiente de Bunsen ( $\beta$ ) se toman los valores de solubilidad a la temperatura y presión del experimento expresado en unidades STP.

### **1.3.4 DIFUSION DE LOS GASES**

En la difusión, los desplazamientos o transferencias moleculares se hacen a expensas de los movimientos intrínsecos propios de esas partículas, desde las zonas de mayor concentración a las zonas de menor concentración; de ésta forma, la difusión es un mecanismo de transferencia de materia en la que no intervienen los movimientos moleculares masivos, tales como el fluir de un gas o el verter de un líquido a un recipiente. Tratándose de gases que difunden entre sí, es habitual expresar como gradiente de presión parcial la concentración de los mismos en las distintas fases; ambos términos son equivalentes, mientras que en la difusión de los gases en líquidos para expresar la concentración del gas en el líquido se emplea el término de Tensión. La difusión puede producirse entre sustancias colocadas en íntimo contacto como también cuando entre ellas se interpongan membranas semipermeables o superficies porosas.

En el caso de los gases, la difusión hacia un líquido o a través de una membrana acuosa, se ve favorecida si en esas fases el gas es altamente soluble, en cuyo caso la velocidad de difusión es alta aunque no directamente proporcional al coeficiente de solubilidad (ver adelante). A su vez si el gas solubilizado difunde hacia otro líquido en contacto con el primero, la velocidad de ese fenómeno es directamente proporcional a la diferencia de concentraciones del gas entre ambos líquidos e inversamente proporcionales a la diferencia de solubilidad. En estas condiciones, cada líquido actúa como si atrapara cierta masa del gas al solubilizarlo.

La difusión como fenómeno único, permite la mezcla completa de dos gases en muy poco tiempo, mientras que con los líquidos se llega al mismo resultado en un tiempo mucho mayor. Los movimientos moleculares se encuentran en relación directa con la temperatura, y por ser una consecuencia de ellos, la velocidad de difusión tiene la misma



proporcionalidad. A su vez, el alcance de la difusión o lo que es lo mismo, la distancia a la que difunden las moléculas de un determinado fluido en otro, es directamente proporcional a la velocidad de difusión y al tiempo de la misma.

De acuerdo con la teoría cinética de los gases, la velocidad del movimiento molecular intrínseco en las masas gaseosas es inversamente proporcional a la raíz cuadrada de sus pesos moleculares. Los elementos o sustancias en estado gaseoso cuyos pesos moleculares son relativamente bajos, se difunden con mayor facilidad, obedeciendo de esa forma a la ley de Graham, que dice: **"a iguales presiones parciales, la velocidad de difusión de los gases es inversamente proporcional a la raíz cuadrada de sus pesos moleculares"**.

*Difusión: (P) (M)*

En las mezclas gaseosas, la difusión de cada componente se hace independiente de los demás y en relación con el gradiente de su presión parcial. En cambio entre líquidos en cambio, la difusión obedece a las concentraciones de los mismos. Estableciéndose así la ley de Fick que dice: **"la magnitud de la difusión es proporcional al gradiente de presiones parciales de los gases o de las concentraciones de los líquidos"**. La presión total carece de efecto sobre la difusión de los gases. De tal manera que si una membrana semipermeable divide dos zonas, y en una de ellas se encuentra un gas no difusible, mientras que en la otra hay uno difusible, este último gas difundirá a través de la membrana, independientemente de que la presión total de esa cámara sea inferior a la del lado opuesto. De lo anterior podemos señalar que la difusión del oxígeno de la luz alveolar de la sangre y desde ésta hacia los tejidos, está influenciada por los siguientes factores: a) Peso molecular del oxígeno (ley de Graham), b) Gradiente de presión parcial (alvéolo-capilar) ley de Fick, c) Solubilidad del oxígeno en agua (membrana alvéolo-capilar), d) Solubilidad del oxígeno en sangre (coeficiente de Ostwald), e) Superficie (área) alveolar total, f) Espesor de la membrana alvéolo-capilar (0.5 micras), g) Temperatura, h) diferencia de concentraciones (presiones parciales).

## 1.4 PRINCIPIOS DE LA ANESTESIA CON FLUJOS BAJOS

La anestesia general con circuito cerrado y flujos bajos tuvo su auge durante el fin de las décadas de los cuarenta y principio de los cincuenta, debido al uso de agentes inflamables y explosivos como el éter y el ciclopropano, respectivamente. Con el advenimiento de potentes agentes halogenados, como el halotano, esa práctica se vio interrumpida por el miedo a accidentes con desenlaces fatales. La técnica de flujos bajos fue descrita por Foldes en 1952 con un flujo de gas fresco de 1 Litro/min (50% de O<sub>2</sub> y 50% de N<sub>2</sub>O). Virtue, en 1974 inició la técnica de flujos mínimos con un flujo de gas fresco de 0.5 l/min (60 % de O<sub>2</sub> y 40% de N<sub>2</sub>O). Pero el circuito cerrado, como tal, fue utilizado, inicialmente, en un sistema to-and-fro, por Ralph Waters en 1924 y en un circuito circular por Brian Sword en 1930. Como vemos son técnicas descritas y utilizadas hace varias décadas. ¿Por qué no retomarlas si tenemos unas máquinas de anestesia diseñadas y equipadas con monitorización suficiente, para administrar anestesia en sistemas de reinhalación, en forma muy segura.

Existen varias ventajas en el uso del circuito cerrado. Se destacan las siguientes:

- **Economía:** Se ha podido demostrar un ahorro que va hasta el 85 o 90 % en agentes halogenados y en los gases utilizados.
- **Ecología:** Aunque los clorofluorocarbonos utilizados por nosotros (halotano, enflurane e isoflurane) son considerados “amigables” para la capa de ozono, pues al combinarse en la atmósfera se transforman en HCl, HBr y CO<sub>2</sub> volviendo a la tierra con la lluvia, asegurando que sólo un pequeño porcentaje se queda en la atmósfera, si existe problema con el N<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, responsable del efecto “invernadero”.
- **Calidad:** Requiere de un contacto permanente con nuestro paciente.
  - **Humedad y Calor:** Este es uno de los puntos de mayor importancia pues, al vapor de agua emitido por el paciente y la temperatura (Fig. 1 y 2) de los gases exhalados, se le suma el calor de la reacción exotérmica y la producción de agua de la reacción entre la cal sodada y el CO<sub>2</sub>. Esto resulta en una mejor atmósfera traqueobronquial y una reducción de la pérdida de calor.

Solo hasta finales de los setenta y principio de los ochenta se comenzó a hablar de la técnica de anestesia cuantitativa, la cual se basaba en la dosificación personal de la anestesia. La dosis depende del peso, la edad y el estado físico de cada individuo. Se

describieron y utilizaron diversas variaciones de esta técnica: se inyectaba con una jeringa el volumen de anestésico líquido en la manguera espiratoria del circuito o se utilizaba la válvula diseñada por el Dr. Carlos Julio Parra H. Durante los años setenta se intentó administrarla con los vernitroles, pero solo a finales de éstos y principios de los noventa con la ayuda de los nuevos vaporizadores Tec<sub>3</sub> y Tec<sub>4</sub> se pudo iniciar su utilización de una manera más controlada. Sabiendo que la mezcla de gases frescos entregada al paciente contiene una proporción V/V del agente anestésico, es fácil conocer el volumen de vapor anestésico que se suministra. Lógicamente, hay que mantener en excelente estado de calibración los vaporizadores.

En la actualidad, con los vaporizadores Tec<sub>5</sub>, todo se hace más confiable. Pero con el que más seguridad se tiene es con el vaporizador Tec<sub>6</sub>, diseñado por la Ohmeda para administrar desflorano, el cual por sus características físicas, impide ser utilizado en otro tipo de vaporizadores. Tiene un punto de ebullición de 22°C, que hace que se evapore al medio ambiente. Este vaporizador es, valga la comparación, una máquina Ohio 5000, la cual, utilizando vernitroles, mantiene una temperatura constante a 22°C y permitía suministrar concentraciones proporcionales V/V del anestésico en la mezcla de gases frescos.

El Tec<sub>6</sub> recibe el anestésico en una cámara aislada que no tiene contacto con los gases frescos provenientes de la máquina de anestesia; esa cámara tiene una temperatura de 39°C y mantiene una presión cercana a las 2 atmósferas (manteniendo los conceptos de anestesia hiperbárica y termocontrolada). Los flujos corren por unos ductos al final de los cuales el vaporizador le entrega la cantidad de vapor anestésico necesaria para suministrar la concentración calibrada y colocada en su "dial". De esta forma, y utilizando los conceptos emitidos por Harry Lowe, podemos suministrar una anestesia cuantitativa y, si se quiere, metabólica a cada uno de nuestros pacientes. La Dräger ha diseñado una máquina de anestesia, la PhysioFlex, que se caracteriza por permitir la administración de anestesia metabólica. No posee vaporizadores, en cambio trae unas "cuchillas" donde se colocan los frascos de los anestésicos halogenados produciéndose una vaporización "electrónica". Posee unos monitores que permiten conocer el consumo metabólico de oxígeno y la producción de CO<sub>2</sub>.

### 1.4.1 CAPTACION DE LOS GASES

De acuerdo a Ardnt y Westenskow, el consumo de oxígeno permanece casi estable a nivel metabólico durante la anestesia. Puede ser calculado con base en la fórmula de Brody de la masa metabólicamente activa:

$$P \text{ (kg)} \cdot 0.73$$

$$V_{O_2} = 10.15 P \text{ (kg)} \cdot 0.73$$

$$\text{Prod. CO}_2 = 8 P \text{ (kg)} \cdot 0.73$$

$$Q = (2) P \text{ (kg)} \cdot 0.73 \text{ dl/l min}$$

Utilizamos, entonces la fórmula de Lowe para calcular la captación de los anestésicos volátiles:

$$VAN = (f) (MAC) k \text{ s/g} (Q) T^{-0.5}$$

MAC: Fracción aspirada de MAC

K: Coeficiente. Partición sangre/gas

Q: Gasto cardíaco (dl/min)

T: Tiempo transcurrido (min)

### 1.4.2 CONSTANTE DE TIEMPO

Cuando se utiliza un sistema de reinhalación se debe tener en cuenta que, de acuerdo al flujo de los gases frescos, las alteraciones de la composición de ellos conllevan alteración a la composición del gas dentro del sistema, solamente con cierto retardo de tiempo. Entre más bajos sean los flujos mayor será el retraso. Esto es explicado por la Constante de Tiempo T1, la cual, a un volumen total de gas captado **Vc**, es proporcional al volumen total del gas contenido en el sistema **Vs**. e inversamente proporcional al flujo de gases frescos **Vf**.

$$T = V_s / (V_f - V_c)$$

Si el sistema de reinhalación está cerrado, el numerador tiende a 0, entonces el tiempo, se haría infinito, pero si el sistema es semicerrado, con un volumen de gases frescos alto, el tiempo se hará corto. Para cambiar rápidamente la composición del gas en el sistema, debemos abrir la válvula de evacuación y aumentar el flujo de gases frescos.

### 1.4.3 FLUJOS Y VENTILACION

Los nuevos aparatos anestésicos permiten suministrar flujos mínimos o metabólicos, utilizando un ventilador que nos suministre el volumen corriente correspondiente a nuestro paciente sin alteración de la composición del gas dentro del sistema.

### 1.4.4 ABSORBEDOR DE CO<sub>2</sub> (CAL SODADA)

Lógicamente, la cal sodada tendrá que ser utilizada en mayor proporción durante la técnica de circuito cerrado y flujos bajos, pues todo el CO<sub>2</sub> producido por el paciente permanecerá dentro del sistema. Esta es la razón por la cual debemos tener el cuidado de mantenerla fresca. Se han reportado problemas de contaminación por Monóxido de Carbono (CO), cuando se encuentra muy seca<sup>10</sup>, como sucede con algunos colegas que dejan abiertos los flujómetros durante todo un fin de semana.

Se recomienda usar más la Soda Lima que la Baralyme, ésta última es la que al researse produce mayor contaminación con CO, además la primera al humedecerse disminuye la producción de CO.

Para calcular el consumo de la cal sodada debemos utilizar la siguiente fórmula<sup>11</sup>:

$$T = \frac{LCO_2}{100 \text{ gr absorbente (P absorbedor)} \cdot (\%CO_2 (V - (1-I) \cdot E) \cdot FGF)} \text{ min}$$

LCO<sub>2</sub>: Cantidad de CO<sub>2</sub> absorbido por 100gr

%CO<sub>2</sub>: Concentración gas exhalado

V: Ventilación minuto (L/min)

I: E: Relación inspiración-espriación

FGF: Flujo de gases frescos (L/min)

Con esta fórmula podremos calcular el tiempo al cual la cal sodada empezará agotarse en su función de retención del CO<sub>2</sub>.

#### **1.4.5 CALCULO DE CONSUMO DE AGENTES INHALADOS**

Calcular la cantidad de anestésico inhalado en un procedimiento quirúrgico en la actualidad es muy empírico y poco preciso. Los agentes anestésicos inhalados halogenados vienen en forma líquida y para ser administrados deben convertirse en vapores anestésicos. Dependiendo de las características clínicas del acto anestésico y de la concentración alveolar mínima (MAC) necesaria para que el agente específico logre su efecto terapéutico se dosifican con porcentajes de concentración, diferentes para cada agente anestésico. Como hay seguridad en cada procedimiento, en cada paciente y limitaciones tecnológicas para medir el volumen de vapor anestésico administrado y en consecuencia la cantidad de líquido necesario para producir el vapor anestésico no es fácil, ni muy exacto en la práctica clínica determinar la cantidad de anestésico inhalado para asignarle su costo por procedimiento. Por otra parte, la imprecisión de estas formulas hace que no sean aconsejables para realizar estudios clínicos de farmacoeconomía, Así por ejemplo, el numero de botellas de agente anestésico utilizado por unidades de tiempo o por numero de procedimientos quirúrgicos, podría ser una forma simple de calculo de costos para una unidad quirúrgica pero nunca debe ser utilizada para estudios clínicos.

El Cambio en el peso del vaporizador pueden ser utilizados para calcular el volumen del líquido consumido durante un procedimiento quirúrgico. Para este cálculo debe conocerse la densidad del agente anestésico (Tabla 2), el peso previo del vaporizador sin líquido y el peso del vaporizador antes y después del procedimiento para poder hacer un cálculo preciso del volumen consumido del agente anestésico. Este sistema tiene el inconveniente de requerir de balanzas electrónicas de alta precisión que permitan obtener el peso de vaporizadores de cerca de 5 lb. y modificaciones del peso de únicamente 10 o 20 gramos por hora de consumo. Si bien este tipo de balanzas se pueden conseguir en el mercado, su costo de adquisición es elevado y su disponibilidad es limitada. El consumo de anestésicos volátiles puede ser medido por el llenado de los vaporizadores con una cantidad conocida de liquido anestésico y el drenaje del vaporizador al final del procedimiento anestésico, de tal manera que la diferencia entre el

volumen inicial de llenado y el volumen final recuperado constituye la cantidad de volumen de anestésico utilizado durante el procedimiento. Pero, si el volumen de llenado es fácil de medir, el volumen de drenaje no, porque la gran superficie interna de los vaporizadores modernos no permite que el volumen drenado sea el volumen total remanente dentro del vaporizador al final del procedimiento.

Los procedimientos anteriormente descritos para calcular el consumo de agente anestésico sirven para determinar el consumo de líquido volátil durante el periodo total de un procedimiento quirúrgico, pero no determinan el consumo de anestésico durante los diferentes momentos de la anestesia. La importancia de medir el consumo anestésico en diferentes momentos del acto anestésico es porque si se determinan los momentos de mayor consumo anestésico se pueden establecer estrategias para disminuir el consumo total de agente anestésico.

Como la cantidad de anestésico utilizado durante una unidad de tiempo es un porcentaje del volumen de gas fresco administrado al paciente, si se conoce la cantidad de flujo de gas fresco es fácil determinar la cantidad de vapor anestésico administrado. Por esto:

$$\text{Volumen de vapor anestésico} = [\%] \text{ anestésico (FGF/100 - } [\%] \text{ anestésico)}$$

Donde: [%] anestésico corresponde a la concentración de anestésico administrada;

**FGF:** Flujo de gas fresco.

Luego se debe calcular la cantidad de anestésico en forma líquida que corresponde al volumen de vapor anestésico. Si se conoce la cantidad de vapor que produce cada ml de líquido anestésico se puede encontrar la cantidad de líquido anestésico utilizado por unidad de tiempo. El costo puede entonces ser calculado con el tamaño y el precio de la botella de agente anestésico.

$$\text{Volumen de liquido} = \text{Volumen de vapor utilizado} / \text{Vapor producido por ml de anestésico}$$

Finalmente, aunque este método puede tener algunas imprecisiones en los cálculos por desviaciones de la temperatura y la presión atmosférica, estos errores son mínimos en el contexto de la determinación de los costos de los agentes halogenados. Cálculos más precisos del consumo de anestésicos halogenados pueden ser realizados involucrando factores como la densidad, la temperatura de vaporización, el peso molecular y la presión barométrica.

$$\text{Costo} = \$ (FGF) T (MAC/100) (PM/d) (PB/R \cdot T^\circ)$$

Donde: \$ = Costo del medicamento por mililitro; FGF = Flujo de gas fresco; T = Tiempo en minutos; MAC = Concentración alveolar mínima; PM = Peso molecular del anestésico; D = Densidad del anestésico; PB = Presión barométrica; R = Constante de los gases (8,314 J/K/mol); T° = Temperatura. En la actualidad se dispone de máquinas de anestesia que monitorizan la cantidad de agente anestésico administrado por unidad de tiempo, lo cual puede ser de gran utilidad para análisis fármaco económicos.

#### 1.4.6 TECNICA DE UTILIZACION DE FLUJOS BAJOS

Se inicia la inducción con pre oxigenación (O<sub>2</sub> al 100% durante 5 minutos, que barre con gran cantidad del N<sub>2</sub>), pre-medicación inmediata con Droperidol 1.25mg, y fentanyl 3µgr/kg, inducción con 3-5 mg/kg de tiopental sódico o propofol 2.5 mg/kg y relajación muscular, con el relajante elegido, a las dosis pertinentes. La intubación endotraqueal o colocación de máscara laríngea. Se conecta al sistema respiratorio de la máquina, este momento es considerado como minuto 0, a 6 L/min de O<sub>2</sub> al 100%, y desflurane al 4% (esto nos producirá 240 ml de vapor anestésico/minuto, que es la dosis de impregnación) o sevoflorano al 3% (equivalente a 180mL de vapor anestésico por min), durante un minuto, conectado al ventilador de la máquina con un volumen corriente equivalente a 10 ml/kg. Luego, (minuto 1), disminuimos los gases frescos a 0.5 L/min para el desflurane, al 8% y a 1 L/min para el **sevoflorano** al 3%, durante 3 min. Transcurridos estos 3 min, minuto 4, cuando utilizamos desflurane, bajamos el flujómetro al flujo correspondiente al oxígeno metabólico, calculado por el número de Brody multiplicado por



10, y colocamos el dial del vaporizador al 13%; con el **sevoflorano** bajamos los flujos a 0.5 L/min y colocamos el vaporizador a 4%; este procedimiento dura 5 minutos. Al minuto 9, el desflurane lo disminuimos a 9% manteniendo nuestro flujómetro en el volúmen calculado para el oxígeno metabólico. Para el **sevoflorano**, mantenemos los flujos en 0.5 L/min, colocando el vaporizador en 3%. Transcurridos 7 minutos del último cambio, (minuto16), disminuimos el desflurane a 7% y con el **sevoflorano**, corregimos los flujos al volumen calculado para el oxígeno metabólico y aumentamos vaporizador a 5%. Debido a que la proporción es la raíz cuadrada del tiempo, vemos que la diferencia entre uno y otro cambio es la progresión de los números impares.

## **1.5 EFECTOS DE LA UTILIZACION DE FLUJOS BAJOS EN LA ANESTESIA GENERAL BALANCEADA**

### **1.5.1 FLUJOS MINIMOS Y ECONOMIA**

En la anestesia inhalatoria, el oxígeno, el aire o el oxido nitroso son utilizados como agentes transportadores de los mas potentes anestésicos halogenados inhalados; con estos sistemas y dependiendo del sistema respiratorio utilizado hasta un 90% del anestésico halogenado puede ser eliminado sin cambio hacia la atmósfera. Por otra parte, aunque la mayoría de las maquinas de anestesia están equipadas con sistemas circulares de re inhalación, los gases anestésicos son administrados habitualmente a flujos de gas fresco de 4 a 6lt/min, porque existe la creencia que con este sistema se controla más fácilmente la profundidad anestésica y se evitan las hipoxias accidentales. La administración de flujo de gas fresco puede ser clasificada como se muestra en la figura 1.

A pesar de lo anterior, la reducción del flujo de gas fresco durante la anestesia inhalatoria puede tener un efecto significativo en el consumo de los anestésicos inhalados y de esta forma en el costo de la administración de la anestesia. Los riesgos potenciales de la administración de anestesia con bajos flujos son la hipoxia, la hipercapnia, la profundidad anestésica inadecuada y la acumulación de gases potencialmente tóxicos. Pero, la utilización de maquinas adecuadamente calibradas en combinación con

adecuados equipos de monitoreo de la función respiratoria, permite la utilización de bajos flujos de gas fresco durante la anestesia sin aumentar el riesgo para los pacientes.

Otras ventajas de la administración de flujos bajos son:

- (1) Conservación del calor y la humedad dentro del circuito respiratorio.
- (2) Disminución de la formación de fluorocarbonados que alteran la capa de ozono y producen el conocido “efecto invernadero” especialmente con los agentes halogenados que únicamente tienen flúor en su estructura molecular.
- (3) Control más preciso de la profundidad anestésica especialmente con los agentes con bajo coeficiente de solubilidad.
- (4) Menor consumo de líquido anestésico a dosis equipotentes de MAC.

Diferentes estudios en la literatura han demostrado una disminución del consumo de anestésico halogenado desde un 18% hasta un 86% con la disminución del flujo de gas fresco. Lockwood y colaboradores han desarrollado un modelo matemático para verificar el consumo de anestésicos inhalatorios en situaciones clínicas reales; con este modelo y con flujos de gas fresco de 1,5lt/min encontró los consumos de agente anestésico que se representan en la gráfica. La figura 2 muestra que ha menores cantidad de FGF el consumo de anestésico es inferior.

Suttner y Boldt han concluido que medidas tan simples como la reducción del flujo de gas fresco durante la anestesia inhalatoria, pueden generar ahorros significativos en el costo de agentes volátiles sin deteriorar el bienestar del paciente o incrementar los eventos adversos. Aunque los ahorros en el costo de los medicamentos anestésicos pueden ser no significativos en el contexto de los costos hospitalarios totales, pequeños ahorros pueden ser importantes, multiplicados por millones de anestesia administradas cada año en el mundo entero. Los nuevos agentes inhalados en razón a su baja solubilidad permiten rápidos cambios en la profundidad anestésica y una mayor economía con flujos de gas fresco disminuidos por la baja captación de estos agentes.

### **1.5.2 CONSIDERACIONES CLINICAS**

Los pacientes que tienen tiempos de recuperación prolongados o que generen sobrecarga de trabajo en el área de recuperación son mas costosos de manejar porque producen bloqueo de esta área, obligando a la cancelación de procedimientos; porque aumentan el consumo de los insumos para su atención (costos directos) e incrementan el costo por el pago al personal de enfermería cuando su contratación se realiza por caso atendido es mayor.

Si la contratación del personal de enfermería es por salario, este es un costo fijo directo, por esto, el impacto generado por la utilización de agentes anestésicos halogenados de baja solubilidad (Desflurano o sevoflurano) se da en la calidad de atención prestada, porque si el paciente se recupera más rápido, el personal de enfermería tendrá más tiempo para vigilar los pacientes Pero, si la contratación es “por caso” hay ahorros financieros significativos cuando se utilizan fármacos halogenados de baja solubilidad. Dexter y Cols. utilizando un modelo matemático han demostrado que bajo estas circunstancias, un despertar mas rápido de la anestesia produce una salida mas rápida de la unidad de cuidado postanestesico y que de esta forma se puede producir ahorros significativos que justifican la utilización de fármacos de baja solubilidad y equipos de monitoria como el análisis bioespectral (BIS).

### **1.5.3 CONTRAINDICACIONES DE LA ANESTESIA GENERAL CON BAJOS FLUJOS DE GAS FRESCO**

1. Anestésias generales de corta duración con mascarilla facial o laríngea.
2. Técnicas que no garanticen el neumotaponamiento de las vías respiratorias (broncoscopías con broncoscopio rígido).
3. Aparatos y equipos técnicamente limitados, con pérdidas elevadas por fugas.
4. Monitorización insuficiente.
5. El pulmón sirve como órgano de eliminación de metabolitos volátiles como la acetona en el coma diabético, metilmercaptanos en el coma hepático, acetaldehído en la intoxicación por paraaldehído, alcohol en la intoxicación etílica y metano que aumenta en la obstrucción intestinal. Es posible que en estos casos la utilización de bajos flujos deba realizarse con precaución para facilitar la eliminación de estas sustancias por el pulmón.

El perfecto hermetismo que se consigue con la mascarilla laríngea correctamente colocada permite la administración de anestésicos generales con flujos bajos sin problemas. La utilización de tubos endotraqueales sin balón en la anestesia pediátrica tampoco impide que se pueda reducir el FGF siempre que la elección del tubo sea adecuada, dado que la captación total de gases en los lactantes y niños pequeños es muy baja y, por ello, la proporción del exceso de gases es comparativamente alta. Las contraindicaciones absolutas son escasas y obvias: intoxicación por humo o gases, hipertermia maligna, sepsis y broncospasmo grave agudo.

## **1.6 SEVOFLORANE**

### **1.6.1 PROPIEDADES FISICOQUIMICAS**

El **sevoflorane** es el fluoro metil 2-2-2-trifluoro 1 etil éter. Es un derivado altamente fluorado del metil isopropil éter. La presencia de flúor en la molécula y no cloro, le confiere menor solubilidad en sangre y disminuye su potencia anestésica. El coeficiente de partición en sangre es muy bajo lo que favorece su rápida captación, similar a la del óxido nitroso, con una mayor rapidez en la inducción y en la recuperación anestésica, con un control más preciso de la concentración alveolar durante el mantenimiento.

El sevoflorano es un líquido claro, incoloro, no inflamable, no combustible. No es explosivo en aire, oxígeno o en una mezcla de oxígeno/óxido nitroso.

Las propiedades físicoquímicas son las siguientes:

- 1) Presión de vapor de agua 157mmHg.
- 2) Peso molecular 200.
- 3) Coeficiente de partición de sangre/gas a 37°C 0.68.
- 4) Coeficiente de partición aceite/gas a 37°C 47.3-57.4.
- 5) Punto de ebullición (°C) 58.2, 6) olor etéreo.
- 6) No necesita de preservante
- 7) No es estable en cal sodada.
- 8) CAM (%) 2.05.
- 9) CAM con óxido nitroso (%) 0.66.

A pesar de su alto peso molecular no es un agente con mayor potencia anestésica. Al igual que los otros halogenados, la CAM se modifica con la edad. El sevoflorano se degrada en la cal sodada, este factor no aumenta significativamente los requerimientos de anestésico como para influir en los costos o en el mantenimiento de un plano anestésico adecuado. Sin embargo, se produce un producto llamado Compuesto A que a determinadas concentraciones puede ser nefrotóxico.

## **1.6.2 PROPIEDADES FARMACOLOGICAS**

### **1.6.2.1 EFECTOS EN EL SISTEMA NERVIOSO CENTRAL**

El efecto de este agente sobre el sistema nervioso central se asemeja mucho a la del isoflorano, con una disminución de la resistencia vascular cerebral con vasodilatación, aumento del flujo sanguíneo cerebral y de la presión intracraneal en forma dependiente de la dosis. El resultado de los efectos encefálicos es de reducción del índice metabólico cerebral. En la anestesia con **sevoflorano** se visualiza en el electroencefalograma un patrón de ondas lentas de gran amplitud, supresión de las descargas y aparición de espigas simples, las cuales aparecen dependiendo de la dosis. A diferencia del isoflorano, aumenta la amplitud de los potenciales evocados somatosensitivos y corticales. En neuroanestesia el agente más utilizado es el isoflorano. Sin embargo, hay numerosos estudios y centros que utilizan el **sevoflorano**, pero se recomienda utilizarlo en 0.5 CAM, y combinado con opiáceos u otros agentes intravenosos. El **sevoflorano** no determina una activación del sistema nervioso simpático. La autorregulación cerebral y la respuesta a la hipocapnia por hiperventilación pulmonar se mantienen cuando se administra por debajo de 1 CAM. Hay autores que plantean que el despertar más rápido podría ser beneficioso en neurocirugía para una evaluación neurológica posoperatoria adecuada más precoz.

### **1.6.2.2 EFECTOS SOBRE EL APARATO RESPIRATORIO**

El **sevoflorano** no tiene efecto irritante a nivel de las vías respiratorias, lo que determina que cuando se realiza una inducción inhalatoria de la anestesia con este agente, no se asocie a un aumento de las secreciones, laringoespasma, tos o dificultad respiratoria. Esto ha llevado a que el sevoflorano reemplace al halotano en la inducción

anestésica de los pacientes pediátricos. Al igual que los otros inhalatorios, tiene un efecto depresor de la ventilación que es dependiente de la dosis administrada y se debe a disminución de la sensibilidad del centro respiratorio al aumento de la presión arterial de CO<sub>2</sub> y a disminución de la presión alveolar de O<sub>2</sub>. Además se ha visto que disminuye la función y el control diafragmático. Al igual que los otros halogenados disminuye la broncoconstricción inducida por histamina.

### 1.6.2.3 EFECTOS EN EL APARATO CARDIOVASCULAR

Como regla general, los efectos hemodinámicos del **sevoflorano** son comparables a los que se producen cuando se utiliza el isoflorano. Se mantiene una buena estabilidad hemodinámica, el gasto cardíaco se preserva, pero la frecuencia cardíaca no aumenta como con el isoflorano. A pesar de lo anteriormente mencionado, la presión arterial se reduce de forma dependiente a la dosis, así como las resistencias vasculares periféricas. La depresión del inotropismo es menor con el **sevoflorano** que cuando se le compara con el halotano. No tiene efecto vasodilatador coronario remarcable, ni un efecto negativo sobre la distribución del flujo sanguíneo en áreas de isquemia miocárdica. Por lo tanto, no exacerba la isquemia miocárdica ni causa efecto de robo coronario (diferencia más importante con el isoflorano). Cuando se administra a las condiciones clínicas habituales, el **sevoflorano** no tiene efecto significativo sobre la conducción auriculo-ventricular, lo que determina un bajo riesgo de potenciación de arritmias inducidas por las catecolaminas. También tiene interacciones con los fármacos calcio antagonistas, los alfa y los beta bloqueadores.

### 1.6.2.4 EFECTOS A NIVEL HEPÁTICO

Diferentes estudios han constatado que durante la anestesia con **sevoflorano** se produce un aumento de las enzimas hepáticas. Se cree que este efecto se debe a la disminución del flujo sanguíneo hepático que se produce durante el acto anestésico más que por una acción directa de este agente sobre el hígado.

No hay trabajos que demuestren que el **sevoflorano** produzca daño hepático directo.

### 1.6.2.5 EFECTOS SOBRE EL MUSCULO ESQUELETICO

El **sevoflorano** al igual que el resto de los inhalados potencia el efecto de los relajantes musculares despolarizantes y no despolarizantes. Cuando se administra a concentraciones adecuadas, el sevoflorano puede producir un grado de relajación muscular suficiente para permitir la intubación orotraqueal pero a dosis que producen depresión cardiovascular significativa.

### 1.6.2.6. EFECTOS SOBRE EL ÚTERO

El **sevoflorane** inhibe la contractilidad uterina en menor grado que el halotano y de manera similar al enflurano.

### 1.6.2.7 EFECTOS A NIVEL RENAL Y ESPLACNICO

El **sevoflorano** no tiene efectos significativos sobre la circulación renal y esplácica por lo que flujo sanguíneo a estos parénquimas se mantiene.

## 1.6.3 METABOLISMO

El metabolismo del **sevoflorane** es aproximadamente de un 3 a 5% y se produce a nivel hepático por el sistema microsomal P450. Hay un mínimo grado de metabolización a nivel renal, pero que no es clínicamente significativo. El metabolismo hepático genera hexafluoroisopropanolol (HFIP) con liberación de fluoruro orgánico y CO<sub>2</sub>. El HFIP es rápidamente conjugado con ácido glucurónico y eliminado. Por lo tanto el impacto clínico de éste compuesto es despreciable.

La concentración que produce de fluoruro inorgánico está lejos de los niveles considerados como nefrotóxicos. Los niveles de fluoruro dependen de la concentración y la duración de la exposición, a pesar de lo cual se ha visto en animales de experimentación que fueron sometidos a exposiciones repetidas, que no se obtuvieron niveles de fluoruro asociados con nefrotoxicidad evidenciado por la ausencia de cambios en la osmolaridad, volumen urinario, creatinemia o azoemia así como cambios histopatológicos renales (en ratas). Las características de solubilidad del **sevoflorane** que

le permiten una rápida y extensa eliminación por vía respiratoria, minimizan el monto del agente disponible para la metabolización y los resultados de la liberación in vivo de fluoruros inorgánicos son considerablemente menores que los esperados por los estudios metabólicos in vitro.

La concentración hallada de fluoruro inorgánico en suero fueron de 20mM/L luego de 30-60 minutos de anestesia con sevoflorane. Luego del cese de la anestesia, las concentraciones retornaron a niveles basales luego de 24 a 48 horas.



## **CAPITULO 2. MATERIAL Y METODOS**

### **2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

¿Existen diferencias significativas en la oxigenación transoperatoria de los pacientes así como en el ahorro del uso del **sevoflorane** con flujos bajos de gas fresco comparado con el uso de flujos altos de gas fresco en pacientes sometidos a anestesia general balanceada?

### **2.2 JUSTIFICACION**

Mediante este estudio se comprobó que el uso de **sevoflorane** (un compuesto tóxico si se utiliza a grandes concentraciones) puede ser totalmente seguro para los pacientes sometidos a anestesia general balanceada si se utiliza con flujos bajos de gas fresco, con una oxigenación transoperatoria adecuada, así como el ahorro de grandes cantidades del **sevoflorane**, evitando así también la contaminación del ambiente de trabajo.

### **2.3 OBJETIVOS**

#### **2.3.1 GENERAL**

Determinar que la utilización de **sevoflorane** con flujos de gas fresco bajo ofrece un mayor costo beneficio para el paciente; comparado con la utilización de **sevoflorane** con flujos de gas fresco alto. Debido a que la oxigenación transoperatoria es adecuada, mostrando también el ahorro en la utilización del **sevoflorane** así como la disminución de la contaminación ambiental.

#### **2.3.2 SECUNDARIOS**

En caso de que se apruebe la hipótesis de trabajo con alto nivel de confianza, se recomendará a los médicos anestesiólogos del Hospital General del Estado de Sonora, el uso de **sevoflorane** con flujos bajos de gas fresco, debido a que no ofrece mayores riesgos para los pacientes, y se obtiene un menor costo que beneficia al Hospital.

## 2.4 HIPOTESIS

El **sevoflorane** utilizado con bajos flujos de gas fresco, ofrece una oxigenación adecuada para los pacientes demostrada mediante gasometría, así como un mejor costo beneficio para la institución, ya que se gasta menor cantidad de **sevoflorane** y se ha demostrado que existe una menor contaminación ambiental tanto a nivel intrahospitalaria como extrahospitalaria.

## 2.5 DESCRIPCION GENERAL DEL ESTUDIO

Se realizó un estudio de investigación prospectivo, longitudinal, abierto, comparativo y aleatorio; utilizando pacientes con clasificación ASA I y II, seleccionados de manera aleatoria a quienes se les realizó cirugía general mayor utilizando anestesia general balanceada por mas de dos horas. Se dividieron los pacientes en dos grupos de estudio con quince pacientes cada uno.

El primer grupo (Grupo 1) donde se utilizaron flujos altos de gas fresco ( $O_2$ ) a 2ml/min en el transquirurgico y un segundo grupo (Grupo 2) en donde se utilizaron flujos bajos de gas fresco bajo a 0.8ml/min. Se incluyeron en total treinta pacientes en el estudio. Así mismo se les tomo a ambos grupos una gasometría previa al inicio de la cirugía y otra durante el transoperatorio para demostrar la adecuada oxigenación en ambos grupos durante el transquirurgico, demostrando de esta manera que el uso de gas fresco con flujos bajos puede ser totalmente seguro para el paciente. Al inicio de cada cirugía se llenaba el vaporizador con una jeringa de 20ml con sevoflorane, y al terminar la cirugía se rellenaba con dicha jeringa el mismo vaporizador para demostrar de esta manera cuanto fue el gasto total en mililitros de **sevoflorane** utilizado durante la cirugía, tanto con flujos bajos o altos de gas fresco.

## 2.6 CRITERIOS DE SELECCIÓN

Aleatoriamente se eligieron pacientes adultos mayores de 18 años, ASA I y II, a quienes se les realizó cirugía mayor sometidos a anestesia general balanceada por más de dos horas. El primer grupo al cual se le administró flujos altos de gas fresco (2ml/min)

siendo este el grupo control comparado con el segundo grupo el cual fue sometido a dosis de flujos bajos de gas fresco (0.8ml/min).

## **2.7 CRITERIOS DE EXCLUSIÓN**

Se excluyeron a todos aquellos pacientes que fueran sometidos a cirugía de urgencia, que tuvieran alguna alteración metabólica descontrolada tal como hipertensión diabetes. Además a todos aquellos pacientes que además se les administrara anestesia regional, como anestesia peridural. Se excluyó además a todos aquellos pacientes con predicción de vía aérea difícil, o que contaran con algún desequilibrio en la gasometría que se tomo previa a la cirugía. También se excluyeron a todos aquellos pacientes que contaran con alguna alteración psicopatológica.

## **2.8 RECOLECCION DE DATOS**

Se recolectaron datos de acuerdo al registro hemodinámico transoperatorio de saturación de oxígeno, así como la PaO<sub>2</sub> y la PaCO<sub>2</sub> tomada durante el transquirúrgico a todos los pacientes. Posteriormente se midió al final de cada cirugía el sevoflorane utilizado en mililitros y, se anoto en cada hoja de registro tanto para el grupo en el que se utilizó flujo de gas fresco alto tanto como para el grupo en donde se utilizaron flujos de gas fresco bajo. Posteriormente se pasaron todos los datos a hojas del programa Excel para realizar el análisis de estadística descriptiva.

## **2.9 ANALISIS ESTADISTICO**

Se incluyeron a 30 pacientes en este estudio prospectivo, de marzo del 2011 a junio del 2011.

GRAFICA 1. Se incluyeron 15 pacientes en el grupo 1 en donde se administraron flujos altos de oxígeno y 15 pacientes en el grupo 2, en donde se emplearon flujos bajos de oxígeno.

GRAFICA 2. En el grupo 1 (flujos altos de oxígeno) el 60% fueron pacientes mujeres y el 40% de los pacientes estudiados fueron hombres.

GRAFICA 3. En el grupo 2 (flujos bajos de oxígeno) el 30% fueron pacientes femeninas y el 70% de los pacientes estudiados fueron hombres.

GRAFICA 4. El rango de edad de los pacientes estudiados fue de los 18 a los 65 años, encontrándose una media de edad de de 53.2 años, encontrándose que el grupo que presenta mayor pacientes es el grupo de 51-60 años, el cual incluyó a 11 pacientes.

### **2.9.1 OXIGENACION TRANSOPERATORIA.**

Las variables estudiadas en los treinta pacientes, fueron la saturación de oxígeno que presentaban en el transoperatorio los pacientes, mediante monitorización tipo I, así como la presión arterial de oxígeno y la presión arterial de dióxido de carbono, la cual fue medida durante el transoperatorio mediante gasometría arterial que se le tomo a cada uno de los pacientes.

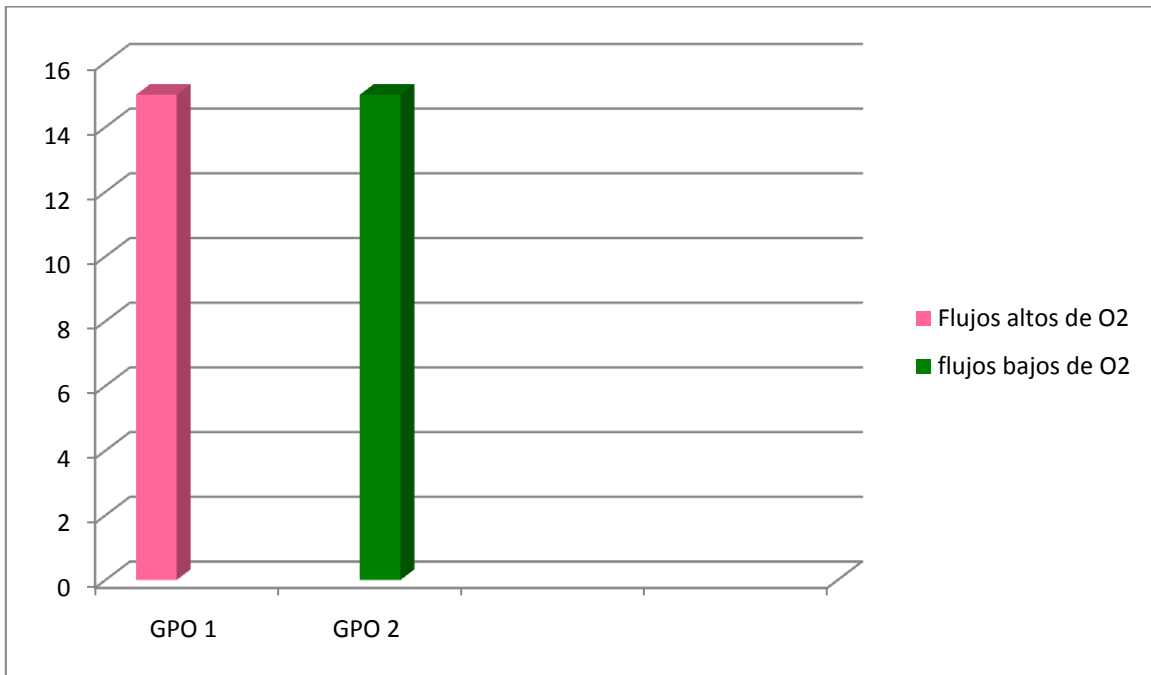
GRAFICA 5. En esta gráfica se demuestra que el promedio de la saturación de oxígeno para los pacientes que recibieron flujos altos de oxígeno fue del 98.9, esto demuestra que los pacientes recibían una cantidad adecuada de oxígeno ya que ninguno presentó desaturación durante el transoperatorio, corroborándose con la adecuada oxigenación mediante la gasometría arterial, ya que la media de la PaO<sub>2</sub> fue de 201.8, lo que significa que los pacientes estaban recibiendo flujos de oxígeno alto, no tóxico. Esto mismo se corrobora con la PaCO<sub>2</sub> encontrándose que la media fue de 38.6, lo que significa que ninguno de los pacientes presentaron datos de hipoxia o hipoxemia.

GRAFICA 6. En esta gráfica se demuestra el promedio de saturación de oxígeno para el grupo de pacientes que recibieron flujos bajos de oxígeno, siendo este de 98, no presentaron alguna desaturación durante el transoperatorio. Así mismo se les tomo a estos pacientes gasometría durante el transoperatorio demostrando que el promedio de la PaO<sub>2</sub> fue de 90.9 y el promedio de la PaCO<sub>2</sub> de 40.6, lo cual indica que los pacientes estuvieron adecuadamente oxigenados durante el transoperatorio, no presentando de esta manera hipoxia o hipoxemia

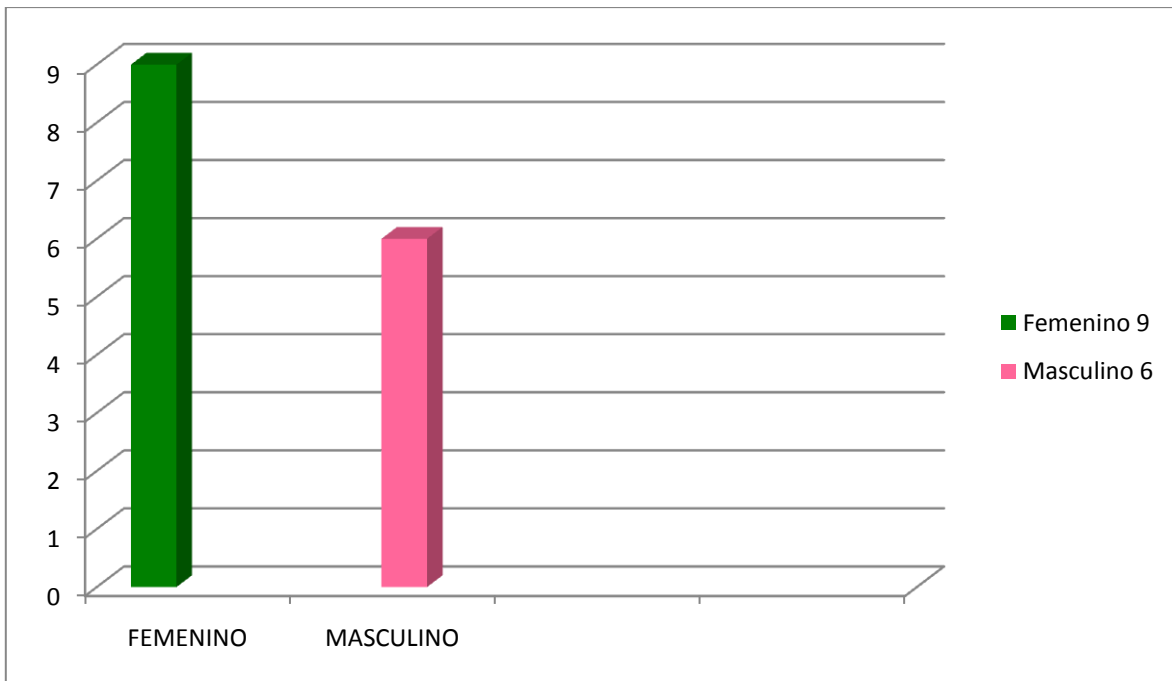
GRAFICA 7. En esta gráfica se compara la oxigenación transoperatoria de ambos grupos, encontrándose que la media entre ambos grupos para la saturación de oxígeno es de 98.4, para la PaO<sub>2</sub> la media fue de 146.3 y para la PaCO<sub>2</sub> la media fue de 39.6. La comparación entre ambos grupos

GRAFICA 8. En esta gráfica se demuestra cuanto fue el gasto de sevoflourane en mililitros, para cada grupo encontrándose que la media para el Grupo 1 fue de 59.6 y para el Grupo 2 la media fue de 21. Por lo cual se demuestra que el ahorro de sevoflourane fue mucho mayor para el Grupo 2, que para el Grupo 1.

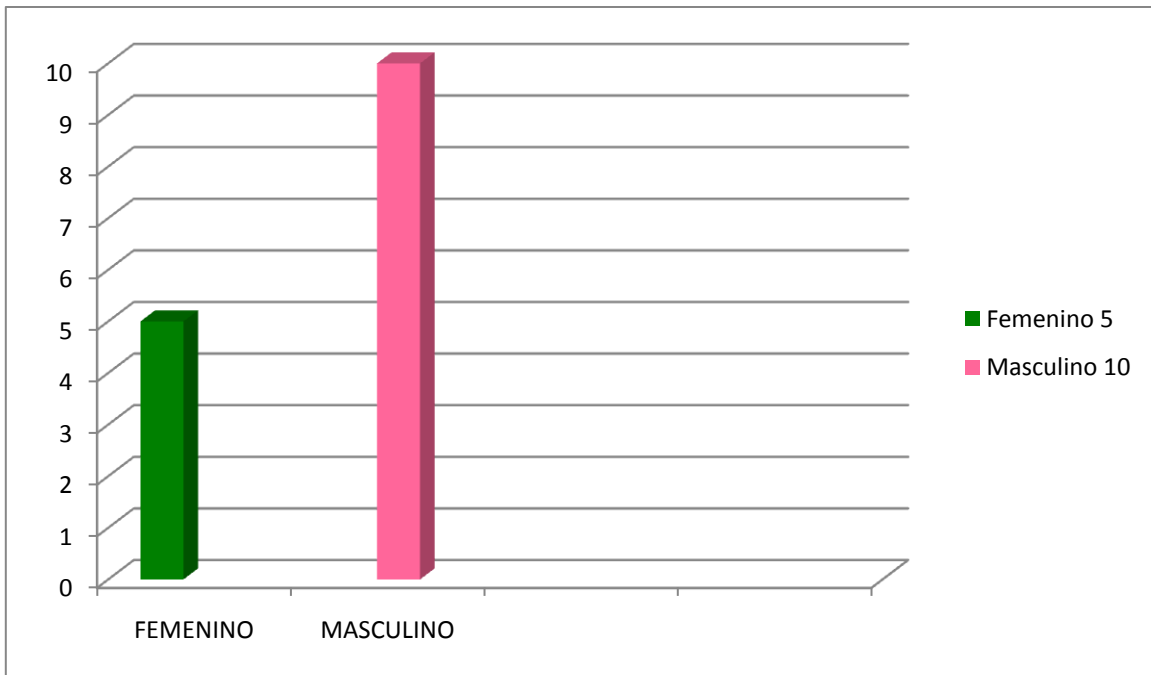
GRAFICA 1 NÚMERO TOTAL DE PACIENTES EN EL ESTUDIO



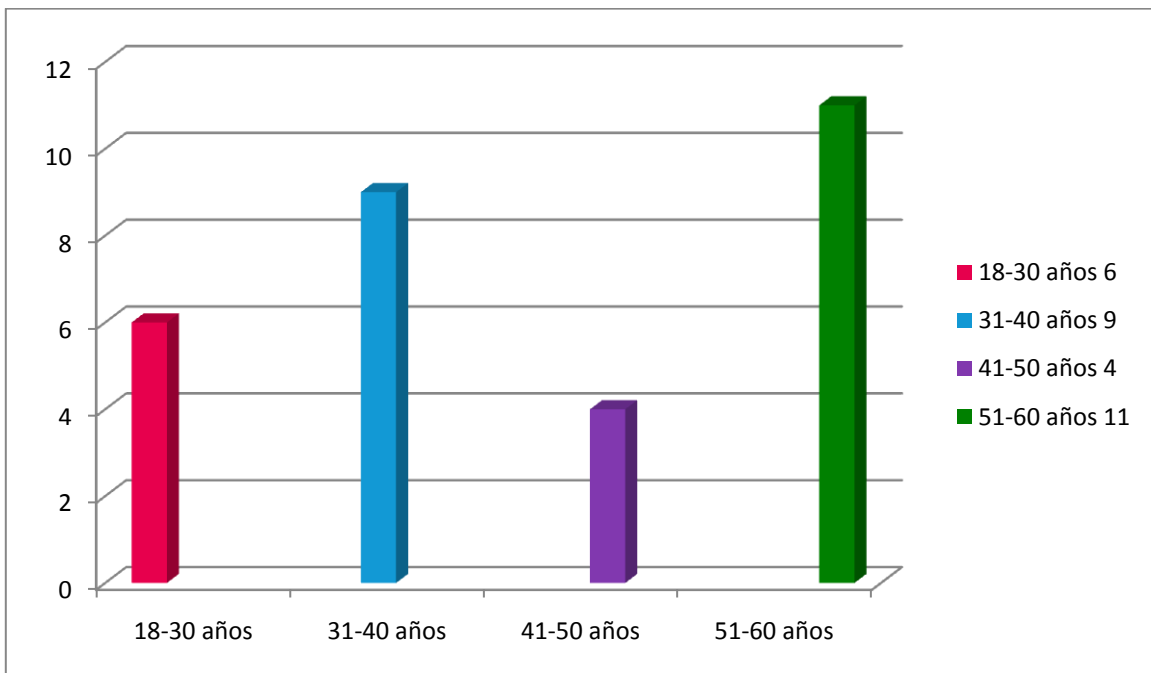
GRAFICA 2 NUMERO TOTAL DE PACIENTES EN EL GRUPO DE FLUJOS ALTOS DE O<sub>2</sub>



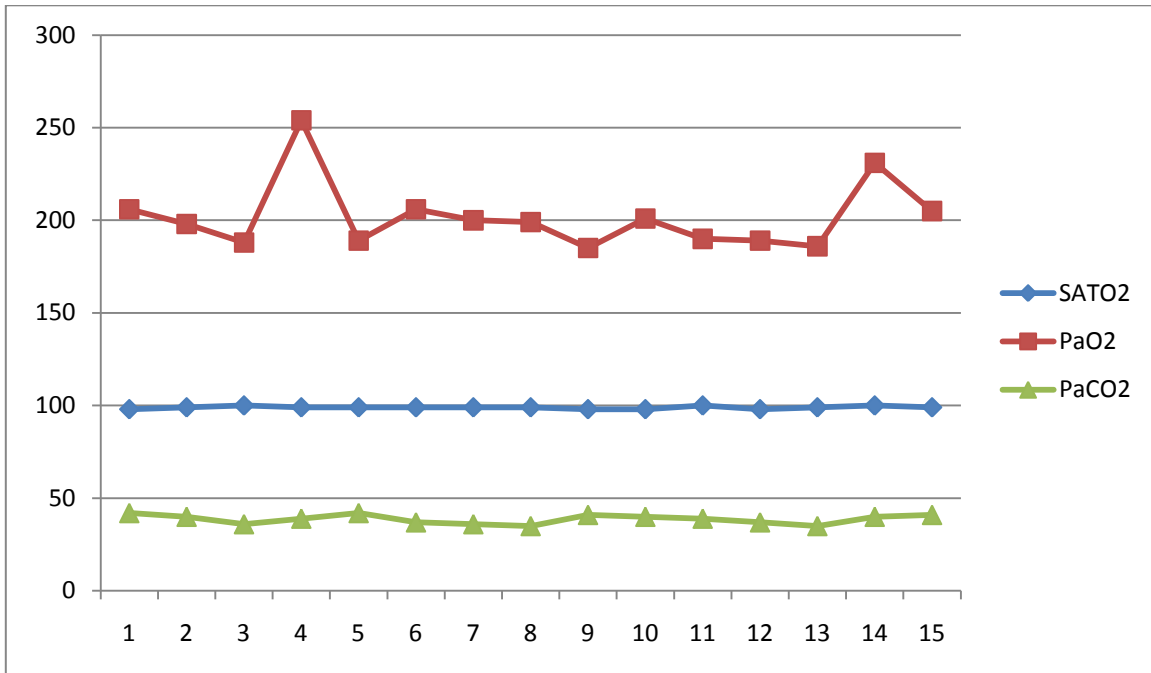
GRAFICA 3 NUMERO TOTAL DE PACIENTES EN EL GRUPO DE FLUJOS BAJOS DE O<sub>2</sub>



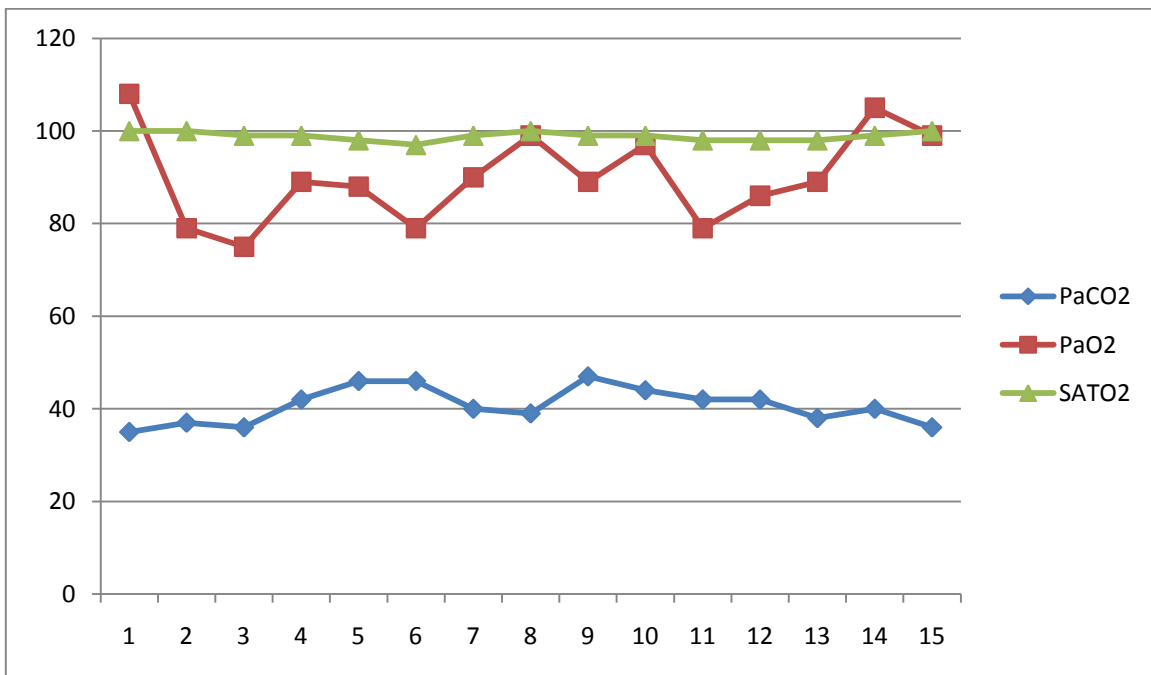
GRAFICA 4 GRUPOS POR EDADES EN EL ESTUDIO



GRAFICA 5 OXIGENACION TRANSOPERATORIA ADECUADA EN EL GRUPO DE FLUJOS ALTOS DE OXIGENO

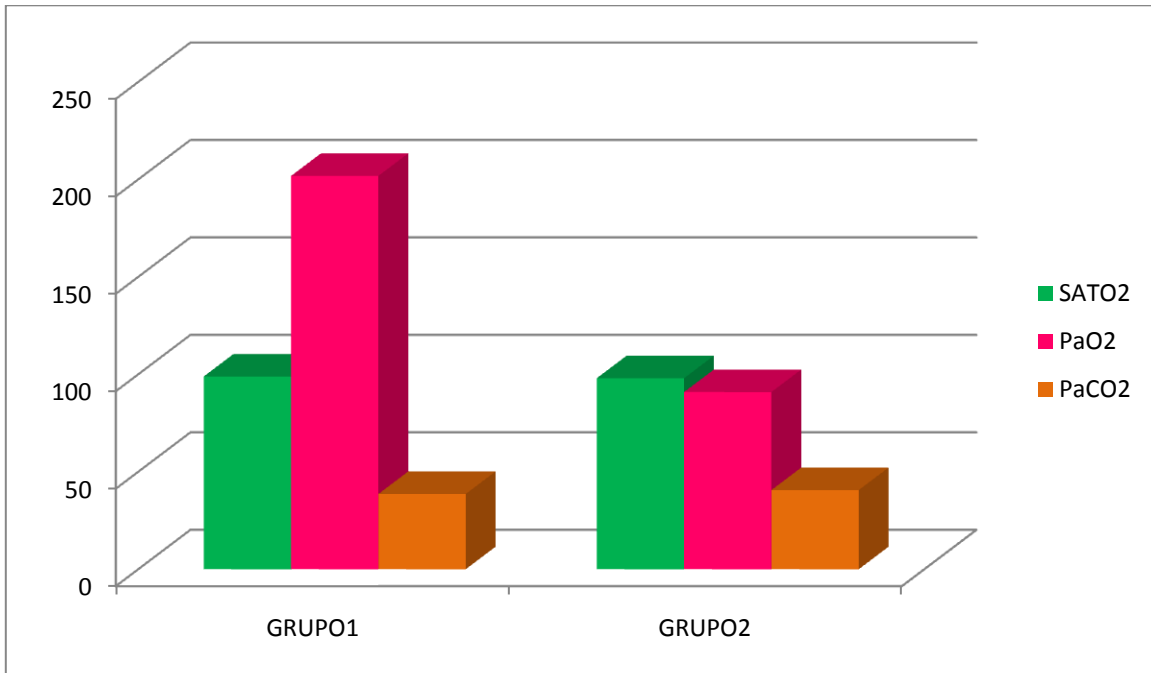


GRAFICA 6 OXIGENACION ADECUADA EN EL GRUPO DE FLUJOS BAJOS DE OXIGENO

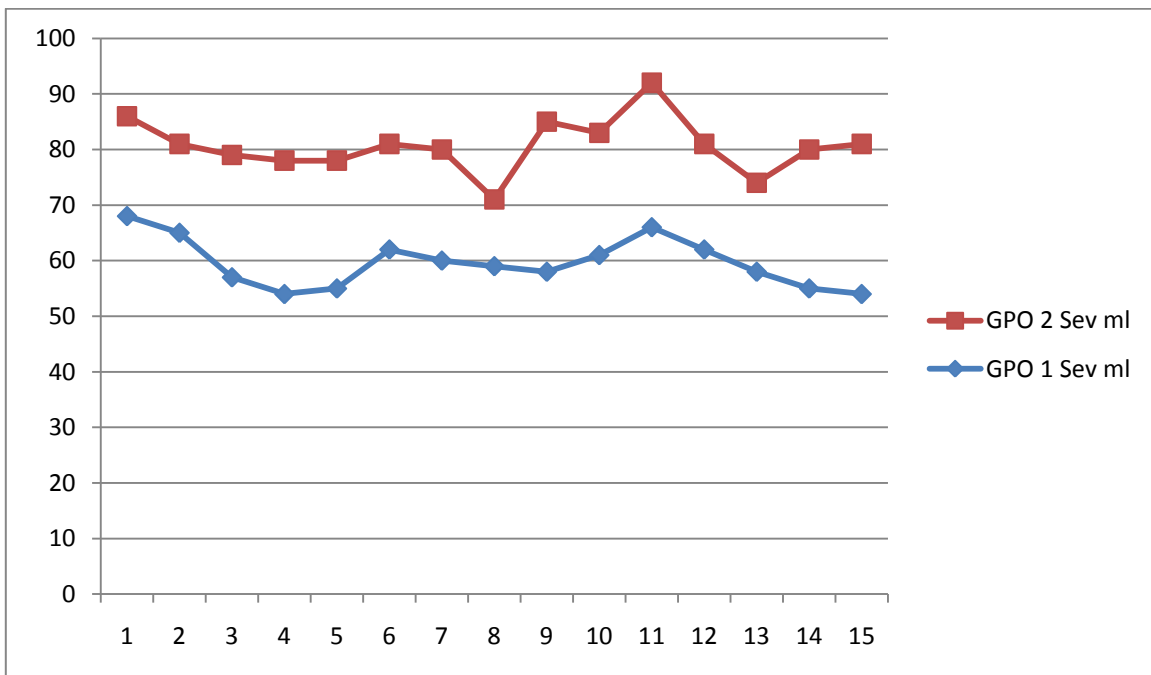




GRAFICA 7 COMPARACION DE LA OXIGENACION TRANSOPERATORIA ADECUADA EN LOS DOS GRUPOS



GRAFICA 8 GASTO DE SEVOFLORANE EN ML EN EL GRUPO DE ALTOS FLUJOS DE OXIGENO Y EN EL GRUPO DE BAJOS FLUJOS DE OXIGENO



## CAPITULO III. RESULTADOS, DISCUSIÓN, CONCLUSIONES

### 3.1 RESULTADOS

Habiendo realizado este estudio prospectivo, observacional, descriptivo y transversal durante el período de Marzo del 2011 a Junio del 2011, en el Hospital General del Estado, después del estudio de treinta pacientes en total, en donde se estudiaron 15 pacientes en el Grupo 1 al cual se le administró flujos altos de oxígeno a 2ml/min y el Grupo 2 al cual se le administraron flujos bajos de oxígeno a 0.8ml, en donde se estudiaron las variables de edad, peso, oxigenación transoperatoria (PaO<sub>2</sub>, PaCO<sub>2</sub> y SatO<sub>2</sub>) así como el gasto de sevoflorane en mililitros en ambos grupos.

Para las variables de edad y peso, se encontró que en ambos grupos no se encontraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) ya que en ambos grupos fueron similares tanto la edad y el peso. Se agruparon los pacientes por grupos de edad no encontrándose diferencias en ambos grupos estudiados y encontrándose que la media para el peso en el Grupo 1 fue de 70 y del Grupo 2 de 74.4 no encontrándose así mismo tampoco diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).

La adecuada oxigenación para ambos grupos, fue medida mediante gasometrías tomadas a los treinta pacientes durante el transoperatorio en donde se midieron las variables de PaO<sub>2</sub>, PaCO<sub>2</sub> y Saturación de O<sub>2</sub>. Se demostró que la media para el Grupo 1 fue de 98.9 y para el Grupo 2 fue de 40.6, en donde se observaron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ), demostrándose de esta manera que los pacientes del Grupo 1 reciben una adecuada oxigenación transoperatoria aunque en el Grupo 2 no se presentaron datos de hipoxia o hipoxemia severa. La media para la PaO<sub>2</sub> en el Grupo 1 fue de 201.8 y para el Grupo 2 de 90.06, encontrándose una diferencia significativa en ambos grupos ( $p > 0.05$ ), ya que en el Grupo 1 se administraron flujos altos de oxígeno, mostrándose en los resultados de gasometría que la presión arterial de oxígeno fue mucho mayor, que en aquellos pacientes que recibieron flujos bajos de oxígeno. En cuanto a la saturación de oxígeno en el Grupo 1 se encontró que la media fue de 99 y para el Grupo 2 de 98, no encontrándose diferencia significativa en ambos grupos ( $p < 0.05$ ).

El gasto de sevoflorane en mililitros en ambos grupos, medido al final de cada anestesia general balanceada, para el Grupo 1 fue de 59.6 y para el Grupo 2 fue de 21.06,

encontrándose que el consumo de sevoflorane fue mucho menor en el grupo 2 comparándose que en Grupo 1 ( $p > 0.05$ ).

En la Tabla 1, se muestran los resultados según la P de Pearson, la U de Mann-Whitney y la T de student.

## 3.2 DISCUSION

En este estudio se observó y se corroboró que los pacientes que reciben flujos bajos de oxígeno tienen una oxigenación transoperatoria adecuada, comparándose con aquellos pacientes que recibieron flujos altos de oxígeno ya que en múltiples estudios realizados anteriormente se ha demostrado que los flujos altos son seguros para los pacientes.

Mediante las variables estudiadas en el Grupo 2, con la gasometría y la saturación de oxígeno, se demostró que la oxigenación transoperatoria es adecuada, con flujos bajos de oxígeno, no demostrando algún dato de hipoxia o hipoxemia severa, tanto en la gasometría, como en la hemodinamia transoperatoria de los pacientes.

En cuanto al gasto medido en mililitros de sevoflorane se demostró que mediante la administración de flujos bajos de oxígeno, para los pacientes estudiados, el consumo fue mucho menor que en aquellos pacientes que recibieron los flujos altos de oxígeno. Así mismo se observó que durante el transoperatorio los pacientes se mantuvieron hemodinámicamente estable, con un plano anestésico adecuado no demostrando así despertar durante la cirugía o alguna elevación en la presión arterial media.

Se cumplió con lo objetivos planteados en el capítulo II de éste estudio, además de establecer las relaciones inherentes entre éste apartado y la literatura contemplada en el capítulo I.

### 3.3 CONCLUSIONES

- 1) El uso de flujos bajos de oxígeno durante la anestesia general balanceada, es totalmente segura para los pacientes, ya que no presentan datos de hipoxia o hipoxemia severa. Ya que se demostró en este estudio que la PaO<sub>2</sub>, PaCO<sub>2</sub> y la saturación de oxígeno se mantienen dentro de los parámetros normales
- 2) Así mismo se demuestra que los pacientes permanecen hemodinámicamente estables durante el transoperatorio, no presentando elevación de signos vitales registrados durante el mantenimiento de la anestesia general balanceada.
- 3) El uso de flujos bajos de oxígeno representan una gran ventaja en cuanto al consumo de sevoflorane, ya que se ahorran grandes cantidades del líquido anestésico durante el transoperatorio, representando esto un mayor costo beneficio para las instituciones hospitalarias así como para los pacientes.
- 4) Se ha demostrado por igual en varios artículos que el menor consumo de sevoflorane mediante la administración de flujos bajos de oxígeno, produce una menor contaminación intrahospitalaria tanto para el personal médico, de enfermería y para el mismo paciente.
- 5) Por lo que se recomienda ampliamente el uso de flujos bajos de oxígeno durante la anestesia general balanceada, ya que hay menor contaminación, la oxigenación transoperatoria es adecuada y el consumo de sevoflorane es menor, con un mayor costo beneficio para los pacientes y para el hospital.

## BIBLIOGRAFIA

1. The effects of fresh gas flow on the amount of sevoflurane vaporized during 1 minimum alveolar concentration anaesthesia for day surgery: a clinical study; *Acta de anestesiología Escandinava*, 2007, Vol 17, pp 245-62
2. The sevoflurane saving capacity of a new anaesthetic agent conserving device compared with a low flow circle system, *Acta de Anestesiología Escandinava*, 2002, Vol 46, pp 506-523
3. Low flow, minimal flow and closed circuit system inhalational anesthesia in modern clinical practice,
4. Anestesia Segura con Flujos Bajos; Ricardo Carrillo Cifuentes, *Revista Mexicana de Anestesiología*, 2005, Vol 5, pp 506-523
5. The Theoretical Ideal Fresh-Gas Flow sequence al the start of low-flow anaesthesia, *Anaesthesia Magazine*, 1998, Vol. 53 pp 264-272
6. Fresh gas-flow is not the only determinant of volatile agent consumption: a multi centre study of low-flow anaesthesia; *British Journal of Anaesthesia*, 2002, Vol. 88, pp 46-55
7. The Effect of a Model-Based Predictive Display on the Control of End-Tidal Sevoflurane Concentrations During Low-Flow Anesthesia; *Anaesthesia and Analgesia*; 2004, Vol. 99 pp 1159-63
8. Low-Flow Desflurane and Sevoflurane Anesthesia Minimally Affect Hepatic Integrity and Function in Elderly Patients; *Anaesthesia and Analgesia*, 2000, Vol.91, pp 206-12
9. The effect of increased apparatus dead space and tidal volumes on carbon dioxide elimination and oxygen saturations in a low-flow anesthesia system; *Journal of Clinical Anaesthesia*, 2008, Vol. 20 pp 170-174

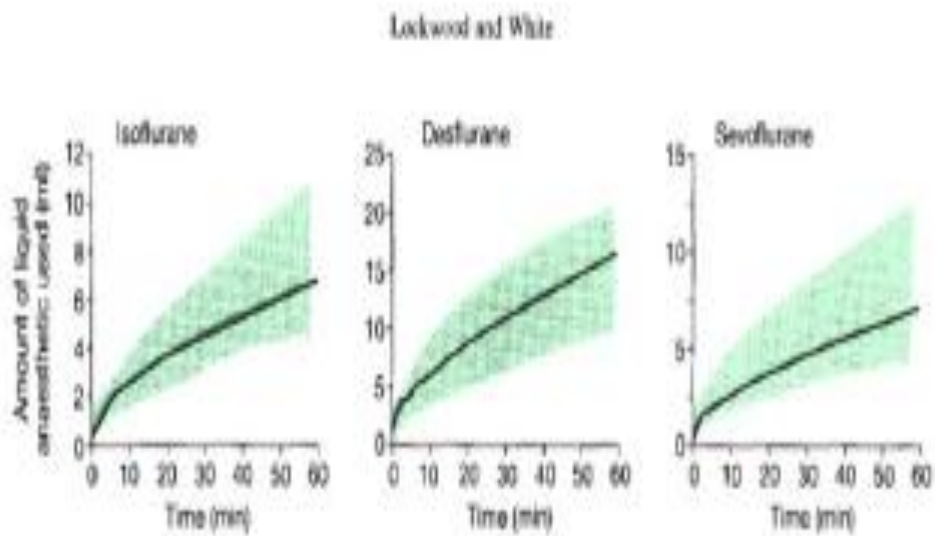
10. Low flow, minimal flow and closed circuit system inhalational anesthesia in modern clinical practice; *Journal of Clinical Anaesthesia*, 2008, Vol. 1 pp 33-36
11. Model for the administration of low-flow anaesthesia, *British Journal of Anaesthesia*, 1998, Vol. 81, pp161-170
12. Degradation products of sevoflurane during low-flow anaesthesia, *British Journal of Anaesthesia*, 1995, Vol. 74, pp 56-59
13. Long-Duration Low-Flow Sevoflurane and Isoflurane Effects on Postoperative Renal and Hepatic Function; *Anaesthesia and Analgesia*, 2001, Vol. 93, pp 1511-20
14. The Effect of Remifentanil Infusion on Sevoflurane Consumption with Bis Monitoring; *KÜ Tıp Fak Derg* 2007; 9(3) pp 1302-1314
15. Compound A Concentrations During Low- Flow Sevoflurane Anesthesia Correlate Directly with the Concentration of Monovalent Bases in Carbon Dioxide Absorbents; *Anaesthesia and Analgesia*, 2000, Vol. 91, pp 434-9
16. Low-Flow (1 lt/min) of Sevoflurane, is it safe?; *Journal of Anaesthesiology*, 1997, Vol. 86 pp 1225-7
17. PRINCIPIOS DE LA ANESTESIA CON BAJOS FLUJOS, *Revista española de anestesiología*, Vol. 56, pp 1-56
18. Captación de agentes anestésicos administrados en flujos bajos y en anestesia en circuito cerrado; *Revista Mexicana de Anestesiología*, 1998, Vol. 8, pp 231-234
19. *Farmacología de Antonio Aldrete*, 2006, pp 232-233

## ANEXOS

FIGURA 1

CLASIFICACIÓN	FLUJO DE GAS FRESCO
Flujo metabólico	0,25 lt/min
Flujo mínimo	0,25 – 0,5 lt/min
Bajo flujo	0,5 – 1 lt/min
Flujo medio	1 – 2 lt/min
Alto flujo	2 – 4 lt/min
Flujo muy alto	> 4 lt/min

FIGURA 2





**TABLA 1.** Parámetros físicos, de oxigenación transoperatoria y el consumo de sevoflorane, según el uso de flujos de oxígeno

<b>Parámetro</b>	<b>Flujos altos de O<sub>2</sub> Grupo 1 (n=15)</b>	<b>Flujos bajos de O<sub>2</sub> Grupo 2 (n=15)</b>	<b>P***</b>
<b>Edad (años)</b>	43 (32.2, 50.0)	38.7 (30.1,47.2)	NS
<b>Peso (kg)</b>	74.4 (69.5, 79.2)	70 (63.9, 76.0)	NS
<b>TA media</b>	70.0(66.8, 73.2)	71.2 (67.5, 74.8)	NS
<b>PaO<sub>2</sub></b>	201.8 (191.5, 212)	90.0 (84.5,95.5)	P>0.05
<b>PaCO<sub>2</sub></b>	38.9 (38.5, 39.2)	40.6 (38.5, 42.8)	P>0.05
<b>SatO<sub>2</sub></b>	99±0.4	98±0.9	NS
<b>Consumo de sevoflorane (ml)</b>	59.6±40.04 (57.1,60.0)	21.06±4.44 (18.6,23.5)	P>0.05