

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
FACULTAD DE MEDICINA**

**Hospital Universitario “Dr. José Eleuterio González”**



**UANL**

**VOLUMEN% MÍNIMO REQUERIDO DE SEVOFLURANO PARA PRODUCIR  
INCONSCIENCIA TRANSOPERATORIA GUIADO POR SEDLINE EN  
ANESTESIA GENERAL CON ANESTESIA EPIDURAL CONTINUA**

**POR**

**DRA. ALESSANDRA GISELLE ROSAS GARCÍA**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE  
ESPECIALISTA EN  
ANESTESIOLOGIA**

**DICIEMBRE 2025**

DICIEMBRE 2025

**VOLUMEN% MÍNIMO REQUERIDO DE SEVOFLURANO PARA PRODUCIR  
INCONSCIENCIA TRANSOPERATORIA GUIADO POR SEDLINE EN  
ANESTESIA GENERAL CON ANESTESIA EPIDURAL CONTINUA**

Aprobación de la tesis:

---

**Dra. Teresa Adriana Nava Obregón**  
Director de tesis

---

**Dra. Ana María Espinosa Galindo**  
Codirector de tesis

---

**Dra. Hilda Alicia Llanes Garza**  
Coordinador de Investigación del Departamento de Anestesiología

---

**Dra. Norma Guadalupe López Cabrera**  
Jefa de Enseñanza del Departamento de Anestesiología

---

**Dr. med. Dionicio Palacios Ríos**  
Jefe del Servicio de Anestesiología

---

**Dr. med. Felipe Arturo Morales Martínez**  
Subdirector de Estudios de Posgrado

## DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS

A Dios, al universo, a esa misma fuerza amorosa que me sostiene y me cuida, cuya presencia ha sido mi refugio y mi guía incluso en los días más difíciles. A Él, que ha puesto luz donde hubo dudas, calma donde hubo temor y propósito en cada paso. Todo lo que he logrado es reflejo de Su dirección, y la perfección con la que acomoda los tiempos y los caminos.

A mis padres, Mireya Edith García Flores y Alejandro Rosas Licona, por su amor incondicional y por enseñarme el valor del trabajo, la disciplina y la bondad. Gracias por sostenerme siempre, incluso en los días en que yo misma dudé.

A mi hermana, Meredith Arantxa Rosas García, cuya existencia ha sido un abrazo constante en mi vida, y a veces, un adorable dolor de cabeza. Gracias por tu cariño, tu complicidad y por acompañarme incluso en silencio y a la distancia. Tu apoyo, tus palabras y tu manera única de estar han sido un sostén genuino en este camino. Eres una parte fundamental de mi fuerza, y comparto este logro contigo.

Y de manera muy especial, a mi novio, Oscar Serrano Trejo, quien me motiva a ser mejor cada día en todos los aspectos de mi vida. Gracias por tu apoyo, tu paciencia, tu amor y por caminar conmigo durante este proceso.

A mi perrita Kira, que con su compañía silenciosa y su amor incondicional estuvo conmigo en cada desvelo, cada madrugada de estudio y cada momento de cansancio. Desde que llegó a mi vida, ha sido calma, ternura y un recordatorio constante de que incluso los días más difíciles pueden sentirse más ligeros. Gracias por ser luz, compañía y hogar en este camino.

A los pacientes que he tenido el honor de acompañar, quienes han marcado profundamente mi vida profesional y humana, recordándome la responsabilidad y el privilegio que conlleva ejercer la medicina.

A mis maestros, tutores y jefes de servicio, cuyos conocimientos, exigencia y compromiso con la enseñanza moldearon la profesional que soy hoy. De manera muy especial, a la Dra. Ana María Espinosa Galindo, cuya guía, apoyo y confianza fueron un pilar constante durante toda mi residencia. Su acompañamiento, tanto en lo profesional como en lo personal, dejó una huella profunda en mi formación y en la mujer que estoy construyendo.

A mis amigos de residencia, que se convirtieron en una familia elegida. Gracias por compartir guardias, desvelos, aprendizajes, risas y retos que solo quienes transitan este camino pueden comprender.

A todo el equipo de quirófano, anestesiología y enfermería, por su profesionalismo, colaboración diaria y por ser parte fundamental de mi desarrollo clínico.

A las personas fuera del hospital que me acompañaron con apoyo, escucha, palabras de aliento y momentos de luz cuando más los necesité.

Finalmente, agradezco a todos aquellos que, de una u otra forma, fueron parte de este camino. Cada gesto, cada enseñanza y cada experiencia vivida se reflejan hoy en esta tesis.

## TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE ABREVIATURAS .....	vii
LISTA DE TABLAS .....	viii
LISTA DE FIGURAS .....	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT.....	xi
CAPÍTULO I .....	1
ANTECEDENTES GENERALES .....	1
CAPÍTULO II .....	6
HIPÓTESIS.....	6
CAPÍTULO III .....	7
PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	7
CAPÍTULO IV.....	8
OBJETIVOS.....	8
OBJETIVO PRIMARIO.....	8
OBJETIVO SECUNDARIOS .....	8
CAPÍTULO V.....	9
JUSTIFICACIÓN.....	9
CAPÍTULO VI.....	11
MATERIAL Y MÉTODOS.....	10
TIPO Y DISEÑO DE ESTUDIO.....	10
POBLACIÓN DE ESTUDIO .....	10
CRITERIOS DE INCLUSIÓN .....	10
CRITERIOS DE EXCLUSIÓN.....	11
CRITERIOS DE ELIMINACIÓN .....	11
PROTOCOLO DE ESTUDIO .....	12
CAPÍTULO VII.....	14
ASPECTOS ÉTICOS Y DE BIOSEGURIDAD .....	14
CAPÍTULO VIII.....	15
ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	15
TABLA DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....	16
CÁLCULO DEL TAMAÑO DE LA MUESTRA.....	18

CAPÍTULO IX.....	19
MECANISMOS DE CONFIDENCIALIDAD .....	19
CAPÍTULO X.....	20
OBTENCIÓN DE CONSENTIMIENTO INFORMADO .....	20
CAPÍTULO XI.....	21
RESULTADOS.....	21
CAPÍTULO XII.....	28
DISCUSIÓN .....	28
CAPÍTULO XIII.....	31
CONCLUSIONES .....	31
CAPÍTULO XIV.....	32
BIBLIOGRAFÍA .....	32
CAPÍTULO XV.....	34
RESUMEN AUTOBIOGRÁFICO.....	34

## LISTA DE ABREVIATURAS

**AINE:** Antiinflamatorios no esteroideos

**ASA:** American Society of Anesthesiologists (Clasificación del estado físico)

**BIS:** Biespectral Index

**EtCO<sub>2</sub>:** End-tidal CO<sub>2</sub> (Presión parcial de CO<sub>2</sub> al final de la espiración)

**EEG:** Electroencefalografía

**GCS:** Glasgow Coma Scale

**ICH-GCP:** International Council for Harmonisation – Good Clinical Practice

**MAC:** Minimum Alveolar Concentration

**PAM:** Presión arterial media

**RASS:** Richmond Agitation-Sedation Scale

**Sedline:** Sistema de monitorización cerebral (EEG frontal)

**TAS:** Presión arterial sistólica

**TAD:** Presión arterial diastólica

**Vol%Sevo:** Volumen% de sevoflurano

## **LISTA DE TABLAS**

<b>Número</b>	<b>Título de la Tabla</b>	<b>Página</b>
1	Características clínicas de los pacientes sometidos a nefrectomía laparoscópica	21
2	Parámetros fisiológicos monitorizados durante la nefrectomía laparoscópica	22

## LISTA DE FIGURAS

<b>Número</b>	<b>Título de la Tabla</b>	<b>Página</b>
1	Gráfica de dispersión del índice PSI en función del tiempo	24
2	Gráfica de dispersión del Vol% de sevoflurano a lo largo del tiempo	25
3	Gráfica de dispersión que muestra la relación bivariada entre el vol% de sevoflurano y el índice PSI, estratificada por paciente	26

## RESUMEN

**Introducción:** La anestesia general combinada con anestesia epidural se utiliza para mejorar el control del dolor perioperatorio y disminuir la necesidad de agentes inhalados como el sevoflurano. Evaluar la profundidad anestésica con herramientas como el índice PSI del monitor SedLine permite ajustar con mayor precisión la dosis del agente inhalado.

**Antecedentes:** Se ha demostrado que la anestesia combinada puede disminuir la respuesta nociceptiva, reducir la liberación de mediadores del estrés y mejorar la estabilidad hemodinámica. La analgesia epidural permite disminuir los requerimientos de anestésicos inhalatorios. Paralelamente, la monitorización electroencefalográfica con PSI se ha consolidado como una herramienta útil para valorar la profundidad anestésica de manera objetiva.

**Material y métodos:** Estudio observacional, descriptivo, analítico y prospectivo en pacientes adultos sometidos a nefrectomía laparoscópica bajo anestesia general combinada con anestesia epidural continua. Se administró sevoflurano al 1 Vol% para el mantenimiento anestésico y se monitoreó la profundidad de la inconsciencia mediante el índice PSI del sistema SedLine. Se registraron variables hemodinámicas, concentración de sevoflurano, valores de PSI y datos demográficos. Se incluyeron pacientes ASA I–III, y se excluyeron aquellos con trastornos neurológicos, falla del bloqueo epidural o imposibilidad de monitoreo adecuado. Los datos fueron analizados con estadística descriptiva y modelos lineales mixtos en SPSS.

**Resultados:** Se analizaron seis pacientes sometidos a nefrectomía laparoscópica, obteniendo 137 mediciones intraoperatorias. El PSI mostró una mediana de 34 puntos y el sevoflurano una mediana de 1.0 Vol%, con variabilidad individual en la respuesta al anestésico. Las gráficas exploratorias evidenciaron una tendencia consistente: mayores concentraciones de sevoflurano se asociaron con menores valores de PSI. El modelo lineal mixto confirmó esta relación negativa, aunque sin significancia estadística debido al tamaño muestral reducido y la alta variabilidad interindividual. El tiempo quirúrgico sí mostró una disminución progresiva y significativa del PSI conforme avanzaba la cirugía.

**Conclusiones:** Se mostró una tendencia clara: a mayor concentración de sevoflurano, menor PSI, reflejando mayor profundidad anestésica aun cuando el estímulo nociceptivo se encontraba atenuado por el bloqueo epidural. Sin embargo, debido al tamaño muestral reducido y a la variabilidad interindividual, no fue posible determinar con precisión la **dosis mínima efectiva** de sevoflurano. Se requiere un estudio con mayor número de pacientes para establecer de manera confiable el Vol% mínimo necesario para mantener la inconsciencia.

## ABSTRACT

**Introduction:** General anesthesia combined with epidural anesthesia is used to improve perioperative pain control and reduce the need for inhaled agents such as sevoflurane. Assessing anesthetic depth with tools like the Patient State Index (PSI) from the SedLine monitor allows for more precise adjustment of inhaled anesthetic dosing.

**Background:** Studies have shown that combined anesthesia can decrease nociceptive responses, reduce the release of stress mediators, and improve hemodynamic stability. Epidural analgesia has been shown to reduce the requirements of inhaled anesthetics. Additionally, electroencephalographic monitoring using PSI has become a valuable objective tool for assessing anesthetic depth.

**Materials and methods:** This observational, descriptive, analytical, and prospective study included adult patients undergoing laparoscopic nephrectomy under general anesthesia combined with continuous epidural anesthesia. Sevoflurane at 1 Vol% was administered for anesthetic maintenance, and unconsciousness was monitored using the PSI from the SedLine system. Hemodynamic variables, sevoflurane concentration, PSI values, and demographic data were recorded. Patients classified as ASA I–III were included, while those with neurological disorders, failed epidural block, or inadequate monitoring were excluded. Data were analyzed using descriptive statistics and linear mixed models in SPSS.

**Results:** Six patients undergoing laparoscopic nephrectomy were analyzed, yielding 137 intraoperative measurements. The PSI had a median of 34 points, and sevoflurane had a median of 1.0 Vol%, with notable individual variability in anesthetic response. Exploratory plots showed a consistent trend: higher sevoflurane concentrations were associated with lower PSI values. The linear mixed model confirmed this negative relationship, although it did not reach statistical significance due to the small sample size and high interindividual variability. Surgical time showed a progressive and significant decrease in PSI as the procedure advanced.

**Conclusions:** A clear trend was observed: higher sevoflurane concentration corresponded to lower PSI values, indicating deeper anesthesia even when nociceptive stimulus was reduced by the epidural block. However, due to the small sample size and interindividual variability, it was not possible to accurately determine the minimum effective dose of sevoflurane. Larger studies are needed to reliably establish the minimum Vol% required to maintain unconsciousness.

# CAPÍTULO I

## ANTECEDENTES GENERALES

La anestesia general es un estado de coma reversible inducido por fármacos que incluye inconsciencia, amnesia, antinocicepción e inmovilidad, manteniendo la estabilidad fisiológica. Este enfoque reduce la cantidad necesaria de cada fármaco, incrementando la probabilidad de efectos deseados y minimizando efectos adversos. Actualmente, se usa un hipnótico como el propofol para la inducción y éteres inhalados o infusiones hipnóticas para mantener la inconsciencia. Los opioides son utilizados casi exclusivamente para manejar la nocicepción intraoperatoria y el dolor postoperatorio, aunque tienen efectos adversos indeseables como depresión respiratoria y náuseas. (1)

La anestesia general es una estrategia que utiliza múltiples agentes para controlar la nocicepción y el dolor, aprovechando las diferentes dianas en el sistema nervioso. Esta aproximación busca maximizar los efectos terapéuticos y minimizar los efectos adversos mediante el uso de dosis más pequeñas de varios agentes. Los agentes comúnmente utilizados en la anestesia multimodal incluyen opioides, ketamina, magnesio, dexmedetomidina, antiinflamatorios no esteroides (AINE) y anestésicos locales como la lidocaína. En la anestesia general, se utilizan varios agentes para lograr y mantener el estado anestésico. Los opioides son potentes agentes antinociceptivos, pero su uso excesivo puede llevar a efectos adversos indeseables y a la actual crisis de opioides. La ketamina, el magnesio y la dexmedetomidina son otros agentes que se utilizan por sus propiedades antinociceptivas. Los hipnóticos como el propofol y el sevoflurano se utilizan para inducir y mantener la inconsciencia durante el procedimiento quirúrgico. (1)

La reciente crisis de opioides ha impulsado el desarrollo de nuevos métodos de anestesia general que reducen o eliminan el uso de opioides. Una estrategia reciente de anestesia general multimodal sin opioides propone mantener la

inconsciencia, amnesia y relajación muscular, asegurando una perfusión tisular adecuada y estabilidad simpática, y postula que la analgesia postoperatoria puede lograrse sin opioides. En contraste, se sugiere que la nocicepción debe tratarse trans y postoperatoriamente con múltiples agentes antinociceptivos. (1)

La administración de anestesia general generalmente involucra una combinación de fármacos que pueden ser inhalados (a través de gases anestésicos como el sevoflurano, isoflurano o desflurano) o administrados por vía intravenosa (como el propofol, ketamina o etomidato). Estos agentes anestésicos actúan sobre el sistema nervioso central para inducir y mantener el estado de anestesia. (2,3) Los efectos adversos de la anestesia general pueden incluir náuseas, vómitos, confusión y dolor de garganta después del procedimiento, aunque las complicaciones graves son raras en individuos sanos. (11) Entre los riesgos potenciales, especialmente en pacientes con condiciones médicas preexistentes, se encuentran reacciones alérgicas a los medicamentos anestésicos, problemas respiratorios, daño a los dientes o la garganta durante la intubación, y complicaciones cardiovasculares como arritmias o infartos. (2–4)

La anestesia epidural es una alternativa a la anestesia general que se utiliza en ciertos procedimientos quirúrgicos y médicos. A diferencia de la anestesia general, que induce un estado de inconsciencia total, la anestesia epidural permite al paciente permanecer consciente mientras bloquea la sensación de dolor en áreas específicas del cuerpo. La anestesia epidural consiste en la administración de un anestésico local en el espacio epidural, que rodea la médula espinal y las raíces nerviosas. Este procedimiento se realiza generalmente en la región lumbar de la columna vertebral. A través de este catéter, se administran anestésicos locales, como la lidocaína, bupivacaína o ropivacaína, que actúan bloqueando la transmisión de señales nerviosas de dolor desde la parte inferior del cuerpo. (2–4)

El nivel de conciencia se refiere al grado en el cual una persona está despierta, alerta y consciente de su entorno y de sí misma. Es una evaluación de la actividad cerebral y el estado de alerta mental de un individuo. (6)

La evaluación del nivel de conciencia es fundamental en la práctica médica, especialmente en situaciones de emergencia o en la atención de pacientes críticos.

Los profesionales de la salud utilizan diversas escalas y pruebas para medir el nivel de conciencia. Una de las escalas más conocidas es la Escala de Coma de Glasgow, que evalúa la respuesta ocular, verbal y motora del paciente para asignar una puntuación que refleja el nivel de conciencia. (6–8)

El nivel de conciencia se mide mediante diversas herramientas y escalas en entornos médicos. La Escala de Coma de Glasgow (GCS) es ampliamente utilizada, evaluando la respuesta ocular, verbal y motora. Otras escalas incluyen la de Ramsay para sedación, la RASS para agitación/sedación, y la Escala de Somnolencia de Epworth para evaluar somnolencia diurna. Estas herramientas proporcionan una evaluación cuantitativa del nivel de conciencia, mientras que la observación directa de respuestas a estímulos externos y la interacción verbal también son clave en la evaluación. (7,9)

Una forma de monitorizar esto es a través del Sedline el cual es un monitor cerebral que utiliza la tecnología de electroencefalografía (EEG) para medir la actividad eléctrica en el cerebro y proporcionar información sobre el estado de la conciencia. La tecnología Sedline específicamente se centra en evaluar el nivel de conciencia en pacientes durante procedimientos médicos. El Sedline utiliza electrodos colocados en la región frontal para medir las ondas cerebrales y analizar la actividad eléctrica del cerebro; través de la monitorización continua del EEG, el Sedline puede ofrecer información en tiempo real sobre la profundidad de la anestesia o sedación. (2,10) Esto puede evaluarse a través del PSI o índice de estado del paciente, que es una medida utilizada para evaluar la profundidad

de la sedación en pacientes. (11) Puede ser un componente de la monitorización sistemas como Sedline u otros monitores de sedación. La interpretación de las señales del EEG proporciona datos sobre la actividad cerebral, permitiendo a los profesionales de la salud ajustar las dosis de anestesia o sedación de manera más precisa durante un procedimiento. (2–4)

Aunque la anestesia epidural es generalmente segura, puede tener algunos riesgos y efectos adversos, incluyendo dolor de cabeza post-punción dural si la aguja perfora accidentalmente la duramadre, disminución de la presión arterial, riesgo de infección en el sitio de la inyección y menos frecuente, riesgo de daño nervioso temporal o permanente. (2–4)

La combinación de anestesia general y anestesia epidural tambien conocida anestesia combinada y se puede utilizar para optimizar el tratamiento del dolor perioperatorio y reducir la cantidad de anestésicos generales necesarios. (12) Estos efectos son particularmente importantes en cirugías de alto impacto nociceptivo, como las toracotomías y las cirugías abdominales mayores, donde el tratamiento efectivo del dolor es crucial para la recuperación del paciente.(13,14)

El tratamiento adecuado del dolor perioperatorio es esencial para evitar la sensibilización periférica y central, que puede llevar a un dolor crónico. La anestesia combinada proporciona una analgesia efectiva que interrumpe la nocicepción, lo que resulta en una menor liberación de sustancias proalgogénicas y una reducción de la respuesta al estrés. Esto se traduce en una menor incidencia de complicaciones pulmonares y cardiovasculares, así como en una mejor recuperación global del paciente. (14)

La evidencia sugiere que la anestesia combinada ofrece una alternativa viable y efectiva para el tratamiento del dolor en cirugías de alto riesgo, con beneficios significativos en términos de control del dolor, reducción de la morbilidad y mejor

recuperación postoperatoria. (14) Sin embargo puede intensificar efectos adversos, su uso en dosis bajas minimiza estos riesgos, convirtiéndola en una opción atractiva para cirugía. (13)

En la anestesia general, la inconsciencia se induce y mantiene mediante la administración de anestésicos intravenosos o inhalados. Los anestésicos inhalados son el isoflurano y el sevoflurano los cuales son utilizados para inducir y mantener la anestesia general durante procedimientos quirúrgicos. Ambos anestésicos actúan deprimiendo la actividad del sistema nervioso central, lo que resulta en la pérdida de conciencia y la insensibilidad al dolor. (16, 17,18)

El sevoflurano es un anestésico inhalatorio perteneciente a la clase de los halogenados, también utilizado para inducir y mantener la anestesia general durante procedimientos quirúrgicos. Al igual que el isoflurano, el sevoflurano se caracteriza por su rápida acción. El sevoflurano mantiene una buena estabilidad cardiovascular, contribuyendo a su uso en una variedad de pacientes (15) El sevoflurano, al igual que otros anestésicos inhalatorios, actúa principalmente sobre los receptores del ácido γ-aminobutírico (GABA) y los receptores de glutamato en el sistema nervioso central. Su mecanismo de acción incluye la potenciación de la actividad de los receptores GABA, principales neurotransmisores inhibidores, lo que conduce a una inhibición neuronal generalizada y la supresión de la actividad cerebral. Además, el sevoflurano modula los receptores de glutamato, principales neurotransmisores excitatorios, lo que puede reducir la transmisión de señales excitatorias. Estos efectos combinados resultan en la pérdida de la conciencia y la sensibilidad al dolor, contribuyendo así a su efecto anestésico general. (15–17)

A pesar de los avances en la comprensión de la anestesia general multimodal y el uso de monitores como Sedline, existen importantes vacíos en el conocimiento respecto al volumen porcentual mínimo de sevoflurano necesario para inducir y mantener la inconsciencia transoperatoria cuando se combina con anestesia

epidural continua. Uno de los principales vacíos es la falta de estandarización del Vol% mínimo efectivo en distintos tipos de procedimientos quirúrgicos. Aunque se ha demostrado que la anestesia combinada permite una reducción en la dosis de agentes inhalatorios, no existe un consenso claro sobre cuánto puede disminuirse esta concentración de manera segura según el tipo de cirugía, lo cual limita la generalización de los hallazgos actuales.

El objetivo de este estudio es determinar si una concentración de 1 Vol% de sevoflurano es suficiente como dosis mínima para mantener la inconsciencia transoperatoria, utilizando la monitorización cerebral con SedLine.

# CAPÍTULO II

## HIPÓTESIS

### **HIPÓTESIS ALTERNA ( $H_1$ )**

El sevoflurano a vol. 1% mantiene un nivel de inconsciencia transoperatoria adecuada en el paciente adultos

### **HIPÓTESIS NULA ( $H_0$ )**

El sevoflurano a vol. 1% no mantiene un nivel de inconsciencia transoperatoria adecuada en el paciente adultos

## **CAPÍTULO III**

### **PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN**

¿El sevoflurano a vol. 1% mantiene un nivel de inconsciencia transoperatoria adecuada en el paciente adulto?

# CAPÍTULO IV

## OBJETIVOS

### OBJETIVO PRIMARIO

- Determinar si el 1 vol% de sevoflurano mantiene un nivel de inconsciencia transoperatoria adecuada en el paciente adultos

### OBJETIVO SECUNDARIOS

- Registrar el nivel de inconciencia (PSI) mediante el SedLine de los pacientes programados para nefrectomía en anestesia combinada con sevoflurano al 1%.
- Relacionar los cambios hemodinamicos transoperatorios con el PSI transoperatorio

# CAPÍTULO V

## JUSTIFICACIÓN

Lograr el nivel de inconciencia deseado es esencial en la práctica médica, especialmente en situaciones críticas o de emergencia, donde puede indicar la presencia de problemas médicos graves, como lesiones cerebrales o trastornos neurológicos. La capacidad de evaluar y monitorizar el nivel de conciencia permite a los profesionales de la salud detectar y abordar rápidamente cualquier alteración en el estado de un paciente.

En el contexto de la anestesia, la evaluación y monitorización del nivel de inconciencia son cruciales para garantizar una inducción y mantenimiento seguros de la inconsciencia durante los procedimientos quirúrgicos. La elección adecuada de anestésicos, como el isoflurano y el sevoflurano, depende de varios factores, incluida su capacidad para inducir y mantener la inconsciencia de manera efectiva, así como su perfil de seguridad y estabilidad cardiovascular.

La monitorización continua del nivel de inconciencia durante la anestesia y otros procedimientos médicos contribuye significativamente a la seguridad del paciente. Permite ajustar con precisión las dosis de anestesia o sedación según las necesidades individuales de cada paciente, minimizando el riesgo de complicaciones asociadas con una profundidad inadecuada de la anestesia.

La tecnología, como el monitor cerebral SedLine basado en electroencefalografía (EEG), ofrece una herramienta adicional para evaluar la profundidad de la anestesia o sedación en tiempo real. Esto no solo mejora la precisión de la monitorización, sino que también proporciona información valiosa sobre la actividad cerebral del paciente, permitiendo ajustes más precisos en la administración de anestésicos.

La investigación continua en el campo de la monitorización del nivel de inconciencia y el uso de anestésicos contribuye al avance de la práctica clínica.

# CAPÍTULO VI

## MATERIAL Y MÉTODOS

### TIPO Y DISEÑO DE ESTUDIO

Se realizó un observacional, descriptivo, prospectivo y analítico.

### POBLACIÓN DE ESTUDIO

La población fueron pacientes programados para nefrectomía por laparoscopia, en quienes se aplicó anestesia epidural continua con anestesia general balanceada por parte del servicio de anestesiología del Hospital Universitario “Dr. José Eleuterio González”.

Se incluyó un total de 6 participantes reclutados de manera consecutiva durante el periodo comprendido entre junio a noviembre de 2025.

### RECLUTAMIENTO DE PARTICIPANTES

Se incluyeron a todos los participantes que tengan indicación de nefrectomía laparoscópica en el periodo de junio 2025 a noviembre 2025 en el Hospital Universitario

### CRITERIOS DE INCLUSIÓN

- Participantes clasificados como ASA I, II o III
- Participantes de ambos sexos, de más de 18 años
- Pacientes programados para nefrectomía laparoscópica
- Pacientes con indicación de monitorización de la actividad cerebral mediante SedLine como parte del protocolo anestésico.

## **CRITERIOS DE EXCLUSIÓN**

- Pacientes con antecedentes de trastornos neurológicos o cognitivos que puedan interferir con la evaluación del nivel de conciencia (ej. epilepsia, enfermedad de Alzheimer, demencias, daño cerebral traumático).
- Fallo del bloqueo epidural durante el procedimiento anestésico.
- Pacientes con condiciones médicas graves que puedan alterar el nivel de conciencia de forma independiente, como insuficiencia cardíaca descompensada, encefalopatía hepática avanzada, insuficiencia renal terminal o sepsis.
- Hipersensibilidad o alergia conocida a sevoflurano, lidocaína, bupivacaína u otros medicamentos utilizados durante la anestesia.
- Consumo crónico de benzodiacepinas, opioides o fármacos psicotrópicos que puedan modificar el umbral de respuesta del electroencefalograma.
- Historia de trastornos psiquiátricos no controlados (como esquizofrenia, trastorno bipolar, depresión mayor con síntomas psicóticos).
- Presencia de alteraciones significativas en el electroencefalograma basal que impidan una adecuada interpretación de los datos mediante el monitor SedLine.
- Imposibilidad de colocar adecuadamente los electrodos del monitor SedLine por alteraciones anatómicas, lesiones cutáneas o dispositivos implantados en la región frontal.
- Pacientes con contraindicación absoluta para el uso de anestesia epidural.

## **CRITERIOS DE ELIMINACIÓN**

- Pacientes en quienes no fue posible completar el procedimiento quirúrgico planificado (nefrectomía cancelada).
- Pacientes en quienes no se logró mantener el monitoreo continuo con SedLine durante todo el procedimiento quirúrgico.
- Casos en los que hubo falla técnica en la colocación del monitor SedLine (mal contacto de electrodos, artefactos eléctricos persistentes, desconexión prolongada).

- Pacientes que requirieron modificaciones significativas en el protocolo anestésico intraoperatorio (uso de agentes inhalados adicionales, cambios de concentración mayores al 1% de sevoflurano, interrupción del anestésico inhalado).
- Pacientes en los que se suspendió o retiró el catéter epidural antes o durante el procedimiento quirúrgico.
- Pacientes que presentaron eventos críticos intraoperatorios que condicionaron alteraciones del nivel de conciencia no atribuibles al efecto anestésico (paro cardiorrespiratorio, convulsiones, hipoxia severa prolongada).
- Registros de datos incompletos o ilegibles en la hoja de captura que impidan el análisis estadístico.

## **PROTOCOLO DE ESTUDIO**

El estudio fue de tipo observacional, analítico y prospectivo. No se realizaró ninguna intervención directa en los pacientes, ya que se recopilaron datos clínicos de pacientes sometidos a nefrectomía laparoscópica, bajo anestesia general combinada con anestesia epidural continua, como parte de la práctica médica habitual.

El objetivo principal fue evaluar si una concentración de 1 Vol% de sevoflurano es suficiente para mantener la inconsciencia transoperatoria, monitoreada mediante el índice de estado del paciente (PSI) obtenido a través del sistema SedLine.

El tipo de anestesia fue combinada: anestesia general más anestesia epidural continua. Este manejo anestésico fue definido y administrado por el equipo de anestesiología tratante, de acuerdo con las guías clínicas institucionales. Como parte de la anestesia general, se empleó sevoflurano al 1 Vol% como agente hipnótico inhalado para mantenimiento. La inducción se realizó con fármacos como propofol, fentanilo o midazolam (según criterio clínico), mientras que el

mantenimiento de la analgesia regional se logró con la administración de anestésicos locales como lidocaína al 2% con epinefrina a través del catéter epidural. No se intervendrá en la selección, dosis o tiempos de administración de los fármacos.

El estudio se llevó a cabo durante un período comprendido entre mayo y noviembre de 2025. La duración del procedimiento por participante correspondió al tiempo quirúrgico de la nefrectomía, incluyendo el periodo intraoperatorio completo. No se requirieron visitas adicionales por parte del participante, ya que la recolección de datos se hizo durante su atención hospitalaria habitual.

#### Descripción detallada de los procedimientos

1. Selección y consentimiento: Los pacientes que cumplieron con los criterios de inclusión y no presentaron criterios de exclusión fueron invitados a participar.
2. Evaluación preoperatoria: Se obtuvieron los datos clínicos del expediente médico, incluyendo ASA, diagnóstico, edad, sexo y antecedentes relevantes.
3. Monitoreo del nivel de inconsciencia: Se observó el índice PSI, manteniéndose en el rango de 25–50, lo cual se considera adecuado para garantizar una profundidad anestésica suficiente, basado en la literatura actual sobre SedLine.
4. Registro de datos: Se capturarán las variables de interés en una hoja de recolección de datos, incluyendo edad, sexo, duración del procedimiento, dosis administradas, valores de PSI y eventos adversos si los hubiera.

El índice PSI (Patient State Index) es una medida derivada del electroencefalograma que permite estimar de forma objetiva la profundidad de la anestesia. Un rango entre 25 y 50 ha sido validado para representar un nivel adecuado de inconsciencia quirúrgica sin riesgo de conciencia intraoperatoria ni

de sobredosificación anestésica. Este rango se utiliza como referencia para guiar la evaluación del efecto del sevoflurano al 1 Vol% en la población en estudio.

No se utilizarán escalas clínicas adicionales para evaluar el nivel de inconsciencia (como la Escala de Glasgow o de Ramsay), ya que el objetivo principal se centra en la monitorización electroencefalográfica a través del SedLine.

## **CAPÍTULO VII**

### **ASPECTOS ÉTICOS Y DE BIOSEGURIDAD**

El estudio clínico será conducido por el Investigador Principal, con la colaboración de un coinvestigador, un estudiante de posgrado y estudiantes de pregrado autorizados, conforme a los principios establecidos en la Declaración de Helsinki (1964 y sus enmiendas), las Buenas Prácticas Clínicas (ICH-GCP) y el Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Investigación para la Salud vigente en México.

El protocolo será evaluado y aprobado por el Comité de Ética en Investigación y el Comité de Investigación del Hospital Universitario “Dr. José Eleuterio González”, con número de registro PI25-00043, clasificándose como investigación con riesgo mínimo conforme al Artículo 17, fracción II, del Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Investigación para la Salud.

Este estudio se clasifica como una investigación sin riesgo, ya que no implica intervención directa en los pacientes ni modificación alguna del tratamiento anestésico indicado por el equipo clínico. Los datos serán recolectados exclusivamente mediante la observación de la práctica médica habitual y el análisis de las variables registradas durante la atención anestésica y quirúrgica de los pacientes. Por lo tanto, no se administrará ningún fármaco ni dispositivo adicional fuera de los ya contemplados en el abordaje clínico habitual.

El periodo total estimado para la conducción del presente estudio fue de junio 2025 a noviembre 2025, incluyendo las fases de reclutamiento de pacientes, observación intraoperatoria, recolección de datos, análisis estadístico, redacción de resultados y elaboración del informe final.

## CAPÍTULO VIII

### ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos recolectados serán analizados utilizando el software IBM SPSS versión 28. El análisis estadístico se desarrollará en varias fases. En primer lugar, se aplicará estadística descriptiva: las variables cuantitativas, como el índice PSI, la presión arterial, la frecuencia cardíaca y el volumen de sevoflurano utilizado, serán analizadas mediante el cálculo de medias, desviaciones estándar, valores mínimos y máximos. Las variables cualitativas, como el tipo de cirugía, el sexo, la clasificación ASA y la presencia de efectos adversos, se describirán mediante frecuencias absolutas y relativas (porcentajes).

Posteriormente, se realizarán pruebas de normalidad con el fin de determinar la distribución de las variables cuantitativas. Para ello, se utilizarán las pruebas de Kolmogorov-Smirnov o Shapiro-Wilk, según el tamaño de la muestra.

Finalmente, se establecerá un nivel de significancia estadística de  $p < 0.05$  para todas las pruebas, considerándose estadísticamente significativos aquellos resultados que cumplan con este criterio.

## TABLA DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

A continuación, se detallan las variables que han sido contempladas en el marco de este estudio:

Variable	Tipo de variable	Definición operacional	Instrumento de medición	Unidad de medida / Escala
<b>Nivel de inconsciencia (PSI)</b>	Cuantitativa continua	Valor del índice PSI registrado durante el procedimiento quirúrgico	Monitor SedLine	Índice (0-100)
<b>Presión arterial sistólica</b>	Cuantitativa continua	Valor registrado en el monitor durante la cirugía	Monitor multiparámetro	mmHg
<b>Presión arterial diastólica</b>	Cuantitativa continua	Valor registrado en el monitor durante la cirugía	Monitor multiparámetro	mmHg
<b>Presión arterial media (PAM)</b>	Cuantitativa continua	Promedio de presión arterial calculada durante la cirugía	Monitor multiparámetro	mmHg
<b>Frecuencia cardíaca</b>	Cuantitativa continua	Número de latidos por minuto durante la cirugía	Monitor multiparámetro	latidos por minuto
<b>Frecuencia respiratoria</b>	Cuantitativa continua	Número de respiraciones por minuto durante la cirugía	Monitor multiparámetro	respiraciones por minuto
<b>Saturación de oxígeno (SpO2)</b>	Cuantitativa continua	Porcentaje de saturación de oxígeno registrado intraoperatoriamente	Monitor multiparámetro	porcentaje (%)

<b>Capnografía (EtCO2)</b>	Cuantitativa continua	Presión parcial de CO2 al final de la espiración	Capnógrafo	mmHg
<b>Volumen% de sevoflurano utilizado</b>	Cuantitativa continua	Concentración mínima de sevoflurano administrada durante la cirugía	Vaporizador calibrado de sevoflurano	Porcentaje de volumen (%)
<b>Tipo de cirugía (laparoscópica o abierta)</b>	Cualitativa nominal dicotómica	Clasificación de la técnica quirúrgica realizada	Registro clínico del procedimiento	Laparoscópica / Abierta
<b>Duración del procedimiento quirúrgico</b>	Cuantitativa continua	Tiempo total desde inicio hasta final de la cirugía	Registro quirúrgico institucional	Minutos
<b>Sexo del paciente</b>	Cualitativa nominal dicotómica	Género biológico del paciente	Expediente clínico	Masculino / Femenino
<b>Edad del paciente</b>	Cuantitativa continua	Edad registrada en años al momento del procedimiento	Expediente clínico	Años
<b>Clasificación ASA</b>	Cualitativa ordinal	Clasificación del estado físico según ASA	Evaluación médica preanestésica	I / II / III

## **CÁLCULO DEL TAMAÑO DE LA MUESTRA**

Poblacional con muestreo a conveniencia. Se incluyeron todos los pacientes que ingresen con indicacion de nefrectomia en un periodo de junio 2025 a noviembre 2025.

# CAPÍTULO IX

## MECANISMOS DE CONFIDENCIALIDAD

Toda información divulgada o proporcionada por el Investigador, o producida durante la investigación, incluyendo, pero no limitado a, el Protocolo de estudio, bases de datos, los resultados obtenidos durante el curso del Estudio, es confidencial, previo a la publicación de los resultados. El investigador o cualquier persona bajo su autoridad está de acuerdo en garantizar mantener confidencial y no divulgar la información a ninguna tercera persona sin la aprobación previa por escrito del Investigador principal.

Sin embargo, el sometimiento de este protocolo de estudio y cualquier otra documentación necesaria al Comité de Ética están expresamente permitidos, teniendo los miembros del Comité la misma obligación de confidencialidad.

El investigador y los subinvestigadores deberán usar la información únicamente para los propósitos del estudio clínico, excluyendo su uso para su propio beneficio o a cuenta de una tercera persona.

- Cada paciente será identificado mediante un código alfanumérico único, que reemplazará cualquier dato personal en las hojas de recolección de datos.
- La base de datos será almacenada en un equipo de cómputo institucional protegido por contraseña, accesible solo por los investigadores responsables del estudio.
- Toda la información obtenida será utilizada exclusivamente con fines científicos y académicos, y no se divulgará en ninguna instancia que permita identificar a los participantes.
- Este estudio cumple con lo estipulado en la Ley General de Protección de Datos Personales en Posesión de Sujetos Obligados y las normas éticas nacionales e internacionales vigentes.

# **CAPÍTULO X**

## **OBTENCIÓN DE CONSENTIMIENTO INFORMADO**

Debido a las características del estudio no se requiere de consentimiento informado.

# CAPÍTULO XI

## RESULTADOS

### ANÁLISIS DESCRIPTIVO

Se incluyeron seis pacientes sometidos a nefrectomía laparoscópica, con un total de 137 mediciones intraoperatorias. La media de edad fue de  $54.7 \pm 22.5$  años, todos del sexo masculino. El IMC promedio fue de  $27.84 \pm 6.37 \text{ kg/m}^2$ , y la mayoría de los pacientes clasificaron dentro de ASA II y III. La duración media del procedimiento fue de  $5.46 \pm 1.46$  horas (Tabla 1).

**Tabla 1. Características clínicas de los pacientes sometidos a nefrectomía laparoscópica (n = 6)**

Variable	Valor
<b>Número de pacientes</b>	6
<b>Edad, años</b> , media ± DE (min–máx)	$54.7 \pm 22.5$ (21–84)
<b>Sexo</b>	Masculino (100%)
<b>Talla (m)</b> , media ± DE	$1.70 \pm 0.104$
<b>Peso (kg)</b> , media ± DE	$82.25 \pm 14.65$
<b>IMC (<math>\text{kg}/\text{m}^2</math>)</b> , media ± DE	$27.84 \pm 6.37$
<b>ASA, n (%)</b>	I: 1 (16.7%)
	II: 3 (50%)
	III: 2 (33.3%)
	IV: 0 (0%)

V: 0 (0%)

VI: 0 (0%)

**Duración del procedimiento (h)**       $5.46 \pm 1.46$

Durante la cirugía, los valores fisiológicos se mantuvieron dentro de rangos clínicamente aceptables (Tabla 2). El PSI presentó una mediana de 34 puntos (RIC 30–37), mientras que el Vol%Sevo fluctuó entre 0.00 y 2.50%, con una mediana de 1.00%. La variabilidad interindividual fue notable, con pacientes que mantuvieron valores casi constantes (~0.6%) y otros con incrementos progresivos hasta >2% conforme avanzó la intervención.

**Tabla 2. Parámetros fisiológicos monitorizados durante la nefrectomía laparoscópica (137 mediciones intraoperatorias)**

Variable	Media ± DE	Mediana (RIC)	Min–Máx
<b>Frecuencia cardíaca (lpm)</b>	$72.8 \pm 14.8$	72 (62–79)	3–104
<b>Frecuencia respiratoria (rpm)</b>	$14.0 \pm 2.06$	14 (12–15)	11–18
<b>Presión arterial sistólica (mmHg)</b>	$108.4 \pm 18.3$	110 (94–123)	68–160
<b>Presión arterial diastólica (mmHg)</b>	$67.3 \pm 13.7$	70 (57–79)	40–95
<b>Presión arterial media (mmHg)</b>	$77.2 \pm 11.8$	78 (70–85)	45–111
<b>Saturación de O<sub>2</sub> (%)</b>	$99.2 \pm 1.30$	100 (99–100)	94–100
<b>PSI</b>	$34.9 \pm 9.05$	34 (30–37)	25–96

<b>pCO<sub>2</sub> (mmHg)</b>	32.4 ± 7.23	34 (30–37)	0–45
<b>Volumen % sevoflurano</b>	<b>1.19 ± 0.49</b>	<b>1.00 (0.80–1.50)</b>	<b>0.00–2.50</b>

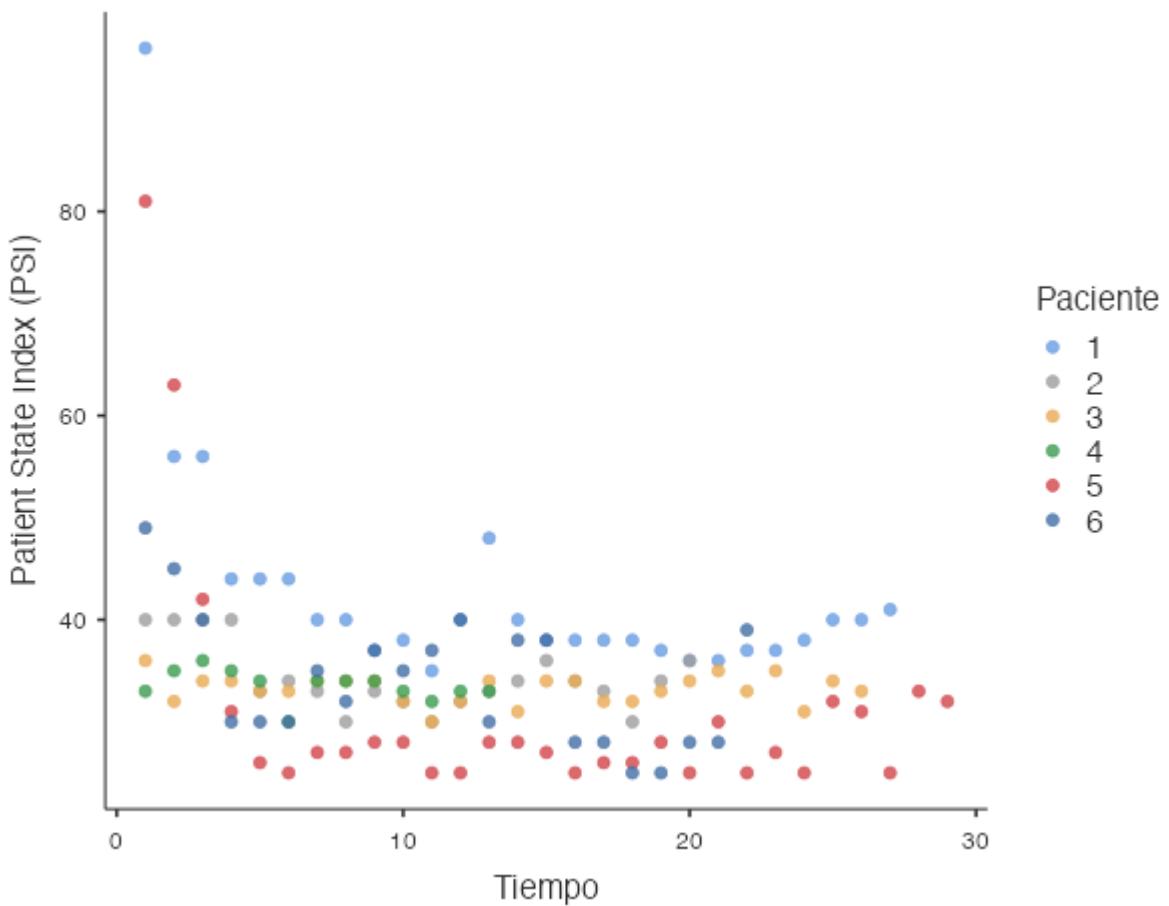
### Análisis Exploratorio

Con el objetivo de explorar la dinámica intraoperatoria y evaluar de forma preliminar la asociación entre el nivel de consciencia y la concentración de sevoflurano, se realizó un análisis descriptivo-visual basado en tres gráficos de dispersión y curvas temporales. Este análisis permitió caracterizar el comportamiento del PSI y del Vol% de sevoflurano a lo largo del procedimiento, identificar patrones fisiológicos comunes durante la inducción y mantenimiento anestésico, y resaltar la variabilidad entre pacientes, un aspecto fundamental para justificar el uso de modelos mixtos:

1. PSI vs tiempo, para analizar la trayectoria temporal del nivel de consciencia
2. Vol%Sevo vs tiempo, para describir la titulación individual del agente inhalado;
3. PSI vs Vol%Sevo, para examinar la relación directa entre ambas variables.

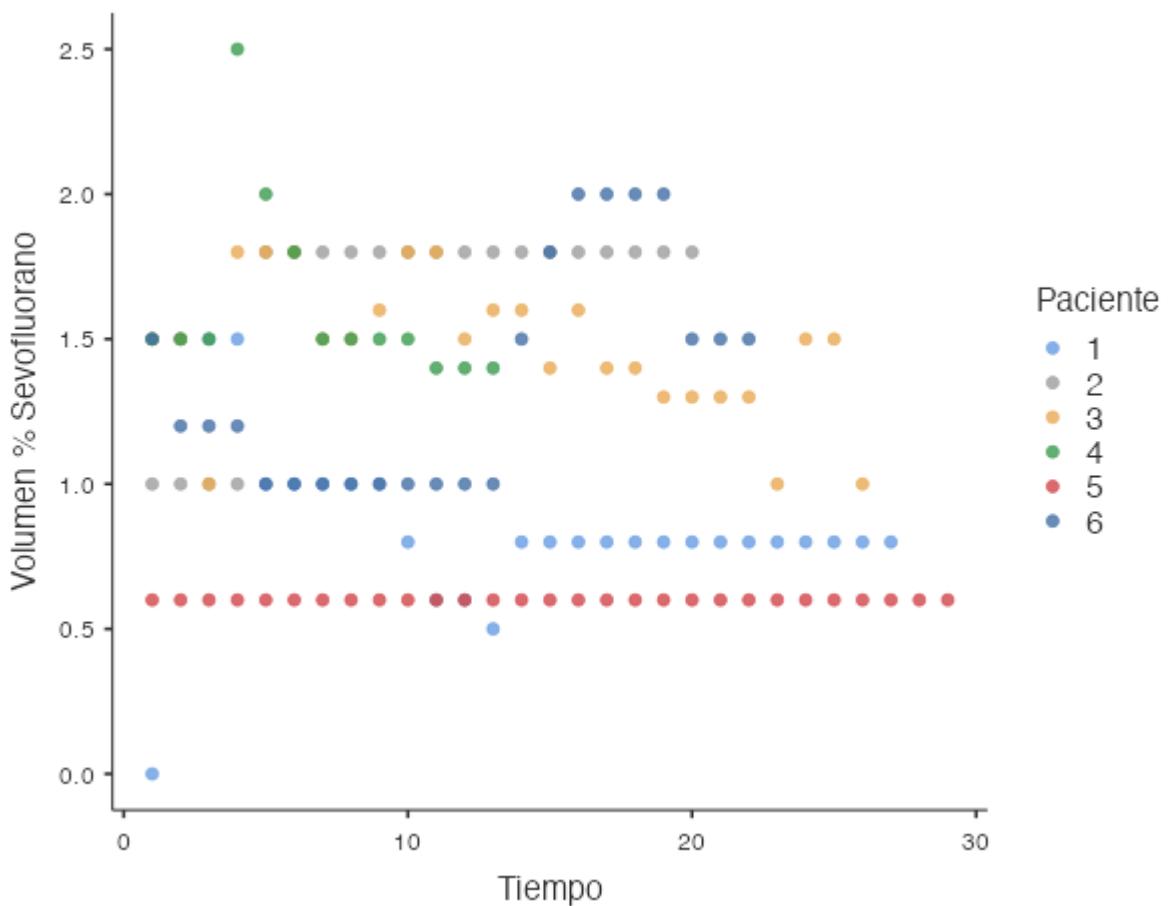
En la Figura 1 se observa que el PSI disminuyó bruscamente durante los primeros minutos de anestesia, seguido de una fase estable entre 25 y 45 puntos. Aunque el patrón general fue similar entre pacientes, los valores iniciales mostraron variabilidad considerable (30–90 puntos), lo que refuerza la necesidad de considerar tanto el tiempo como la variabilidad entre sujetos en el modelo estadístico.

**Figura 1. Gráfica de dispersión del índice PSI en función del tiempo.**



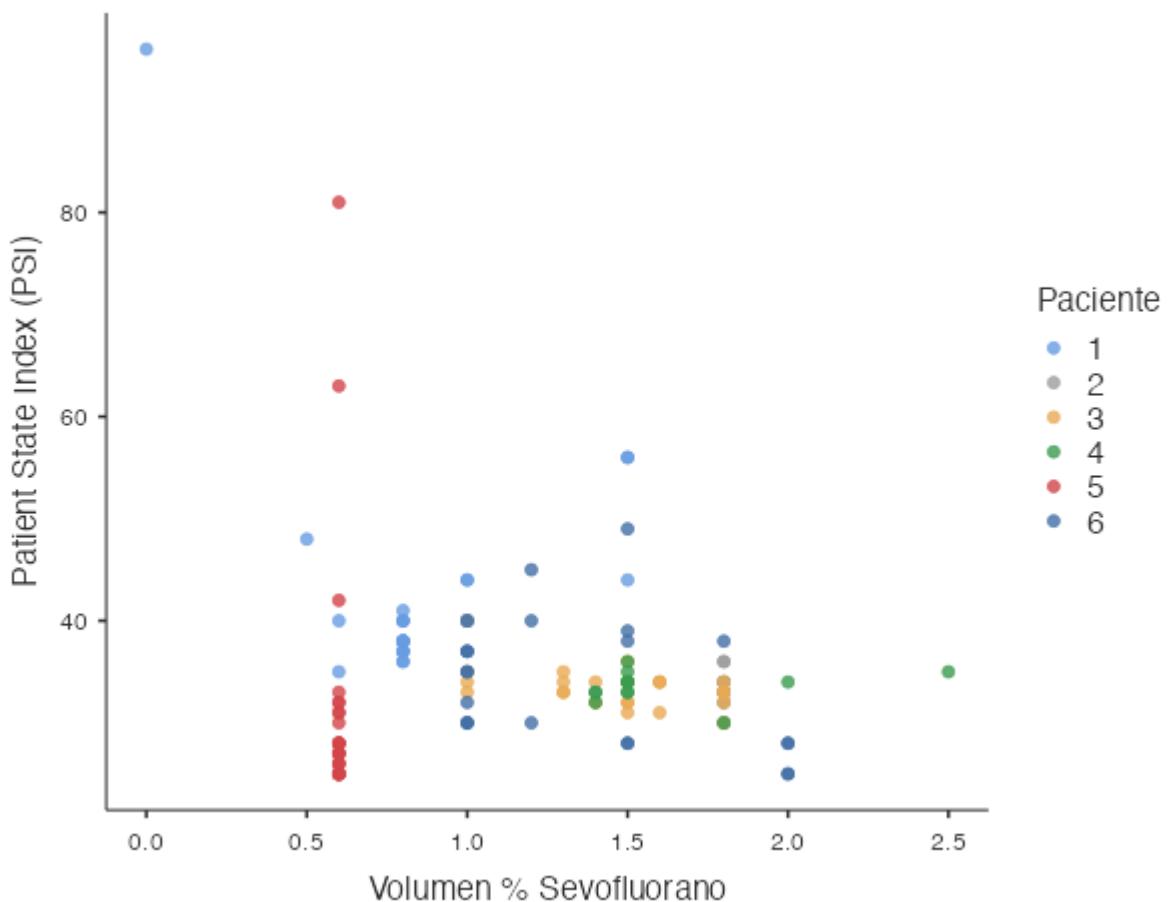
La Figura 2 muestra estrategias anestésicas heterogéneas: algunos pacientes mantuvieron concentraciones prácticamente constantes (~0.6–1.0%), mientras que otros presentaron incrementos progresivos o ajustes intermitentes hasta >2.0%, dependiendo de la evolución del procedimiento. Esta heterogeneidad integra dimensiones clínicas relevantes sobre la respuesta individual al anestésico.

**Figura 2. Gráfica de dispersión del Vol% de sevoflurano a lo largo del tiempo**



La Figura 3 evidencia una relación negativa clara entre el Vol% de sevoflurano y el PSI. A mayores concentraciones del agente inhalado, se observaron menores niveles de conciencia. Sin embargo, la amplitud de la dispersión demuestra que los pacientes presentan sensibilidades distintas al sevoflurano, lo cual sustenta la necesidad de utilizar un enfoque mixto para modelar estas diferencias.

**Figura 3. Gráfica de dispersión que muestra la relación bivariada entre el Vol% de sevoflurano y el índice PSI, estratificada por paciente.**



### Modelo Lineal Mixto

Se ajustó un modelo lineal mixto con efectos fijos para Vol%Sevo, tiempo y las variables fisiológicas, e intercepto y pendiente aleatoria por paciente para Vol%Sevo. El modelo presentó un Conditional  $R^2 = 0.505$ , indicando que el 50.5% de la variación total del PSI se explicó por la combinación de efectos fijos y aleatorios, mientras que el Marginal  $R^2 = 0.339$  reflejó que los efectos fijos por sí solos explicaron el 33.9% de dicha variación.

En los efectos fijos, el coeficiente de Vol%Sevo fue  $\beta = -2.71$  ( $SE = 2.90$ ;  $p = 0.356$ ). El intervalo amplio observado alrededor del estimador y el p-valor elevado se relacionan con la alta varianza estimada para la pendiente aleatoria de

Vol%Sevo y con el número reducido de grupos ( $n = 6$ ), factores que incrementan el error estándar asociado al coeficiente. El tiempo mostró un efecto significativo ( $\beta = -0.45$ , SE = 0.089;  $p < 0.001$ ), probablemente debido a la amplia variación intra-sujeto en esta variable (aproximadamente 20 mediciones por individuo), lo que incrementa la precisión de su estimación.

Dentro de las covariables fisiológicas, frecuencia cardíaca ( $\beta = 0.156$ ;  $p = 0.007$ ), saturación de oxígeno ( $\beta = -1.72$ ;  $p = 0.004$ ) y  $pCO_2$  ( $\beta = -0.29$ ;  $p = 0.006$ ) alcanzaron significancia estadística. La ausencia de significancia para TAS, TAD, PAM y frecuencia respiratoria puede relacionarse con su baja variación dentro de cada paciente o con colinealidad parcial, lo que incrementó sus errores estándar.

El modelo generó advertencias de ajuste (“almost singular fit”), lo cual sugiere que la matriz de varianzas-covarianzas de los efectos aleatorios se aproximó a una condición no invertible. Esto es frecuente cuando existen correlaciones elevadas entre el intercepto y la pendiente aleatoria o cuando la varianza estimada de alguno de los efectos aleatorios es muy grande en relación con el tamaño muestral.

Posteriormente, se ajustó un modelo reducido con efectos fijos únicamente para Vol%Sevo y tiempo, manteniendo intercepto y pendiente aleatoria por paciente. En este modelo, el coeficiente de Vol%Sevo fue  $\beta = -4.92$  (SE = 2.93;  $p = 0.147$ ), y el coeficiente de tiempo permaneció significativo ( $\beta = -0.50$ , SE = 0.089;  $p < 0.001$ ). La varianza de la pendiente aleatoria para Vol%Sevo fue 32.94, con correlación estimada de -1.00 entre intercepto y pendiente, lo cual concuerda con la heterogeneidad intra-grupo visible en las gráficas exploratorias y explica la amplitud del error estándar.

Los componentes de varianza del modelo reducido indicaron una varianza del intercepto de 6.33 y una varianza residual de 52.86, lo que sugiere que parte importante de la variabilidad del PSI ocurre dentro de cada individuo entre

mediciones repetidas, mientras que otra parte está asociada a diferencias sistemáticas entre sujetos.

## CAPÍTULO XII

### DISCUSIÓN

El presente estudio evaluó la relación entre la concentración inspirada de sevoflurano y el índice PSI durante procedimientos de nefrectomía laparoscópica en pacientes con bloqueo epidural y anestesia general balanceada, utilizando mediciones repetidas e incorporando la variabilidad entre pacientes mediante modelos lineales mixtos. De forma global, los análisis descriptivos, exploratorios e inferenciales mostraron una tendencia consistente: a mayor Vol%Sevo, menor puntuación de PSI, lo cual coincide con el comportamiento esperado de los agentes anestésicos inhalados. Aunque esta asociación no alcanzó significancia estadística en ninguno de los modelos ajustados, la dirección, magnitud y estabilidad del coeficiente sugieren una relación sistemática entre ambas variables.

En el análisis visual, las gráficas de dispersión evidenciaron una relación negativa clara entre Vol%Sevo y PSI, con una dispersión amplia entre pacientes. Esta variabilidad interindividual fue corroborada estadísticamente por la elevada varianza estimada de la pendiente aleatoria del Vol%Sevo en los modelos mixtos. Este hallazgo indica que la respuesta del PSI ante cambios en la concentración de sevoflurano no es homogénea entre sujetos, lo cual coincide con informes previos sobre la variabilidad hemodinámica y electroencefalográfica asociada a agentes inhalados en poblaciones pequeñas.

En el modelo mixto completo, el coeficiente de Vol%Sevo fue negativo pero no significativo ( $\beta = -2.71$ ;  $p = 0.356$ ). La falta de significancia en este modelo puede atribuirse a varios factores. En primer lugar, el tamaño muestral reducido ( $n = 6$  pacientes) limita la capacidad del modelo para estimar con precisión los efectos aleatorios, lo cual incrementa los errores estándar. En segundo lugar, la inclusión simultánea de múltiples covariables fisiológicas —algunas de ellas correlacionadas entre sí— probablemente incrementó la colinealidad y contribuyó

a la inestabilidad de los coeficientes. En tercer lugar, el modelo presentó advertencias de ajuste (“almost singular fit”), lo que numéricamente indica dificultades para estimar la matriz de varianza-covarianza de los efectos aleatorios debido a la combinación de pocos niveles de agrupamiento y alta heterogeneidad inter-sujeto. Estas características son frecuentes en modelos mixtos con tamaños muestrales limitados y pueden atenuar la significancia estadística aun cuando la dirección del efecto es consistente.

Dado este comportamiento, se ajustó un modelo reducido que incluyó únicamente Vol%Sevo y tiempo. En este modelo, el coeficiente del Vol%Sevo aumentó en magnitud ( $\beta = -4.92$ ) y mantuvo una dirección negativa clara, aunque tampoco alcanzó significancia estadística ( $p = 0.147$ ). Este aumento del coeficiente sugiere que parte de la variabilidad atribuida al efecto del sevoflurano estaba distribuida entre las covariables fisiológicas del modelo completo. Sin embargo, el error estándar permaneció elevado ( $SE = 2.93$ ), señalando nuevamente que la principal limitación para estimar con precisión el efecto del Vol%Sevo proviene del tamaño de muestra y de la heterogeneidad interindividual, más que de la ausencia de un patrón sistemático. La correlación estimada de  $-1.00$  entre intercepto y pendiente aleatoria en el modelo reducido sugiere que los patrones individuales del PSI y del efecto del sevoflurano presentan una estructura fuertemente dependiente, lo cual dificulta la estimación estable de los efectos aleatorios con el tamaño muestral disponible.

En relación con las covariables fisiológicas, el hallazgo de significancia en frecuencia cardíaca, saturación de oxígeno y  $pCO_2$  debe interpretarse con cautela. La significancia estadística de estas variables podría estar influenciada por su mayor variación dentro de sujetos y por la ausencia de pendiente aleatoria para estas covariables, lo que reduce su error estándar. Sin embargo, estas asociaciones no fueron el objetivo primario del estudio y no pueden interpretarse de forma causal sin un diseño específicamente orientado a evaluar estos parámetros.

Las tendencias observadas en el tiempo fueron particularmente consistentes. El tiempo mostró un coeficiente negativo significativo en todos los modelos, reflejando la disminución progresiva del PSI conforme avanzó el procedimiento. Este patrón es congruente con la fase de estabilización anestésica observada en las gráficas exploratorias y con el comportamiento esperado durante la inducción y mantenimiento de anestesia general.

## **LIMITACIONES DEL ESTUDIO**

Este estudio presenta varias limitaciones importantes. La principal es el tamaño muestral reducido ( $n = 6$ ), que restringe la capacidad del modelo para estimar efectos aleatorios con precisión y afecta directamente la estabilidad de los coeficientes. En segundo lugar, existe una heterogeneidad elevada en la respuesta al sevoflurano, lo cual, aunque clínicamente relevante, dificulta la estimación estadística en un conjunto de datos pequeño. En tercer lugar, la inclusión de múltiples covariables fisiológicas en el modelo completo incrementó el riesgo de colinealidad y sobreajuste. Finalmente, este estudio se realizó en un contexto clínico específico ‘nefrectomía laparoscópica’ lo que podría limitar la generalización de los resultados a otros tipos de procedimientos quirúrgicos.

## **FUTURAS INVESTIGACIONES**

A pesar de estas limitaciones, los hallazgos aportan información valiosa para estudios futuros. La consistencia en la dirección del efecto del Vol%Sevo sugiere que un estudio con una muestra mayor podría estimar con precisión la magnitud de la relación entre la concentración de sevoflurano y el PSI. Además, la variabilidad interindividual observada respalda la pertinencia de utilizar modelos

mixtos y de considerar estrategias de estratificación o diseño cruzado (cross-over) para futuras investigaciones.

# CAPÍTULO XII

## CONCLUSIONES

En este estudio se buscó evaluar si, en cirugías donde el dolor quirúrgico estaba muy disminuido gracias a un bloqueo epidural, podía identificarse la relación entre la concentración de sevoflurano y el nivel de profundidad anestésica medido con el PSI, con la intención de estimar la **dosis mínima necesaria** de sevoflurano bajo estas condiciones. Los resultados mostraron una tendencia consistente: a mayor concentración de sevoflurano, menor PSI, lo que indica mayor profundidad anestésica. Aunque este patrón fue estable y congruente con la fisiología esperada, no alcanzó significancia estadística debido al número muy reducido de pacientes y a la variabilidad individual en la respuesta al anestésico, lo cual impidió determinar la dosis mínima requerida con suficiente precisión.

Asimismo, la respuesta al sevoflurano varió considerablemente entre pacientes, aun cuando el estímulo quirúrgico estaba atenuado por el bloqueo epidural, lo que sugiere que la profundidad anestésica depende de múltiples factores más allá del estímulo nociceptivo. Por otro lado, el paso del tiempo durante la cirugía sí mostró una disminución constante del PSI conforme la anestesia se estabilizaba. En conjunto, estos hallazgos indican que la relación entre sevoflurano y PSI se mantiene aun con estímulo reducido, pero que **no fue posible identificar la dosis mínima efectiva de sevoflurano** debido al tamaño muestral limitado. Se requiere una muestra mayor para estimar ese parámetro de forma confiable.

# CAPÍTULO XIII

## BIBLIOGRAFÍA

1. Brown, E. N., Pavone, K. J., & Naranjo, M. (2018). Multimodal general anesthesia: Theory and practice. *Anesthesia & Analgesia*, 127(5), 1246–1258.
2. Amirfarzan, H., Cassidy, K. J., Moaddab, M., Demin, M., Schumann, R., & Lewis, B. (2024). Assessment of seizure duration and utility of using SedLine® EEG tracing in veterans undergoing electroconvulsive therapy: A retrospective analysis. *Journal of Anesthesia & Analgesia Critical Care*, 4(1), 8.
3. Murillo, C., Weng, H. Y., Weil, A. B., Kreuzer, M., Ko, J. C. (2022). Perioperative brain function monitoring with electroencephalography in horses anesthetized with multimodal balanced anesthetic protocol subjected to surgeries. *Animals*, 12(20), 2851.
4. Alkhachroum, A., Flo, E., Manolovitz, B., Stradecki-Cohan, H. M., Shammassian, B., Bass, D., et al. (2024). Resting-state EEG signature of early consciousness recovery in comatose traumatic brain injury patients. *Research Square*. rs.3.rs-3895330.
5. Mahajan, L., Singh, A. P., Kaur, S. S., & Kumari, A. (2022). Comparison of the efficacy of intraperitoneal instillation of butorphanol versus nalbuphine as adjuvants to ropivacaine for postoperative pain relief in patients undergoing laparoscopic cholecystectomy under general anesthesia: A randomized, double-blind placebo-controlled study. *Anesthesia Essays and Researches*, 16(2), 191–196.
6. Gazzaniga, M. S. (1998). Brain and conscious experience. *Advances in Neurology*, 77, 181–192.
7. Rosenthal, D. (2015). *Concepts and definitions of consciousness*. In Metzinger, T., & Windt, J. M. (Eds.), *Open MIND*. MIND Group. <https://doi.org/10.15502/9783958570282>
8. Jellinger, K. A. (2009). Functional pathophysiology of consciousness. *Neuropsychiatrie*, 23(2), 115–133.
9. Zeman, A. (2006). What do we mean by “conscious” and “aware”? *Neuropsychological Rehabilitation*, 16, 356–376.
10. Miyake, K., Higuchi, H., Miyake, S., Nishioka, Y., Fujimoto, M., Kurita, E., et al. (2023). Evaluation of sedation levels using SedLine during intravenous sedation for dental procedures: A case-series study. *Anesthesia Progress*, 70(2), 85–87.
11. Chaudhuri, S., Banerjee, S., Chattopadhyay, U., & Hussain, S. S. (2022). Comparison of recovery times by using bispectral index monitoring versus end-tidal agent

- concentration monitoring in patients undergoing inhalational general anaesthesia. *Indian Journal of Anaesthesia*, 66(Suppl 3), S161–S168.
12. Alharbi, K. S., Almalki, W. H., Alzarea, S. I., Kazmi, I., Al-Abbas, F. A., Afzal, O., et al. (2024). **Anaesthesia-induced changes in genomic expression leading to neurodegeneration.** *CNS Neurological Disorders – Drug Targets*, 23(4), 411–419. <https://doi.org/10.2174/187152732366230131112615>
13. Medina, H., Londoño, A., & Quintero, I. F. (2009). Anestesia combinada epidural-general ligera: una alternativa en cirugía plástica. *Colombian Journal of Anesthesiology*, 37(3), 225–234.
14. Álvarez-Juárez, J. L. (2016). Anestesia combinada. *Anestesia en México*, 28(2), 38–43.
15. García-Galiana, E., Sanchis-Gil, V., Ortega, F. J., Cuñat, S., Oliver, I., & Martínez, M. A. (2017). Efectos de la inducción inhalatoria con sevoflurano sobre la función ventricular izquierda. *Revista Argentina de Anestesiología*, 75(3), 118–125.
16. Fernández-Ginés, F. D., Gerónimo-Pardo, M., & Cortiñas-Sáenz, M. (2021). Sevoflurano tópico: una experiencia galénica. *Farmacia Hospitalaria*, 45(4), 233–236. <https://doi.org/10.7399/fh.11591>
17. Tomal, C. R. G., de Andrade, P. V., Hirano, M. T., Tardelli, M. A., & Silva, H. C. A. (2012). Evaluación de la inducción, recuperación, agitación al despertar y consumo con el uso de dos marcas de sevoflurano para la anestesia ambulatorial. *Revista Brasileira de Anestesiología*, 62(2), 178–190. [https://doi.org/10.1016/S0034-7094\(12\)70176-3](https://doi.org/10.1016/S0034-7094(12)70176-3)

## RESUMEN AUTOBIOGRÁFICO

**Alessandra Giselle Rosas García**

Candidata para el Grado de Especialista en Anestesiología

**Tesis:** Volumen% mínimo requerido de sevoflurano para producir inconsciencia transoperatoria guiado por Sedline en anestesia general con anestesia epidural continua

**Campo de estudio:** Ciencias de la Salud

### **Biografía**

**Datos personales.** Nacida en la ciudad de Guadalupe, Nuevo León, el 11 de julio de 1995. Es hija de Mireya Edith García Flores y Alejandro Rosas Licona

**Educación.** Inició sus estudios de Licenciatura en Médico Cirujano y Partero en la Facultad de Medicina de la Universidad Autónoma de Nuevo León en febrero 2013 concluyéndolos en enero de 2019. En marzo de 2022 ingresó al programa de Especialización en Anestesiología en el Hospital Universitario “Dr. José Eleuterio González” de la misma universidad, donde ha desarrollado su formación académica, clínica y de investigación.

**Trayectoria académica y profesional.** Durante su formación médica ha participado activamente en actividades de docencia y educación médica, así como en campañas con enfoque social y humanitario, entre ellas Operation Smile y el Programa de Atención a Menores de 18 Años con Secuelas Severas por Quemaduras, colaborando por dos años consecutivos.

**Formación complementaria.** Cursó el Diplomado en Neurología con NEUROSCIENCE MD MEXICO y ha asistido a diversos congresos enfocados en TIVA y en el uso de ultrasonido para el manejo de pacientes críticos.

**Áreas de interés.** Sus principales áreas de interés incluyen la monitorización neurológica durante la aplicación de técnicas anestésicas, la educación médica y la investigación en neuroanestesiología y neurocirugía.

Su enfoque integra la práctica clínica con la promoción de estrategias orientadas a optimizar la neuroprotección durante la anestesia y mejorar la calidad del cuidado perioperatorio del paciente neurológico.