



HERRAMIENTA DE ANALÍTICA DE DATOS PARA DISPOSITIVOS DE INFUSIÓN Y MONITOREO DE ANESTESIA TOTAL INTRAVENOSA

Jahel Daniela Galeano Pulecio

Informe de práctica presentado para optar al título de Bioingeniero

Asesor:

Frank Sánchez Restrepo, MSc Ingeniería
Juan Manuel Fernandez, MSc Ingeniería de diseño

Universidad de Antioquia
Facultad de ingeniería
Bioingeniería
Medellín, Antioquia, Colombia
2024

Cita	Galeano Pulecio [1]
Referencia	[1] Galeano Pulecio, “Herramienta de analítica de datos para dispositivos de infusión y monitoreo de anestesia total intravenosa”, Trabajo de grado profesional, Bioingeniería, Universidad de Antioquia, Medellín, Antioquia, Colombia, 2024.
Estilo IEEE (2020)	



Proyecto apoyado y financiado por la empresa BIOIN SOLUCIONES para el área de innovación y desarrollo.



Centro de documentación de ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes

Decano Facultad de Ingeniería: Julio César Saldarriaga

Coordinador Bioingeniería: John Fredy Ochoa

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

TABLA DE CONTENIDO

1. RESUMEN:.....	9
Palabras claves:	10
ABSTRACT:.....	11
Keywords:	11
2. INTRODUCCIÓN:	12
3. OBJETIVOS.....	16
3.1. Objetivo general	16
3.2. Objetivos específicos:.....	16
4. MARCO TEÓRICO	17
5. METODOLOGÍA	22
5.1. Sujetos:	22
5.2. Variables.....	22
5.3. Análisis estadísticos:	24
5.3.1. Caracterización sociodemográfica y antropométrica	24
5.3.2. Caracterización clínica y de procedimientos	25
5.3.3. Caracterización de consumo farmacológico por fases:	27
5.3.4. Caracterizaciones variables hemodinámicas:	27
5.3.5. Caracterización individual de pacientes	28
5.4. Desempeño del sistema y métricas de error:	28
6. RESULTADOS:.....	31
6.1. Sujetos:	34
6.2. Variables.....	35
6.3. Análisis estadístico:.....	36
6.3.1. Caracterización sociodemográfica y antropométrica	36
6.3.2. Caracterización clínica y de procedimientos:.....	37
6.3.3. Caracterización de consumo farmacológico por fases:	38
6.3.4. Caracterización de variables hemodinámicas	41
6.3.5. Caracterización individual de pacientes	43
6.4. Desempeño del sistema y métricas de error	46

7.	DISCUSIÓN.....	50
8.	CONCLUSIONES:	59
9.	BIBLIOGRAFÍA:.....	60
10.	ANEXOS:.....	63
10.1.	Tabla caracterización pacientes y PSI medio	63
10.2.	Fragmentos de código de interés:	64
10.3.	Reportes de datos generados	65

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Diagrama de flujo de generación de análisis, caracterizaciones y métricas</i>	<i>24</i>
<i>Figura 2. Comportamiento anestésico teórico con BIS [22]</i>	<i>26</i>
<i>Figura 3. Flujo grama de pacientes.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 4. Pantalla inicio SmartTIVA.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 5. Datos crudos entregados por la máquina de anestesia SmartTIVA.</i>	<i>36</i>
<i>Figura 6. Comportamiento concentración en sitio efecto de propofol durante el tiempo de los procedimientos para pacientes (líneas grises) y serie promedio (rojo).....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 7. Comportamiento concentración en sitio efecto de remifentanil durante el tiempo de los procedimientos para pacientes (líneas grises) y serie promedio (rojo).....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 8. Comportamiento SpO2 durante el tiempo de los procedimientos para pacientes (líneas grises) y serie promedio (rojo) (Eje del tiempo normalizado).....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 9. Comportamiento PAM durante el tiempo de los procedimientos para pacientes (líneas grises) y serie promedio (rojo) (Eje del tiempo normalizado).....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 10. Comportamiento FC durante el tiempo de los procedimientos para pacientes (líneas grises) y serie promedio (rojo) (Eje del tiempo normalizado).....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 11. Caso clínico de estudio particular comparando series de remifentanil y variables hemodinámicas.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 12. Caso clínico de estudio particular comparando series de propofol, PSI y PAM</i>	<i>45</i>
<i>Figura 13. Franja de comportamiento de la serie promedio de PSI con límite inferior y superior según desviación estándar $SD=7$, serie promedio en verde, límites en rojo, franja en gris claro (Eje normalizado).....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 14. Comportamiento PSI durante el tiempo total de procedimientos, series de pacientes (grises) y serie promedio (roja) (Eje normalizado)</i>	<i>47</i>
<i>Figura 15. Comportamiento tasas de supresión durante el tiempo total de procedimientos, series de pacientes (grises) y serie promedio (roja) (Eje normalizado)</i>	<i>48</i>
<i>Figura 16. Caso clínico con tasas de supresión</i>	<i>51</i>
<i>Figura 17. Caso clínico sin presencia de tasas de supresión</i>	<i>51</i>

Figura 18. Árbol de decisiones del BIS según algoritmo deducido [21]. Abreviaciones: BSR = tasas de supresión, EMG = electromiografía de zona frontal, SEF = frecuencia de borde espectral, PPV = valor predictivo positivo y RBR = radio beta relativo54

Figura 19. Mapa de calor BIS [21]55

Figura 20. Root caso clínico con SEF=12Hz PSI=16.....56

Figura 21. Espectrograma con representación de efecto cremallera [23]57

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Variables a analizar	22
Tabla 2. Estimación PE para PSI fuera de rango.....	29
Tabla 3. Síntesis de reporte de la herramienta.....	31
Tabla 4. Características demográficas de los pacientes.....	37
Tabla 5. Duración de procedimientos.....	37
Tabla 6. Descripción de consumo farmacológico	38
Tabla 7. Desempeño y rendimiento estadístico.....	49

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. LBM para hombres:	25
Ecuación 2. LBM para mujeres:	25
Ecuación 3. Performance Error según Varvel et al	28
Ecuación 4. Error mediano de desempeño según Varvel et al	28
Ecuación 5. Error mediado absoluto de desempeño según Varvel et al.....	29
Ecuación 6. Wobble según Varvel et al.....	29
Ecuación 7. PE según $PSI < 20$	29
Ecuación 8. PE según $PSI > 50$	29

SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURA

TIVA	Anestesia total intravenosa
TCI	Infusión controlada por target
PSI	Patient State Analyzer
EFF	Concentración en sitio efecto
PAM	Presión arterial media
SPO2	Saturación de oxígeno
EEG	Electroencefalograma
SR	Tasas de supresión
BIS	Índice biespectral
ASA	Escala American Society of Anesthesiologists Physical Status
FC	Frecuencia cardíaca
SEF	Frecuencia de borde espectral
LBM	Lean body mass
INF	Velocidad de infusión

1. RESUMEN:

La anestesia desempeña un papel fundamental en la atención médica, y su constante evolución es crucial para mejorar los resultados clínicos. En este contexto, el desarrollo de herramientas de análisis de datos se vuelve esencial para la toma de decisiones informadas. El presente estudio conceptualiza y desarrolla una herramienta de analítica de datos para dispositivos de infusión y monitoreo de anestesia total intravenosa en asa cerrada, mostrando los resultados de aplicar dicha herramienta para el análisis de un estudio retrospectivo post-mercado con la finalidad de evaluar el rendimiento y desempeño de estas tecnologías.

La herramienta procesa y analiza datos crudos de la máquina de anestesia extrayendo las variables necesarias para así generar reportes sociodemográficos y antropométricos (edad, peso, talla, etc), de procedimientos quirúrgicos (duración y delimitación de fases anestésicas) y consumo farmacológicos (discriminado para cada fase), a su vez que evalúa el desempeño del dispositivo para mantener un adecuado régimen anestésico (% tiempo PSI en rango optimo) junto con sus métricas de error relacionadas según consideraciones de cálculo específicas (PE, MDPE, MDAPE y Wobble) para así encontrar la métrica que mejor satisfaga el análisis, a su vez, la herramienta grafica variables de interés y permite individualizar casos clínicos.

Se destacan como resultados la capacidad de la herramienta de producir informes globales e individuales desde distintas aristas, permitiendo encontrar correlaciones entre el comportamiento clínico de los pacientes, sin embargo se genera una pregunta relevante sobre cuáles son las métricas precisas para evaluar el desempeño de este tipo de sistema si se desea ir en coherencia con los avances clínicos, demostrando que los criterios de cálculo para parámetros de error están abiertos a re interpretaciones al igual que los rangos de optima profundidad anestésica según las particularidades inherentes a cada sujeto concluyendo así que la monitorización y evaluación de desempeño de este tipo de dispositivos debe basarse en el análisis de un amplio conjunto de datos y no solo en índices de profundidad anestésica.

Herramienta de analítica de datos para dispositivos de infusión y monitoreo de anestesia total intravenosa

Palabras claves:

Anestesia total intravenosa (TIVA), Asa cerrada, Propofol, Remifentanilo, SmartTIVA, Índice del estado del paciente (PSI), Monitorización de profundidad anestésica SEDLine, Tasas de supresión de EEG, Análisis farmacológico, Análisis post mercado, PE, MDPE, MDAPE, Wobble

Herramienta de analítica de datos para dispositivos de infusión y monitoreo de anestesia total intravenosa

ABSTRACT:

Anesthesia plays a fundamental role in healthcare, and its constant evolution is crucial for improving clinical outcomes. In this context, the development of data analysis tools becomes essential for informed decision-making. This study conceptualizes and develops a data analytics tool for closed-loop total intravenous anesthesia infusion and monitoring devices, showing the results of applying such a tool for the analysis of a retrospective post-market study to evaluate the performance of these technologies.

The tool processes and analyzes raw data from the anesthesia machine, extracting the necessary variables to generate sociodemographic and anthropometric reports (age, weight, height, etc.), surgical procedures (duration and delimitation of anesthetic phases) and pharmacological consumption (discriminated for each phase). It also evaluates the device's performance in maintaining an adequate anesthetic regimen along (% time PSI in optimal range) with its related error metrics according to specific calculation considerations (PE, MDPE, MDAPE and Wobble) to find the metric that best satisfies the analysis. In turn, the tool graphs variables of interest and allows individualization of clinical cases.

The results highlight the tool's ability to produce global and individual reports from different perspectives, allowing to find correlations between the clinical behavior of patients. However, a relevant question is raised about which are the precise metrics to evaluate the performance of this type of system if it is desired to be consistent with clinical advances, demonstrating that the calculation criteria for error parameters are open to reinterpretation, as well as the ranges of optimal anesthetic depth according to the particularities inherent to each subject. It is concluded that the monitoring and performance evaluation of this type of device should be based on the analysis of a large set of data and not only on indexes of anesthetic depth.

Keywords:

Total intravenous anesthesia (TIVA), Closed loop, Propofol, Remifentanyl, SmartTIVA, Patient State Index (PSI), SEDLine depth of anesthesia monitoring, EEG suppression ratios, Pharmacological analysis, Post-market analysis, PE, MDPE, MDAPE, Wobble

2. INTRODUCCIÓN:

La organización mundial de la salud estima que en el 2004 se llevaron a cabo entre 187 a 281 millones de cirugías mayores [1], en el 2017 se realizaron aproximadamente 200 millones de intervenciones con anestesia general, con un mayor promedio en los países de altos ingresos [2], y con una tasa variable de incidencia de complicaciones relacionadas con la anestesia la cual cambia entre países oscilando desde 1 en 200.000 (altamente industrializados y de altos ingresos) hasta 1 en 1150 (caso puntual de Togo) [1].

La población mundial continua creciendo y se ha acentuado el factor de envejecimiento en la sociedad europea, estos datos permiten dimensionar la relevancia que tiene la anestesia en el sistema de salud a nivel mundial, y por tanto es necesario cerrar la brecha de calidad entre los distintos países y trabajar por la mejora continua en tecnologías, técnicas, insumos, fármacos, etc.

La anestesia total intravenosa (TIVA por sus siglas en inglés) es una técnica de anestesia general en la que se administran diferentes medicamentos, usualmente Propofol y remifentanilo, por vía intravenosa. Para ello existen dos métodos de administración: asa abierta y asa cerrada.

La dosificación de la anestesia se rige bajo modelos fármaco cinéticos y fármaco dinámicos cuyo desarrollo se realiza en poblaciones con características definidas, lo que conlleva a inexactitud para predecir y mantener los efectos clínicos deseados debido a la variabilidad entre pacientes, siendo así una barrera para el sistema de administración de anestesia en lazo abierto.

Es por ello que la administración de anestesia general en lazo cerrado representa una mejora en el desempeño clínico contribuyendo a disminuir la tasa de subdosificación y sobredosificación con sus respectivas secuelas asociadas [3] puesto que es un sistema de control automatizado basado en el principio de retroalimentación, que calcula y administra el fármaco de acuerdo con la concentraciones objetivo (TARGET) o la concentración en sitio efectivo (EEF) definidas por el anesthesiólogo.

Herramienta de analítica de datos para dispositivos de infusión y monitoreo de anestesia total intravenosa

En términos de métricas de desempeño, existen varias medidas que se utilizan para evaluar la eficacia y la calidad de la anestesia en lazo cerrado. Una métrica fundamental es la precisión en la administración del fármaco, que se refiere a la capacidad del sistema para mantener las concentraciones objetivo de anestésicos dentro de un rango predefinido. Esto se evalúa mediante la comparación de las concentraciones medidas con las concentraciones objetivo y la determinación de la desviación de estas concentraciones.

Otra métrica importante es la estabilidad hemodinámica del paciente durante el procedimiento. La anestesia en lazo cerrado se esfuerza por mantener la homeostasis cardiovascular del paciente, evitando fluctuaciones bruscas en la presión arterial y la frecuencia cardíaca que podrían estar asociadas con la administración inadecuada de fármacos. Se pueden utilizar parámetros como la variabilidad de la frecuencia cardíaca y la presión arterial media para evaluar esta estabilidad.

Además, la capacidad del sistema para adaptarse a cambios en las condiciones del paciente, como la respuesta al dolor o la variabilidad en la farmacocinética durante el procedimiento, también se considera una métrica de desempeño importante. Esto se puede evaluar mediante la rapidez y la precisión con las que el sistema ajusta las dosis de anestésicos en respuesta a cambios en los parámetros fisiológicos del paciente.

En el mercado global, marcas líderes como Dräger, GE Healthcare, Mindray, Philips Healthcare y Smiths Medical ofrecen una amplia gama de modelos de máquinas de anestesia en lazo cerrado, cada uno diseñado con características específicas para satisfacer las demandas clínicas y las preferencias de los profesionales de la salud. Estos modelos varían en precios, con rangos aproximados que van desde \$40,000 hasta \$140,000 USD, dependiendo del nivel de tecnología y las funcionalidades incorporadas. Es crucial tener en cuenta que estos precios pueden fluctuar según el modelo específico, las características adicionales y la ubicación geográfica del comprador.

Al elegir una máquina de anestesia, es esencial considerar factores como el tipo de procedimiento para el que será utilizada, las necesidades individuales del paciente, el presupuesto disponible y el acceso al soporte técnico. Además, la elección puede verse influenciada por la disponibilidad de modelos y servicios en los principales países usuarios de tecnología médica

Herramienta de analítica de datos para dispositivos de infusión y monitoreo de anestesia total intravenosa

avanzada, como Estados Unidos, Alemania, China, Japón y Brasil, donde la adopción de sistemas de anestesia en lazo cerrado está ampliamente extendida en la práctica clínica. Estos países destacan por su infraestructura médica avanzada y su compromiso con la mejora continua de la atención médica.

En el sistema de anestesia en asa cerrada el mercado colombiano se ve representado por SmartTIVA, una sistema de anestesia desarrollada por la empresa BIOIN Soluciones SAS.

SmartTIVA se concibe como un sistema de circuito de asa cerrado mediante el empleo de software basado en lógica difusa. Para ello hace uso de variables:

- Hemodinámicas para ajustar la infusión del analgésico (Presión arterial media y el ritmo cardiaco)
- Registro del nivel de consciencia para controlar el nivel de profundidad anestésica (Índice del estado de paciente - PSI, ondas EEG, Espectrograma bicolor de densidad, mediante un monitor SEDLine Masimo)

SmartTIVA se comercializa desde el 2019 y nació de un proyecto de grado de la Universidad de Antioquia, hoy en día el costo y fácil implementación hacen del dispositivo uno de los sistemas más competitivos. Mantenerse a la vanguardia, innovando, conservando calidad y con un crecimiento constante son aspectos que hacen parte de la misión y política de la empresa [4].

SmartTIVA no solo es un sistema de anestesia en lazo cerrado sino que también permite almacenar información segundo a segundo, para posteriormente acceder y gestionar la información del paciente y de las mediciones relacionadas al procedimiento. Dado el alto volumen de datos y la calidad de las tendencias que arroja el dispositivo, se hace necesario una herramienta intuitiva que permita hacer diferentes correlaciones y análisis para entender los desenlaces importantes que se presenten. Dicha herramienta debe permitir un análisis profundo de cada aspecto involucrado en el procedimiento, tales como: signos vitales, concentración de fármacos en compartimentos, consumo de medicamentos en cada etapa, etc.

Herramienta de analítica de datos para dispositivos de infusión y monitoreo de anestesia total intravenosa

Por otro lado, surge la necesidad de una constante evaluación de rendimiento que permita hacer diferentes correlaciones y análisis para entender los desenlaces importantes que se presenten. Se busca trabajar por la mejora continua en tecnologías, técnicas, insumos, fármacos, etc que permita cerrar la brecha de salud existente.

Este estudio pretende desarrollar una herramienta de analítica de datos que permita evaluar el desempeño del dispositivo de administración de fármacos anestésicos intravenosa de asa cerrada basado en SEDLINE y tasas de supresión de EEG, para así estimar su eficiencia y funcionamiento en un estudio post mercado.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Desarrollar una herramienta de análisis de datos para dispositivos de infusión y monitoreo de anestesia total intravenosa en asa cerrada, utilizarla en un análisis retrospectivo con la finalidad de evaluar rendimiento y desempeño de estas tecnologías en estudios post-mercado, para determinar así las mejores prácticas y métricas de análisis.

3.2. Objetivos específicos:

- Procesar, filtrar y depurar una base de datos de cirugías, que incluya información: demográfica, farmacológica y clínica del procedimiento quirúrgico,
- Desarrollar una herramienta de analítica para datos entregados por las máquinas de anestesia en lazo cerrado, que permita organizar, extraer y caracterizar la información demográfica, farmacológica y los eventos durante los procedimientos quirúrgicos.
- Realizar análisis estadísticos de consumo farmacológico, estimación de métricas de desempeño y error del sistema, dada una base de datos previamente registrada. Y finalmente condensar los resultados en un reporte académico.

4. MARCO TEÓRICO

La anestesia general es un estado de inconsciencia inducido médicamente que se utiliza para realizar procedimientos quirúrgicos o médicos. La profundidad de la anestesia se mide utilizando una variedad de técnicas, incluyendo la evaluación de la respuesta del paciente a estímulos, la medición de los signos vitales y el uso de técnicas de monitoreo cerebral. Para la interpretación de los datos de un sistema de anestesia se necesitan conceptos tales como:

Variables estadísticas

Algunas variables estadísticas relevantes para un análisis de datos de máquinas de anestesia incluyen:

- Variables de profundidad de anestesia: mediciones de la actividad eléctrica cerebral, como el PSI, la densidad espectral y el patrón de densidad espectral.
- Variables fisiológicas: presión arterial, frecuencia cardíaca y respiratoria, temperatura corporal y saturación de oxígeno.
- Variables demográficas: edad, sexo, peso, altura y condición médica del paciente.
- Variables de medicamentos: tipo, dosis y momento de administración.
- Variables de procedimiento: tipo de procedimiento quirúrgico y duración de la anestesia.

Análisis de datos

Un análisis de datos busca organizarlos, resumirlos según naturaleza y objetivo del análisis estadístico, y finalmente lograr identificar patrones y tendencias. En el caso puntual de una sistema de anestesia se procedería así:

- Recopilación de datos mediante el registro de la computadora: medida de profundidad anestésica, datos fisiológicos, de procedimiento y de medicamentos.
- Preparación de los datos: limpieza de los datos, codificación de variables y transformación de datos.
- Análisis estadístico: análisis de datos según objetivo de estudio.
- Interpretación de los resultados: conclusiones sobre el análisis.

Herramienta de analítica de datos para dispositivos de infusión y monitoreo de anestesia total intravenosa

Análisis estadístico [5][6]:

Las técnicas de análisis estadístico se pueden utilizar para identificar patrones y tendencias en los datos, probar hipótesis y tomar decisiones. Un análisis estadístico a los datos de una sistema de anestesia podría servir para mejorar la precisión, identificar factores que afectan la profundidad de la sedación o desarrollar nuevos métodos de monitorización. Se podrían llevar a cabo análisis como:

- Análisis descriptivo: calcular medidas de resumen para describir los datos.
- Análisis de regresión: predecir la profundidad de la sedación a partir de datos fisiológicos.
- Análisis de supervivencia: estimar la probabilidad de que un paciente permanezca en un estado de anestesia durante un período de tiempo determinado.

Correlaciones estadísticas:

Correlación es una medida de la relación entre dos variables. Si es positiva indica que las variables tienden a variar en la misma dirección, mientras que en una negativa tienden a variar en direcciones opuestas. Algunas correlaciones que se han encontrado sobre las variables involucradas son:

- Edad y dosis de sedación: ancianos requieren dosis más bajas que adultos jóvenes. [7]
- Sexo y dosis de anestesia: las mujeres requieren dosis más altas que los hombres.[8]

Métricas derivadas de EEG para profundidad anestésica [11]

Las métricas EEG para profundidad anestésica son indicadores de la actividad eléctrica del cerebro que se pueden utilizar para estimar la profundidad de la anestesia. Comercialmente se tienen diferentes parámetros dependiendo la marca, la tecnología y el principio usado, algunas son:

- BIS Technology (Aspect Medical System): Entrega un BIS index para el nivel de consciencia que oscila entre 0 (estado isoelectrico) y 100 (paciente despierto). El índice BIS se encuentra usando un algoritmo empírico que correlaciona la profundidad de anestésica

Herramienta de analítica de datos para dispositivos de infusión y monitoreo de anestesia total intravenosa

con patrones EEG incluyendo información en el dominio de la frecuencia y en el dominio del tiempo.

- S/5 Entropy Module (GE Healthcare): Toma los trazados crudos de EEG y EMG frontal para aplicarles un algoritmo que cuantifica la irregularidad de la señal y proveer una medida del nivel de consciencia entre 0 (mínima entropía, periodo isoelectrico) y 1 (máxima entropía o ruido)
- Narcotrend (MonitorTechnik): Clasifica los trazos de EEG en una escala de A (despierto) a F (anestesia general con presencia de ráfagas de supresión) acompañado con 16 sub estados alfanuméricos, la nueva versión introdujo un index con un rango de 0 (isoelectrico) a 100 (completamente despierto). Mide variables en tiempo y frecuencia al igual que medidas espectrales y de entropía, finalmente posee una función estadística multivariable para construir el índice,
- Cerebral State Monitor (Danmeter): Usando lógica difusa se calcula un índice de estado cerebral (CSI) con una escala entre 0 y 100, siendo entre 40 y 60 la escala óptima para cirugía anestésica. La lógica difusa es una lógica multivalor que considera grados de “verdad” en los atributos.
- SEDLine/Patient State Analyzer (Masimo): Con la potencia de EEG, frecuencia y comparaciones bilaterales de las regiones del cerebro se calcula un número entre 0 y 100 para así reflejar la profundidad de la anestesia. También entrega un patrón de densidad espectral que brinda información simultánea de la parte frontal de los hemisferios.
- SNAP II (Stryker): Cada segundo calcula un SNAP index con el promedio de 15 puntos móviles que representan bandas de alta (80-420 Hz) y baja frecuencia (0.1-40 Hz). Este número oscila entre 0 y 99 siendo entre 58 y 70 el equivalente a 40 - 60 en el índice BIS.
- AEP Monitor/2 (Danmeter): Usando potenciales evocados auditivos muestreados 9 veces por segundo, genera un index A-Line auto regresivo (AAI) escalado entre 0 y 100 donde 50 representa un paciente despierto y entre 15 a 25 un rango óptimo para cirugía anestésica,

Herramienta de analítica de datos para dispositivos de infusión y monitoreo de anestesia total intravenosa

Patrón de densidad espectral [12] [13]

Representación gráfica de la densidad espectral. Se utiliza para visualizar la potencia de las diferentes frecuencias de la actividad eléctrica cerebral. El patrón de densidad espectral del SedLine de Masimo se divide en cuatro bandas de frecuencia:

- Lentas (slow) (<1 Hz)
- Delta δ (1-4 Hz): sueño, hipotermia y anestesia profunda, neuro isquemia.
- Theta θ (5-8 Hz): somnolencia, leve depresión bio eléctrica cortical.
- Alfa α (9-12 Hz): conscientes con ojos cerrados
- Beta β (13-25Hz): conscientes con ojos abiertos.
- Gamma γ (26-80 Hz)

Un paciente consciente presenta actividad en ondas de baja amplitud y alta frecuencia. La mayoría anestésicos causan un aumento de amplitud y un descenso de frecuencia. Pueden aparecer periodos isoeléctricos (ausencia de ondas) mezclados con ondas de gran amplitud y baja frecuencia (ráfagas de supresión), algo frecuente en planos anestésicos profundos, coma farmacológico inducido e hipotermia inducida moderada-profunda.

Rendimiento y desempeño del sistema [14] [15]

Se utilizan para medir la efectividad de un sistema. El rendimiento se refiere a la capacidad del sistema para realizar una tarea, mientras que el desempeño se refiere a la calidad de los resultados obtenidos por el sistema.

- PE (Performance error) [9]

Es una medida de la precisión de un modelo estadístico. El PE mide la precisión de las estimaciones de profundidad anestésica de la máquina, comparando el nivel de anestésico predicho con el realmente necesario. Un valor alto de PE indica una gran discrepancia entre la dosis estimada y la requerida, sugiriendo que el modelo de la máquina puede necesitar ajustes para mejorar su precisión. Este análisis es crucial para asegurar que los pacientes no experimenten ni subdosificación ni sobredosificación durante los procedimientos quirúrgicos.

- MDPE (Mediana del error absoluto de porcentaje) [9]

Herramienta de analítica de datos para dispositivos de infusión y monitoreo de anestesia total intravenosa

Se calcula como la mediana de los valores absolutos de los PE. El MDPE ofrece una vista resistente a valores atípicos del error en las estimaciones de profundidad anestésica, proporcionando un indicador central del error que ignora la dirección del mismo (sobrestimación o subestimación). Es fundamental para evaluar la precisión general del sistema en un nivel más típico o mediano, ayudando a los clínicos a entender mejor la fiabilidad de las estimaciones de la máquina en condiciones normales.

- MDAPE (Mediana del error absoluto de porcentaje de la mediana) [9]
Es una medida del sesgo. Indica si el modelo tiende a sobreestimar o subestimar de manera consistente los valores reales la profundidad anestésica. Esta métrica es crucial para identificar y corregir sesgos en los algoritmos de dosificación, garantizando que la máquina ajuste sus estimaciones hacia un equilibrio más preciso y seguro.
- Wobble [9]
El Wobble evalúa la consistencia de las estimaciones de la máquina de anestesia, midiendo cuánto varían los errores de rendimiento (PE) alrededor de su valor mediano (MDPE). Una baja variabilidad (un Wobble bajo) indica que el modelo realiza estimaciones consistentes a lo largo del tiempo, lo cual es esencial para la confiabilidad del sistema. Este análisis ayuda a identificar si la máquina mantiene una precisión constante bajo diferentes condiciones, asegurando una administración de anestésico más segura y efectiva.

Las publicaciones consideran un MDAPE aceptable de entre 20% y 50%, por otro lado clínicamente se aceptan valores de entre 10%-20% para el MDPE y se desea un PE y wobble lo más cercano a 0. Entre más bajo se encuentren estos valores se puede interpretar que el sistema funciona de manera exacta, precisa y constante.

5. METODOLOGÍA

5.1.Sujetos:

La herramienta de datos recibe un grupo de casos clínicos que contienen información de interés según la descrita en las variables. A partir de la misma extraerá información relevante y generara informes y métricas de interés.

5.2.Variables

Los archivos generados por la máquina de anestesia condensan información de datos ingresados manualmente, datos reportados por la máquina y datos del procedimiento entregados segundo a segundo de la intervención.

De cada uno de los procedimientos, la herramienta toma las variables de la tabla 1

Tabla 1. Variables a analizar

Grupo	Variable	Descripción	Unidades
Paciente	Nombre	Nombre del paciente	NA
	ID	Identificación del paciente	NA
	Sexo	Sexo del paciente	NA
	Edad	Edad del paciente	años
	Peso	Peso del paciente	kg
	Estatura	Estatura del paciente	cm
Farmacológicos establecidos por el anesthesiólogo	Propofol	Nombre del hipnótico, comúnmente propofol	NA
	Dilucion_prop	Dilución del hipnótico, comúnmente propofol	mg/ml
	Target_Inicial_1	Concentración inicial de fármaco 1 a la cual se quiere llevar la concentración en sitio efecto	ug/ml
	Farmaco_2	Nombre del analgésico, comúnmente	NA

Herramienta de analítica de datos para dispositivos de infusión y monitoreo de anestesia total intravenosa

		remifentanil	
	Dilucion_2	Dilución del analgésico, comúnmente remifentanil	ug/ml
	Target_Inicial_2	Concentración inicial de fármaco 2 a la cual se quiere llevar la concentración en sitio efecto	ng/ml
Procedimiento	Anestesiólogo	Nombre del anestesiólogo a cargo del procedimiento	NA
	Tiempo_Cirugia	Tiempo total de la cirugía	HH:MM:SS
	Total_Infundido_Farmaco_1	Cantidad total infundida del fármaco 1 durante todo el procedimiento	ml
	Total_Infundido_Farmaco_2	Cantidad total infundida del fármaco 2 durante todo el procedimiento	ml
	Inicio	Hora inicial de la cirugía	DD:MM:AAAA HH:MM
	Final	Hora final de la cirugía	DD:MM:AAAA HH:MM
	Index	Contador de la cirugía para reporte de datos de procedimiento segundo a segundo	NA
Fisiológicos	FC	Frecuencia cardíaca	Pulsaciones por minuto
	PAM	Presión arterial media calculada según la relación entre la presión diastólica y sistólica	mmHg
	Psis	Presión sistólica	mmHg
	Pdia	Presión diastólica	mmHg
	Pshb	Hemoglobina no invasiva	g/dl
	Pso2	Saturación de oxígeno en sangre	%
	SR	Tasas de supresión	%
Profundidad anestésica	PSI	Índice de profundidad anestésica según SedLine	NA
Farmacológicos calculados por la maquina	EFF	Concentración en sitio efecto calculada para el fármaco 1	ug/ml
	EFF2	Concentración en sitio efecto calculada para el fármaco 2	ng/ml
	INF	Velocidad de infusión del fármaco 1	ml/h
	INF2	Velocidad de infusión del fármaco 2	ml/h
	Target_prop	Concentración objetivo del fármaco 1 según el cálculo y re ajuste basado en SedLine	ug/ml
	Target_remi	Concentración objetivo del fármaco 2 según el cálculo y re ajuste basado en las	ng/ml

Herramienta de analítica de datos para dispositivos de infusión y monitoreo de anestesia total intravenosa

variables hemodinámicas y el score		
Score	Índice del dolor calculado mediante relaciones entre las variables hemodinámicas	unidades
Dolor	Bandera para aumento en un punto el target del fármaco analgésico debido a presencia de estímulos dolorosos	+1ng/ml

Se procesa la información desde los datos crudos entregados por la máquina de anestesia, de allí se toman y calculan variables según el diagrama de flujo de análisis y generación de métricas ilustrado en la figura 1. Se divide en dos ejes principales: análisis estadístico de las variables extraídas y evaluación del desempeño del sistema con sus métricas de error asociadas.



Figura 1. Diagrama de flujo de generación de análisis, caracterizaciones y métricas

5.3. Análisis estadísticos:

5.3.1. Caracterización sociodemográfica y antropométrica

Las variables de género, edad, peso y talla se extrajeron directamente del reporte de la máquina para finalmente sacar medidas de tendencia central y de dispersión.

Herramienta de analítica de datos para dispositivos de infusión y monitoreo de anestesia total intravenosa

Por otro lado, con las medidas previamente mencionadas se calculó el Índice de Masa Magra (LBM) mediante el modelo de James [16], tal como las ecuaciones 1 y 2:

Ecuación 1. Para hombres:

$$LBM = 1.1 * (Peso) - 128 * \left(\frac{Peso}{Talla}\right)^2 \quad (1)$$

Ecuación 2. Para mujeres:

$$LBM = 1.07 * (Peso) - 148 * \left(\frac{Peso}{Talla}\right)^2 \quad (2)$$

5.3.2. Caracterización clínica y de procedimientos

Históricamente se han discriminado los procedimientos en tres fases anestésicas. La primera es la fase de inducción donde se da inicio a la anestesia y se busca llevar el paciente a un plano anestésico adecuado, posteriormente se marca la fase del mantenimiento donde se busca conservar al paciente en el rango anestésico determinado a la profundidad anestésica deseada durante el procedimiento, finalmente se da la fase de despertar donde se busca que el paciente recupere consciencia. Estas fases se pueden ver representadas en la figura 2 donde se evidencia un comportamiento teórico de profundidad anestésica con BIS.

Para la delimitación de las fases se evalúan parámetros como el PSI, que es el índice de profundidad anestésica y se obtiene mediante un algoritmo propio del sensor SedLine (Massimo) según el análisis de los encefalogramas crudos, espectrogramas y el histórico de cada paciente. El índice va entre 0 y 100 siendo 100 un paciente despierto y consciente.

Tomando las fases evidenciadas en la figura 2 y trasladándolas de BIS a PSI, en la fase de inducción se espera pasar de un paciente consciente (PSI>90%) a un paciente anestesiado (PSI<50%). En la fase de mantenimiento se espera tener al paciente en un plano anestésico adecuado (20<PSI<50) y finalmente en la fase de despertar se busca devolver al paciente a su nivel de consciencia inicial.

Herramienta de analítica de datos para dispositivos de infusión y monitoreo de anestesia total intravenosa

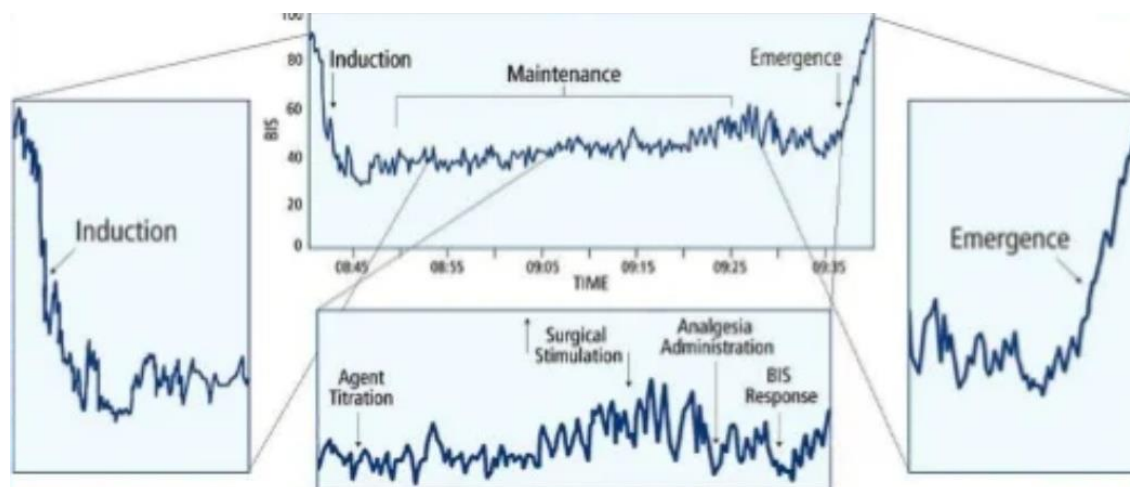


Figura 2. Comportamiento anestésico teórico con BIS [22]

Debido a la necesidad de delimitar dichas fases se plantearon dos diferentes alternativas para buscar los límites inferiores y superiores.

Una primera opción fue evaluar segundo a segundo la permanencia del paciente por encima de un límite $PSI=50$ en la primera cuarta porción del procedimiento, una vez el paciente se encontrara estabilizado de forma constante y sostenida bajo el límite superior de PSI durante un minuto era cuando se delimitaba el fin de la fase de inducción y se iniciaba la fase de mantenimiento.

Esta opción fue descartada debido a que extendía la fase de inducción más del tiempo esperado lo que dificultaba la interpretación de los consumos farmacológicos en cada una de las fases. Según la bibliografía existente de consumos farmacológicos en fase de inducción y tomando de referencia el tiempo pico común de los medicamentos utilizados, se optó por delimitar la fase de inducción a una duración de dos minutos, siendo este el límite que marca el inicio de la fase de mantenimiento.

A su vez para calcular el fin de la fase de mantenimiento se evaluó segundo a segundo la permanencia del paciente por encima del PSI de 50 en la cuarta porción final de procedimiento. Una vez el paciente se encuentre de forma constante sobre este límite superior de PSI se delimita el rango de interés de la fase de mantenimiento y se da inicio a la fase del despertar que abarca hasta el fin del procedimiento.

5.3.3. Caracterización de consumo farmacológico por fases:

Tomando las consideraciones de la caracterización de procedimientos, la herramienta discrimina el consumo farmacológico de forma global y según las fases debido a los distintos objetivos que guardan ambas fases en términos farmacológicos (algo que se puede evidenciar en la figura 2).

La herramienta extrae directamente del reporte de la maquina las variables de tiempo de cirugía, total infundido de propofol (miligramos) y total infundido de remifentanil (miligramos), al igual que la dilución1 (mg/ml) y dilucion2 (ug/ml). Con la información extraída junto con los datos antropométricos y de procedimiento se puede discriminar de forma media el consumo farmacológico.

De forma global se totalizo el consumo de propofol y remifentanil de todos los pacientes junto con su relación con respecto al peso promedio de la muestra de pacientes y el gasto total de ampollitas tomando como referencia comercial viales de 200mg y 2mg para propofol y remifentanil respectivamente. Habiéndose delimitado las fases de inducción y mantenimiento se calcularon datos de importancia para cada una (ambos fármacos):

- Fase de inducción: Total infundido (sumatoria total de todos los pacientes), , relación de infusión con respecto al peso promedio y volumen promedio infundido por paciente según la dilución usada.
- Fase de mantenimiento: Total infundido (sumatoria total de todos los pacientes), relación de total infundido por peso promedio y hora, promedio infundido por hora y volumen promedio infundido por hora por paciente según dilución usada.

5.3.4. Caracterizaciones variables hemodinámicas:

Debido a la gran magnitud de datos presentes, se sintetiza en series promedio e individuales las variables hemodinámicas que permitan visualizar gráficamente el comportamiento de las

Herramienta de analítica de datos para dispositivos de infusión y monitoreo de anestesia total intravenosa

mismas en el tiempo para así monitorear la estabilidad de los pacientes y encontrar correlaciones con otras variables como lo puede ser el PSI, SR, etc.

5.3.5. Caracterización individual de pacientes

Debido a la singularidad inherente de cada paciente y a la necesidad de evaluación puntual de algunos casos clínicos, la herramienta permite la visualización de las series de dicho paciente según la necesidad del caso como lo son las variables hemodinámicas, el comportamiento del PSI, comportamiento farmacológico en el tiempo, presencia de tasas de supresión, por nombrar algunas entre casi todas las otras variables presentes en la tabla 1 y que son reportadas por la maquina segundo a segundo.

Por otro lado la herramienta genera reportes consolidados descargables que documentan la información de cada uno de los pacientes para los consumos farmacológicos por fases y para el desempeño del sistema junto con las respectivas métricas de error.

5.4. Desempeño del sistema y métricas de error:

El desempeño del sistema se evalúa mediante el porcentaje de tiempo en el cual el PSI se encontró entre el rango de interés para anestesia ($20 < \text{PSI} < 50$).

Para la evaluación del desempeño técnico del controlador se emplearon las formulas descritas por Varvel et al [17] para así hacer estimaciones de error (formulas siguientes), se generaron medidas centrales y dispersión según las ecuaciones 3, 4, 5 y 6.

Ecuación 3. Performance Error

$$PE = \frac{PSI_{medido} - PSI_{objetivo}}{PSI_{objetivo}} * 100 \quad (3)$$

Ecuación 4. Error mediano de desempeño

Herramienta de analítica de datos para dispositivos de infusión y monitoreo de anestesia total intravenosa

$$MDPE = \text{median}[PE_{ij}, j = 1 \dots N_i] \quad (4)$$

Ecuación 5. Error mediado absoluto de desempeño

$$MDAPE = \text{median}[|PE_{ij}|, j = 1 \dots N_i] \quad (5)$$

Ecuación 6. Wobble

$$Wo = \text{median}[|PE_{ij} - MDPE_{ij}|, j = 1 \dots N] \quad (6)$$

El error de desempeño (PE) se define como la diferencia entre los valores reales y el valor objetivo. El error mediano de desempeño (MDPE) es una medida de sesgo, mientras que el error mediano de desempeño absoluto (MDAPE) mide la precisión del controlador. Finalmente, el wobble representa la variabilidad interindividual para el error de desempeño.

Sin embargo, se tomaron algunas consideraciones para hacer distintos cálculos que permitan hacer inferencias sobre la relevancia y asertividad de las métricas:

- Opción 1: Para el valor de PSI objetivo se toma como referencia los estudios hechos con BIS, los cuales se hacen con un índice objetivo de 50 que es el valor medio del rango de 40-60, el cual se supone es el intervalo indicado para una adecuada profundidad anestésica según las recomendaciones del fabricante, remitiendo esto a el dispositivo SEDLine Masimo que posee un rango óptimo de 25 y 50, el homologo a dicho valor medio seria de 37.5.
- Opción 2: Para el valor de PSI objetivo se toma un valor identificado históricamente como un mejor plano anestésico de PSI=28 [18].
- Opción 3: Por otro lado, se considera un error solo cuando el PSI se encuentre fuera del rango de $20 < \text{PSI} < 50$. Por tanto para este cálculo se usaran formulas diferentes que las descritas por Varvel, y las mismas se encontraran discriminadas según el rango de PSI donde se encuentre el PSI medido según la tabla 2 que contiene las ecuaciones 7 y 8.

Tabla 2. Estimación PE para PSI fuera de rango

Herramienta de analítica de datos para dispositivos de infusión y monitoreo de anestesia total intravenosa

Característica	Formula
PSI<20	$PE = \frac{PSI_{medido} - 20}{20} * 100 \quad (7)$
20<PSI<50	$PE = 0$
PSI>50	$PE = \frac{PSI_{medido} - 50}{50} * 100 \quad (8)$

- Opcion 4: Finalmente, para cada paciente se evaluara el PSI basal que es el índice donde cada paciente se estabiliza en la fase de mantenimiento y se recalcularan las métricas de error a partir del PE la ecuación de Varvel donde el PSI objetivo sería ese índice basal del paciente.

Debido a los diferentes resultados de PE, también se obtendrán diferentes métricas de MDPE, MDAPE y Wobble para posterior análisis.

6. RESULTADOS:

La herramienta de analítica de datos permite condensar y generar reportes, gráficas y tablas de interés. Toda la información entregada por la herramienta se puede ver en la tabla 3

Tabla 3. Síntesis de reporte de la herramienta

	Variable	Unidades
Descripción sociodemográfica	Cantidad total de pacientes	Sujetos
	Cantidad total de pacientes femeninos	Sujetos
	Cantidad total de pacientes masculinos	Sujetos
	Edad promedio de los pacientes	años
	Rango de edades de los pacientes	años
	Peso promedio de los pacientes	kg
	Rango de peso de los pacientes	kg
	Estatura promedio de los pacientes	cm
	Rango de Estatura de los pacientes	cm
	LBM promedio de los pacientes	kg
Descripción de procedimientos	Rango de LBM de los pacientes	kg
	Tiempo total procedimientos	h
	Tiempo promedio por paciente	h
	Rango de tiempo de duración	h
	Tiempo total fase de inducción	h
	Tiempo promedio de fase de inducción por paciente	h
	Tiempo total fase de mantenimiento	h
Tiempo promedio de fase de mantenimiento por paciente	h	
Descripción farmacológica por fases	Total infundido de propofol	mg
	Total infundido según dilución de propofol	ml
	Infundido por paciente de propofol	mg
	Infundido promedio según dilución de propofol	ml
	Infundido por kg de propofol	mg/kg
	Ampolletas usadas de propofol	vial de 200mg
	Total infundido de propofol en inducción	mg
	Promedio infundido por paciente de propofol en inducción	mg

Herramienta de analítica de datos para dispositivos de infusión y monitoreo de anestesia total intravenosa

	Infundido por kg de propofol en inducción	mg/kg
	Total infundido de propofol en mantenimiento	mg/kg
	Promedio infundido por paciente de propofol en mantenimiento	mg
	Infundido por kg por hora de propofol en mantenimiento	mg/kg/h
	Infundido por kg por minuto de propofol en mantenimiento	mg/kg/min
	Infundido por paciente por hora de propofol en mantenimiento	mg/h
	Total infundido de remifentanil	ug
	Total infundido según dilución de remifentanil	ml
	Infundido por paciente de remifentanil	ug
	Infundido promedio según dilución de remifentanil	ml
	Infundido por kg de remifentanil	ug/kg
	Ampolletas usadas de remifentanil	vial de 2mg
	Total infundido de remifentanil en inducción	ug
	Promedio infundido por paciente de remifentanil en inducción	ug
	Infundido por kg de remifentanil en inducción	ug/kg
	Total infundido de remifentanil en mantenimiento	ug/kg
	Promedio infundido por paciente de remifentanil en mantenimiento	ug
	Infundido por kg por hora de remifentanil en mantenimiento	ug/kg/h
	Infundido por kg por minuto de remifentanil en mantenimiento	ug/kg/min
	Infundido por paciente por hora de remifentanil en mantenimiento	ug/h
	Reporte individual de consumo farmacológicos	Excel
	Comportamiento EFF con tiempo normalizado (serie promedio e individual)	Grafica
	Comportamiento EFF2 con tiempo normalizado (serie promedio e individual)	Grafica
Comportamiento fisiológico y hemodinámico	Comportamiento PSO2 con tiempo normalizado (serie promedio e individual)	Grafica
	Comportamiento PAM con tiempo normalizado (serie promedio e individual)	Grafica
	Comportamiento FC con tiempo normalizado (serie promedio e individual)	Grafica
Caracterización individual	Individualización casos clínicos de interés con variables de interés elegidas	Grafica
Desempeño del sistema y métricas de error	Comportamiento PSI con tiempo normalizado (serie promedio e individual)	Grafica
	Desviación estándar franja promedio del PSI	unidad
	Franja de comportamiento de la serie promedio de PSI con límite inferior y superior según desviación estándar SD	Grafica
	Comportamiento SR con tiempo normalizado (serie promedio e individual)	Grafica

Herramienta de analítica de datos para dispositivos de infusión y monitoreo de anestesia total intravenosa

Número de pacientes con SR>20	sujetos
Porcentaje de tiempo 20<PSI<50	%
Porcentaje de tiempo PSI<20	%
PE según valor de PSI de referencia (28 y 37.5)	%
Desviación estándar PE según valor de PSI de referencia (28 y 37.5)	unidades
MDPE según valor de PSI de referencia (28 y 37.5)	%
Desviación estándar MDPE según valor de PSI de referencia (28 y 37.5)	unidades
MDAPE según valor de PSI de referencia (28 y 37.5)	%
Desviación estándar MDAPE según valor de PSI de referencia (28 y 37.5)	unidades
Wobble según valor de PSI de referencia (28 y 37.5)	%
Desviación estándar Wobble según valor de PSI de referencia (28 y 37.5)	unidades
PE según intervalo de 20<PSI<50	%
Desviación estándar PE según intervalo de 20<PSI<50	unidades
MDPE según intervalo de 20<PSI<50	%
Desviación estándar MDPE según intervalo de 20<PSI<50	unidades
MDAPE según intervalo de 20<PSI<50	%
Desviación estándar MDAPE según intervalo de 20<PSI<50	unidades
Wobble según intervalo de 20<PSI<50	%
Desviación estándar Wobble según intervalo de 20<PSI<50	unidades
PSI basal de cada paciente	unidades
PE según PSI basal	%
Desviación estándar PE según PSI basal	unidades
MDPE según PSI basal	%
Desviación estándar MDPE según PSI basal	unidades
MDAPE según PSI basal	%
Desviación estándar MDAPE según PSI basal	unidades
Wobble según PSI basal	%
Desviación estándar Wobble según PSI basal	unidades
Reporte individual de desempeño y métricas de error según la consideración usada	Excel

Para evidenciar y evaluar el uso de la herramienta junto con los análisis pertinentes, se dispone de una base de datos de un estudio clínico que permite hacer una evaluación retrospectiva de mercado para una máquina de anestesia intravenosa en asa cerrada (SmartTIVA). Esta información se verá desglosada a continuación:

6.1. Sujetos:

En colaboración con la Universidad del Valle se obtiene una base datos de 98 pacientes del Hospital Universitario del Valle Evaristo Garcia ESE (HUV), la cual se sometió a los criterios de elegibilidad y exclusión, obteniendo finalmente una base de datos de 60 pacientes cuyo flujo grama se representa en la figura 3.

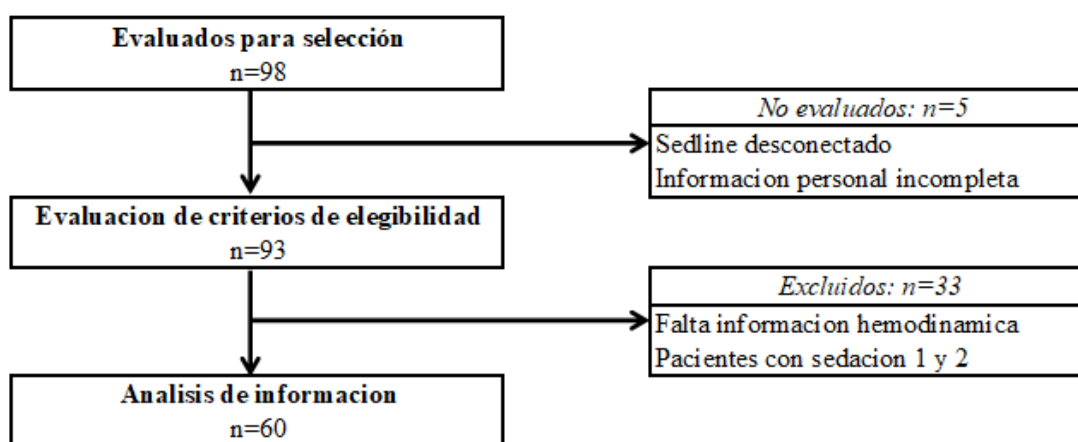


Figura 3. Flujo grama de pacientes

Los criterios de elegibilidad fueron pacientes de todas las edades con intervenciones quirúrgicas de anestesia profunda TCI en asa cerrada de propofol y remifentanil, independientemente de la duración del procedimiento. Se consideraron factores excluyentes: la ausencia parcial o total de información hemodinámica, desconexión de sensores de monitoreo y aquellos pacientes en Sedación 1 y 2. Toda la información se obtuvo mediante la Universidad del Valle con un periodo de recolección desde 4 de febrero del 2022 hasta el 5 de octubre del 2023.

La sedación 1 y 2 se definen como planos de anestesia superficiales donde se medica al paciente con rangos de anestesia menores tal como se discrimina en la figura 4 donde se visualiza la interfaz de una máquina de anestesia. Se definió como paciente anestesiado aquel que seguía la dosificación según ASA y que requería asistencia respiratoria. Solo anestesiólogos

Herramienta de analítica de datos para dispositivos de infusión y monitoreo de anestesia total intravenosa

experimentados manejaron el dispositivo anestésico y controlaron la dosificación de propofol y remifentanil mediante TCI.

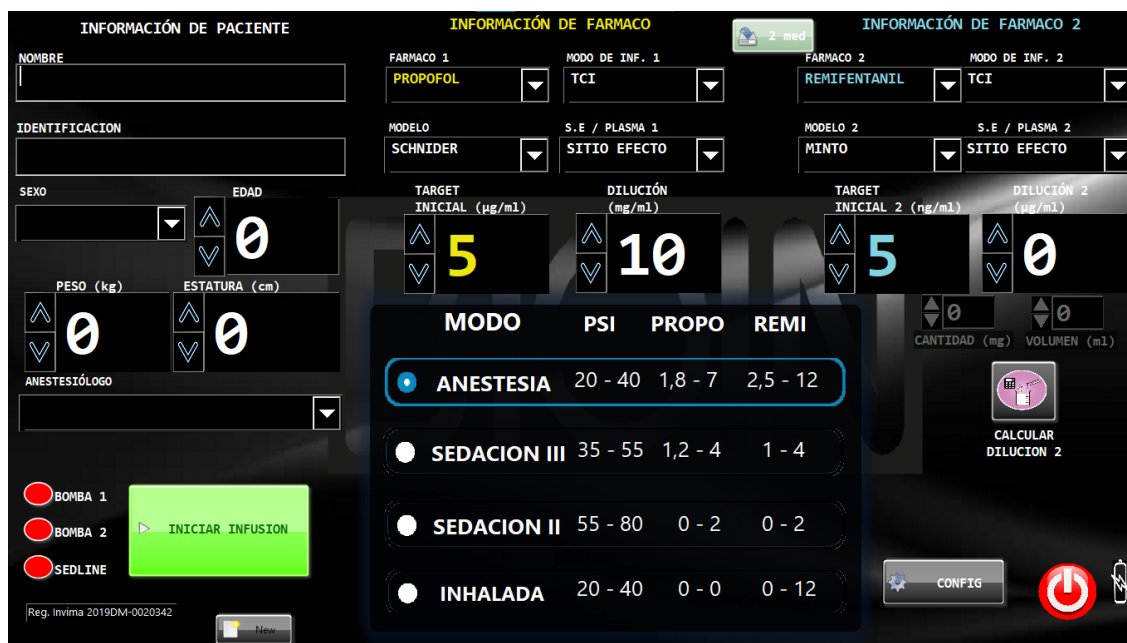


Figura 4. Pantalla inicio SmartTIVA

6.2. Variables

La herramienta extrajo la información entregada por la máquina de anestesia (Figura 5) discriminando las variables mencionadas en la tabla 1 para el procesamiento y generación de reportes.

Herramienta de analítica de datos para dispositivos de infusión y monitoreo de anestesia total intravenosa

	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI
1	INDEX	FC	PAM	PSI	EFF	EFF2	INF	INF2	SCORE	TARGET	TARGET2	DOLOR	PSIS	PDIA	PSHB	PSO2	
2	0	81	0	38	0	0	0	0	0	4	5	0	0	0	0	96	
3	1	81	0	38	0	0	0	853,8	1051,8	0	4	5	0	0	0	96	
4	2	81	0	38	0	0	0	853,8	1051,8	0	4	5	0	0	0	96	
5	3	81	0	37	0	0	0	853,8	1051,8	0	4	5	0	0	0	96	
6	4	81	0	37	0,1	0,1	0,1	853,8	1051,8	0	4	5	0	0	0	96	
7	5	81	0	38	0,1	0,1	0,1	853,8	1051,8	0	4	5	0	0	0	96	
8	6	81	0	38	0,1	0,1	0,1	853,8	1051,8	0	4	5	0	0	0	96	
9	7	81	0	38	0,1	0,2	0,2	853,8	1051,8	0	4	5	0	0	0	96	
10	8	81	0	38	0,2	0,2	0,2	853,8	1051,8	0	4	5	0	0	0	96	
11	9	81	0	38	0,2	0,3	0,3	853,8	1051,8	0	4	5	0	0	0	96	
12	10	81	0	38	0,2	0,3	0,3	853,8	1051,8	0	4	5	0	0	0	96	
13	11	81	0	38	0,3	0,4	0,4	853,8	1051,8	0	4	5	0	0	0	96	
14	12	81	0	38	0,3	0,4	0,4	853,8	1051,8	0	4	5	0	0	0	96	
15	13	81	0	37	0,4	0,5	0,5	853,8	1051,8	0	4	5	0	0	0	96	
16	14	81	0	37	0,4	0,6	0,6	853,8	1051,8	0	4	5	0	0	0	96	
17	15	81	0	37	0,5	0,6	0,6	853,8	1051,8	0	4	5	0	0	0	96	
18	16	81	0	37	0,5	0,7	0,7	853,8	1051,8	0	4	5	0	0	0	96	
19	17	81	0	36	0,6	0,8	0,8	853,8	1051,8	0	4	5	0	0	0	96	
20	18	81	0	36	0,7	0,9	0,9	853,8	1051,8	0	4	5	0	0	0	96	
21	19	81	0	36	0,7	0,9	0,9	853,8	1051,8	0	4	5	0	0	0	96	
22	20	81	0	36	0,8	1	1	853,8	1051,8	0	4	5	0	0	0	96	
23	21	81	0	36	0,9	1,1	1,1	853,8	1051,8	0	4	5	0	0	0	96	

Figura 5. Datos crudos entregados por la máquina de anestesia SmartTIVA.

6.3. Análisis estadístico:

6.3.1. Caracterización sociodemográfica y antropométrica

Usando la herramienta se concluye una muestra de 60 pacientes en el estudio, de los cuales 44 son pacientes femeninos representando el 73% de la muestra. Las edades se reportan entre 12 y 68 años, con una media de 39 años. El peso se reporta entre 34 y 114 kg siendo la media de 66 kg. Demás información demográfica y basal se encuentra en la tabla 4.

La construcción de la tabla 4 permite hacer inferencias sobre los pacientes que se van a evaluar, sabiendo las distinciones que hay por edad, sexo, peso y tallas tanto en la dosificación de los fármacos como la interacción de los mismos con el paciente.

Por otro lado, el LBM se calcula debido a que es un indicador más preciso del metabolismo de un paciente que su peso total, ya que considera la proporción de tejido magro que es metabólicamente activo [16]. Al ajustar la dosis de anestésico según la LBM, se puede lograr un nivel de anestesia más preciso y personalizado reduciendo el riesgo de sobredosificación o subdosificación.

Tabla 4. Características demográficas de los pacientes

Característica	n	%
Sexo		
Femenino	44	73.3%
Masculino	16	26.7%
Edad		
Promedio	39 años	
Rango	12 años – 68 años	
Peso		
Promedio	66 kg	
Rango	34 kg – 114 kg	
Talla		
Promedio	161 cm	
Rango	150 cm – 188 cm	
LBM		
Promedio	46 kg	
Rango	29.2kg – 64.8 kg	

6.3.2. Caracterización clínica y de procedimientos:

La información de los procedimientos se ve condensada en la tabla 5.

Tabla 5. Duración de procedimientos

Característica		
Duración de procedimiento		
Total	176.4 h (10584 min)	
Promedio por paciente	2.9 h (174 min)	
Rango	0.9 h – 10.4 h (54 min - 624 min)	
Duración fase de inducción		
Total	2 h (120 min)	
Promedio por paciente	0.033h (2 min)	
Duración fase de mantenimiento		
Total	150 h (9000 min)	
Promedio por paciente	2.5 h (150 min)	

Herramienta de analítica de datos para dispositivos de infusión y monitoreo de anestesia total intravenosa

La herramienta discrimina esta información ya que permite llevar un reporte de los tiempos de uso de la máquina de anestesia y sacar medidas de tendencia central para los pacientes según la duración de las fases, a su vez permite visualizar la dispersión de los datos para así conocer la homogeneidad de la muestra con respecto a la duración de las intervenciones.

6.3.3. Caracterización de consumo farmacológico por fases:

Toda la descripción farmacología relacionada de forma general o por fases para ambos fármacos, se encuentra en la tabla 6.

Tabla 6. Descripción de consumo farmacológico

Propofol			Remifentanil		
General			General		
	Total infundido	73076 mg		Total infundido	104233 µg
	Total infundido según dilución	7150307.6 ml		Total infundido según dilución	5333.9 ml
	Cantidad de pacientes	60		Cantidad de pacientes	60
	Infundido por paciente	1217.93 mg		Infundido por paciente	1737.22 µg
	Infundido promedio según dilución	121.8 ml		Infundido promedio según dilución	88.9 ml
	Peso promedio	66 kg		Peso promedio	66 kg
	Infundido por kg	18.28 mg/kg		Infundido por kg	26.08 µg/kg
	Ampolletas usadas	365.38		Ampolletas usadas	52.12
Fase de inducción			Fase de inducción		
	Total infundido	4251.62 mg		Total infundido	4460.96 µg
	Promedio infundido por paciente	70.86 mg		Promedio infundido por paciente	74.35 µg
	Infundido por kg	1.06 mg/kg		Infundido por kg	1.12 µg/kg
Fase mantenimiento			Fase mantenimiento		
	Duración promedio de la fase	150 min		Duración promedio de la fase	150 min
	Total infundido	63992.32 mg		Total infundido	92449.34 µg
	Promedio infundido por paciente	1066.54 mg		Promedio infundido por paciente	1540.82 µg
	Infundido por kg por hora	6.40 mg/kg/h		Infundido por kg por hora	9.25 µg/kg/h
	Infundido por kg por minuto	0.11 mg/kg/min		Infundido por kg por minuto	0.15 µg/kg/min
	Infundido por paciente por hora	7.26 mg/h		Infundido por paciente por hora	9.9 µg/h

La herramienta de datos dispone de la información registrada en la tabla 4 y 5, y junto con el procesamiento de la información farmacológica de ambos fármacos (EEF Concentración en

Herramienta de analítica de datos para dispositivos de infusión y monitoreo de anestesia total intravenosa

sitio efecto y INF velocidad de infusión), permite construir la tabla 6, la cual almacena información que permite hacer inferencias con respecto al consumo farmacológico del estudio, permitiendo comparar la información con datos o métricas comúnmente aceptados por la bibliografía para así evaluar de forma promedio el gasto, la subdosificación o sobredosificación, el flujo, entre otros criterios relevantes en las distintas fases anestésicas.

Primando la necesidad de comparar los resultados con la bibliografía, se generaron las métricas en las unidades más comúnmente usadas para cada fase según la guía de dosificación TIVA [19] para propofol y remifentanil, los cuales son fármacos usados comúnmente.

Igualmente se grafica el comportamiento de la concentración en sitio efecto de ambos fármacos, siendo los resultados los relacionados en la figura 6 y 7.

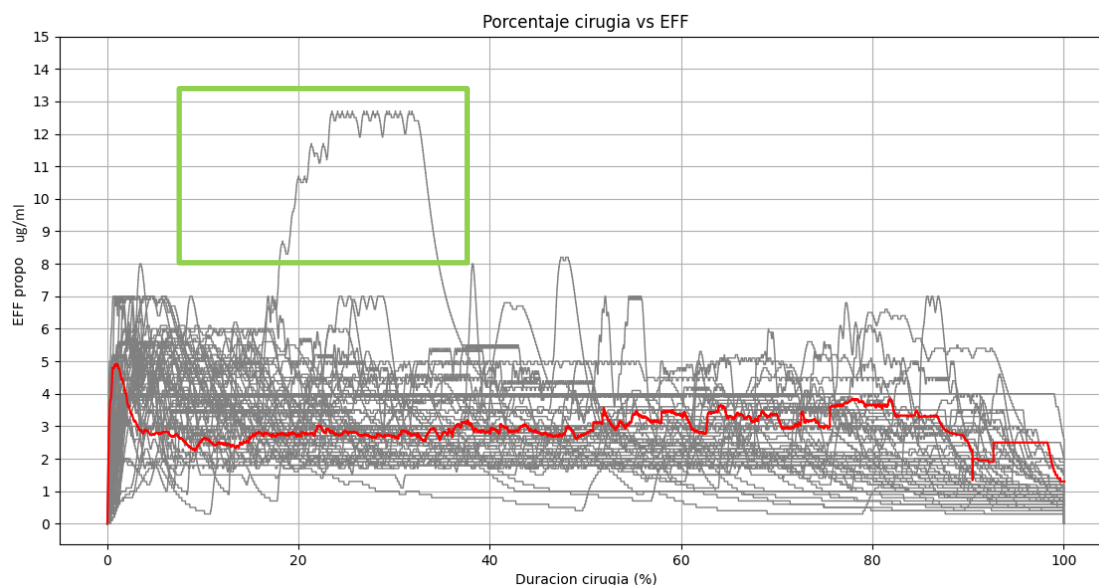


Figura 6. Comportamiento concentración en sitio efecto de propofol durante el tiempo de los procedimientos para pacientes (líneas grises) y serie promedio (rojo)

Es de destacar que las series individuales presentan un comportamiento distinto entre ellas debido a múltiples factores como la configuración inicial del target del fármaco, la convicción y prudencia de las decisiones del anestesiólogo puesto que la maquina puede trabajarse en asa abierta, y finalmente la singularidad de cada paciente junto con sus necesidades puntuales.

Herramienta de analítica de datos para dispositivos de infusión y monitoreo de anestesia total intravenosa

Por otro lado, en la figura 7 vemos el comportamiento de la concentración del sitio efecto del remifentanil, donde nuevamente se inicia con un valor de entre 4 ng/ml y 5 ng/ml, sin embargo su comportamiento no es tan estable en el tiempo debido a que el analgésico se infunde dependiendo de la necesidad de la intervención a su vez que el anestesiólogo tiene la capacidad de ingresar alarmas de dolor en los momentos que considera oportunos sin necesidad de abrir el asa, estas alarmas aumentan la infusión del remifentanil aumentando así la concentración en sitio efecto. La máxima EFF2 que se presentó fue de 12 ng/ml, principalmente presente en el primer 40% de las intervenciones particulares (rectángulos azules).

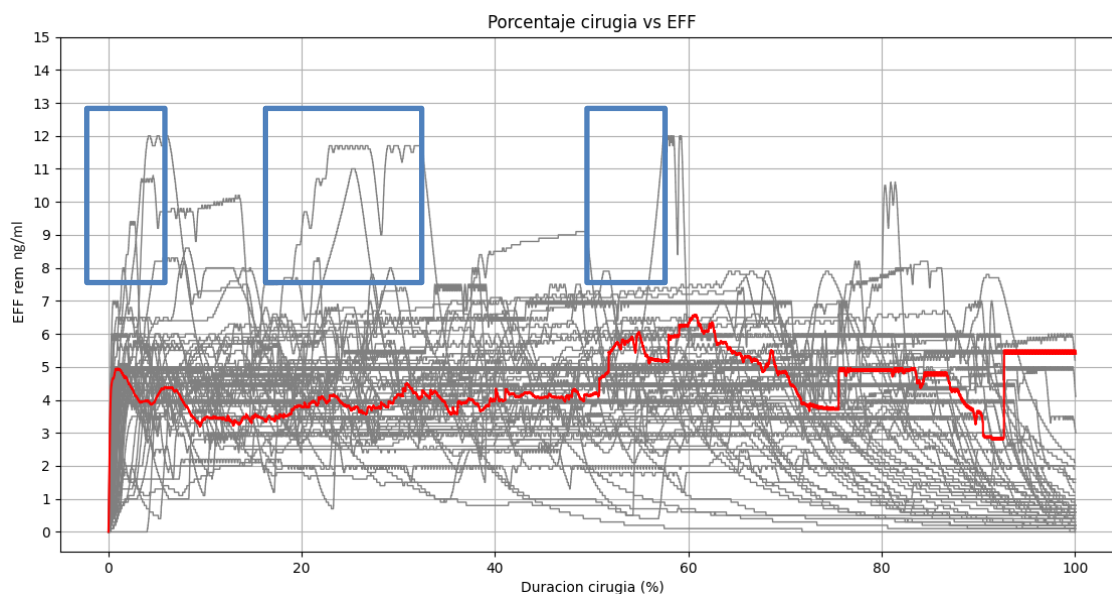


Figura 7. Comportamiento concentración en sitio efecto de remifentanil durante el tiempo de los procedimientos para pacientes (líneas grises) y serie promedio (rojo)

Finalmente con respecto a la figura 7 también se debe destacar que el comportamiento menos uniforme de las series se debe a que el remifentanil es dependiente de las variables hemodinámicas representadas en las figuras 7, 8 y 9 que modifican el score del dolor el cual rige los cambios en el target del medicamento, esto hace que el comportamiento de las series de remifentanil sea más particular puesto que es dependiente del estado médico previo de cada paciente y la complejidad de la intervención.

Herramienta de analítica de datos para dispositivos de infusión y monitoreo de anestesia total intravenosa

Estos análisis se extraen directamente de las gráficas demostrando así la relevancia de la herramienta puesto que permite hacer inferencias sobre los patrones farmacológicos del grupo de pacientes sin despreciar casos de interés como puede ser el paciente con el pico de EFF de propofol o aquellos pacientes con EFF de remifetanil cerca de los 12 ng/ml.

Si analizamos las figuras 6 y 7 vemos muchas diferencias entre ellas lo que guarda sentido puesto que son fármacos con objetivos diferentes y se generan a partir de una base de datos de pacientes no homogéneos con necesidades e intervenciones distintas, allí radica lo valioso de la herramienta puesto que permite hacer análisis en el tiempo y buscar tendencias sin despreciar las peculiaridades de los casos clínicos.

6.3.4. Caracterización de variables hemodinámicas

VARIABLES fisiológicas como la saturación de oxígeno (SPO₂), la presión arterial (PAM) y la frecuencia cardíaca (FC) son fundamentales para el monitoreo y la toma de decisiones anestésicas debido a su sensibilidad a cambios de dosificación de fármacos, los cuales pueden alterar y evidenciar patrones hemodinámicos anormales que comprometen el bienestar del paciente, por tal razón la herramienta grafica tendencias y series individuales que conllevan a análisis como las reportadas en las figuras 8, 9 y 10 que muestran el patrón de dichas variables fisiológicas en nuestra base de datos de pacientes.

La figura 8 evidencia un patrón de saturación promedio mayormente encima de 90, teniendo algunos casos puntuales con caídas o desbalances (rectángulos amarillos), pudiéndose observar una estabilización mayor en el tiempo final de los procedimientos.

En la figura 9 se puede observar como la serie promedio de PAM se encuentra en valores normales, sin embargo hay series individuales (rectángulo negro) que deben ser detalladas y contrastadas con relación a la infusión de los fármacos y las comorbilidades o enfermedades preexistentes tales como pacientes hipertensos o hipotensos.

Herramienta de analítica de datos para dispositivos de infusión y monitoreo de anestesia total intravenosa

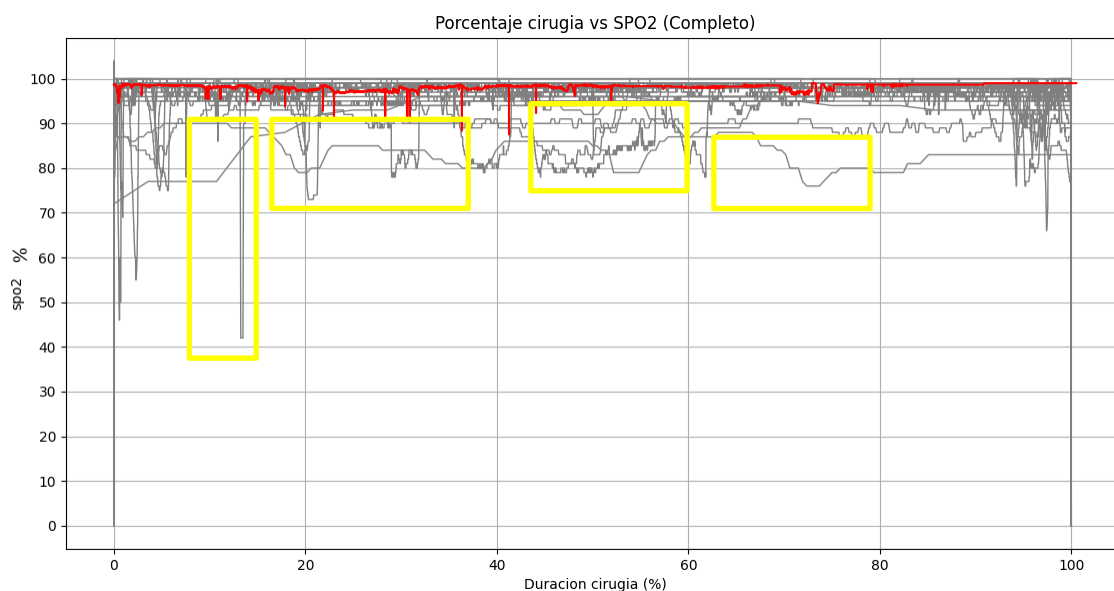


Figura 8. Comportamiento SpO2 durante el tiempo de los procedimientos para pacientes (líneas grises) y serie promedio (rojo) (Eje del tiempo normalizado)

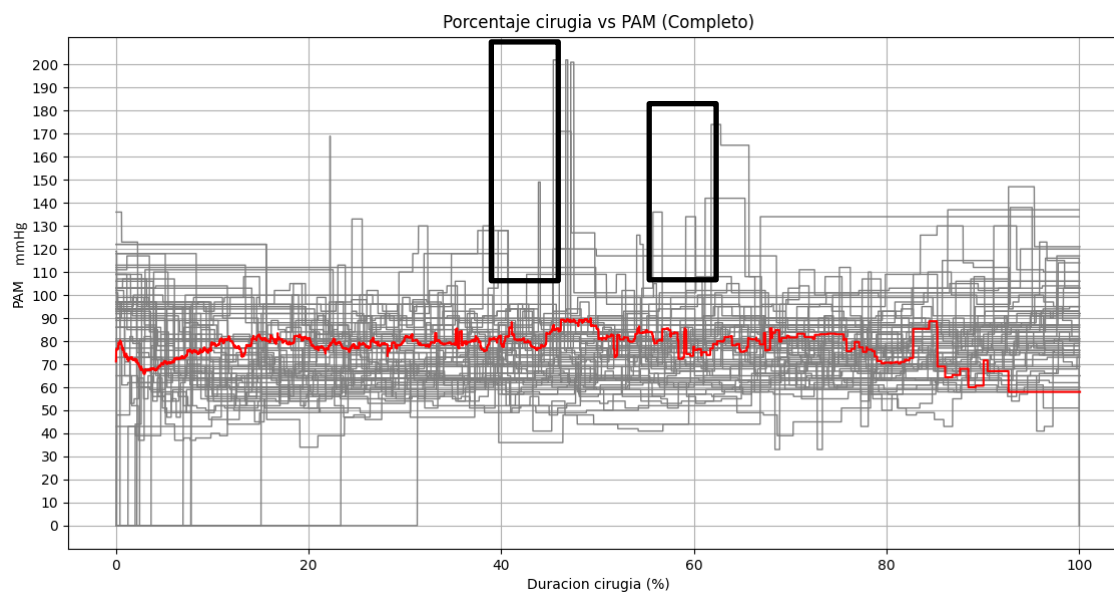


Figura 9. Comportamiento PAM durante el tiempo de los procedimientos para pacientes (líneas grises) y serie promedio (rojo) (Eje del tiempo normalizado)

Herramienta de analítica de datos para dispositivos de infusión y monitoreo de anestesia total intravenosa

La figura 10 muestra el comportamiento de la frecuencia cardiaca, se evidencia como la serie promedio se mantiene en niveles normales y las series individuales se movieron en una banda de FC relativamente normal. La herramienta genera esta grafica basada en la importancia de la monitorización de los pacientes y en la necesidad de conocer episodios bradicardicos o taquicardicos para así hacer análisis puntuales de los pacientes de ser necesario, ese puede ser el caso de una serie individual donde el paciente alcanzo frecuencias de hasta 130 pulsaciones (rectángulo rosa).

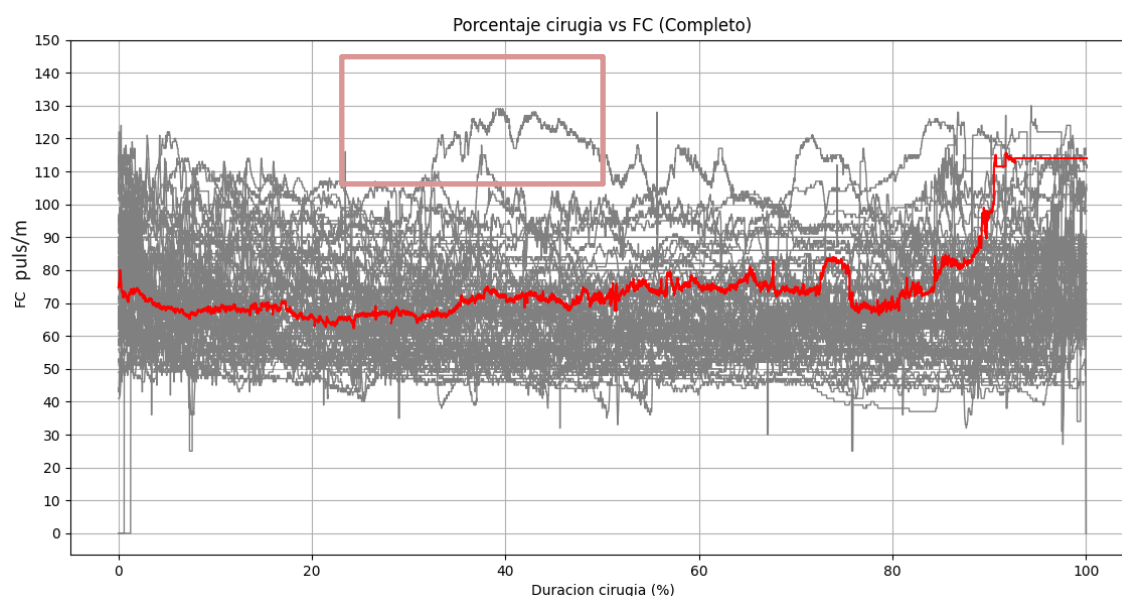


Figura 10. Comportamiento FC durante el tiempo de los procedimientos para pacientes (líneas grises) y serie promedio (rojo) (Eje del tiempo normalizado)

6.3.5. Caracterización individual de pacientes

La herramienta permite hacer análisis individual de cada paciente graficando las series de interés, este tipo de graficas es importante puesto que permite encontrar correlaciones y explicaciones al comportamiento clínico de los individuos.

Herramienta de analítica de datos para dispositivos de infusión y monitoreo de anestesia total intravenosa

Por ejemplo, en la figura 11 se ve el comportamiento del target del remifentanil junto con las variables hemodinámicas. El target hace referencia a ese valor obtenido al cual se desea llevar la concentración en sitio efecto.

En la figura 11 se puede observar como el target del remifentanil se re ajusta constantemente para mantener el paciente con una dosis adecuada de analgésico según el escenario clínico del paciente. En los círculos de dicha figura se evidencia como al ocurrir cambios en las variables hemodinámicas, el target del remifentanil cambia su comportamiento.

En el círculo rojo A se puede observar como cae la PAM y la FR, lo que causa un score negativo y genera una caída en el target. Posteriormente, en el círculo negro B la PAM sube junto la FR obteniendo así score positivo que conlleva a un aumento en el target de remifentanil. Otros cambios notables se dan en los círculos naranjas C, D, E, y F donde el target responde a las varianzas de las variables hemodinámicas.

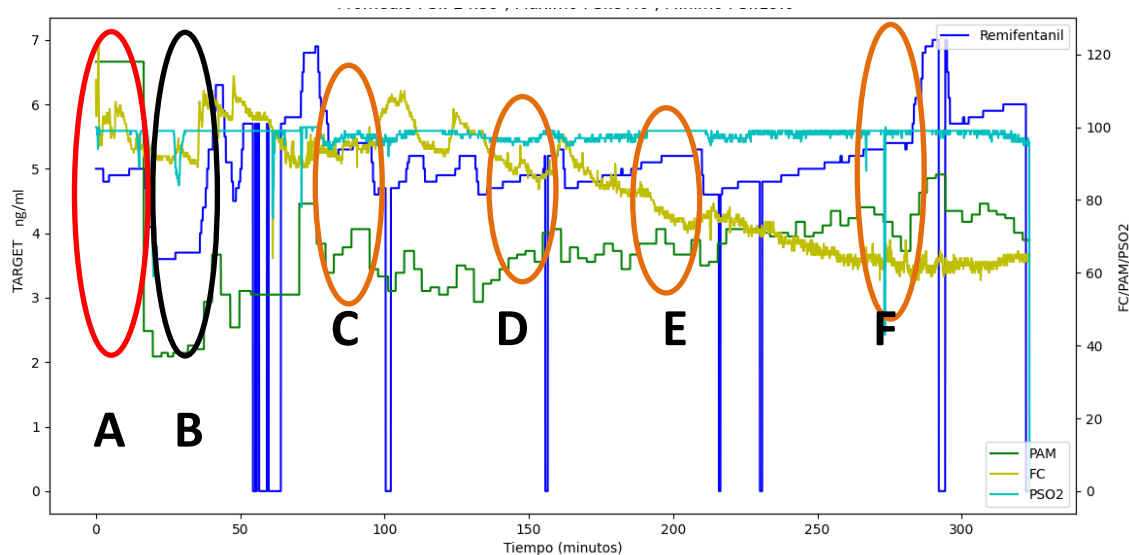


Figura 11. Caso clínico de estudio particular comparando series de remifentanil y variables hemodinámicas

Para demostrar la diversidad de posibles combinaciones que puede ejecutar la herramienta se grafica un segundo caso clínico en la figura 12, donde ahora se busca evaluar el comportamiento del propofol junto con el índice anestésico PSI.

Herramienta de analítica de datos para dispositivos de infusión y monitoreo de anestesia total intravenosa

En la figura 12 se pueden observar círculos que evidencian como el target del propofol se reajusta según el PSI del paciente. Esto quiere decir que ese valor objetivo de concentración en sitio efecto va cambiando a medida del avance del procedimiento. Adicionalmente la herramienta entrega datos como la cantidad de veces que el target se modificó donde en la figura 12 se evidenció que el target se reajustó 84 veces durante la cirugía, otros datos que se muestran son el promedio del PSI y sus valores extremos, información que puede ser relevante para evaluar el comportamiento anestésico del paciente.

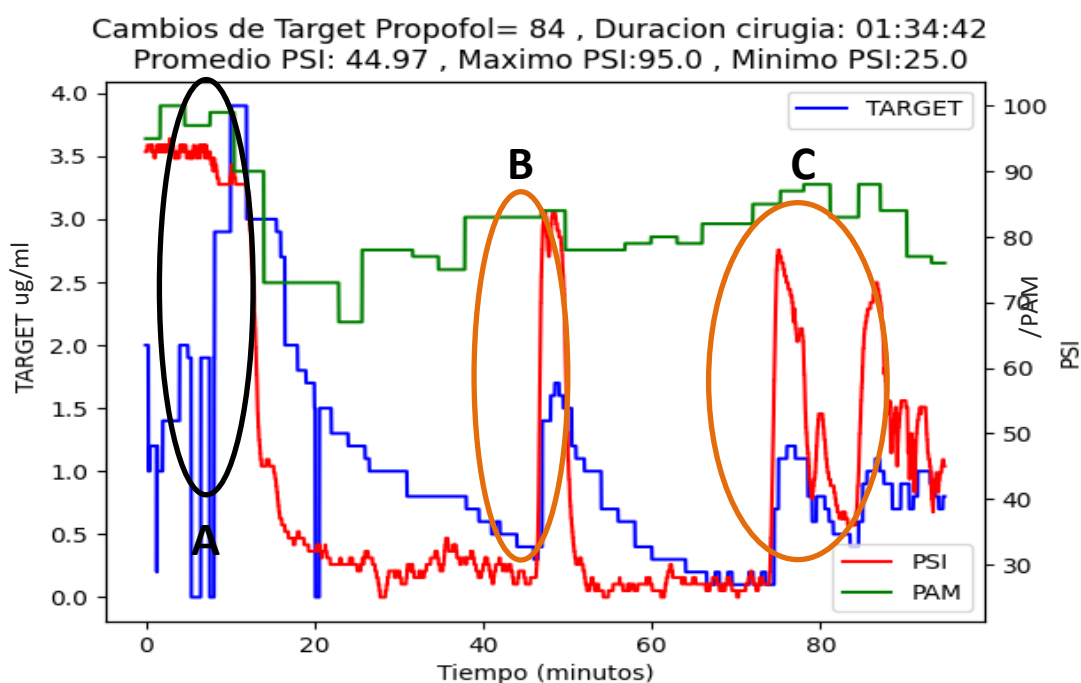


Figura 12. Caso clínico de estudio particular comparando series de propofol, PSI y PAM

Retomando la figura 12, en el círculo negro A podemos ver como se eleva el target a su punto más alto para así causar la anestesia del paciente en fase de inducción, una vez en fase de mantenimiento se evidencia en los círculos naranjas B y C que si el índice PSI aumenta, el target se eleva para llevar nuevamente al paciente al rango de anestesia deseado, por otro lado, cuando el índice de profundidad decae, el target también disminuye para evitar llevar al paciente a planos anestésicos muy profundos que puedan causarle tasas de supresión o afectaciones cerebrales.

Herramienta de analítica de datos para dispositivos de infusión y monitoreo de anestesia total intravenosa

La herramienta brinda posibilidad de vincular gráficamente las distintas variables de un paciente para así explicar múltiples escenarios clínicos desde distintas aristas tales como: farmacológicas, hemodinámicas, anestésicas, etc.

6.4. Desempeño del sistema y métricas de error

Debido a que el PSI nos brinda información directa sobre los planos anestésicos, la herramienta evalúa su conducta para generar gráficas, datos de desempeño y métricas de error.

En la figura 13 se observa como la franja promedio del comportamiento del PSI durante de la fase de mantenimiento se encuentra principalmente entre los rangos de 20 y 50, lo que confirma un buen porcentaje de tiempo dentro del objetivo de profundidad anestésica, el factor de desviación estándar de la serie promedio fue de ± 7.004 y al final se ve un comportamiento cortado debido a que en algunos pacientes ocurrió la desconexión de los sensores de monitoreo en la fase del despertar.

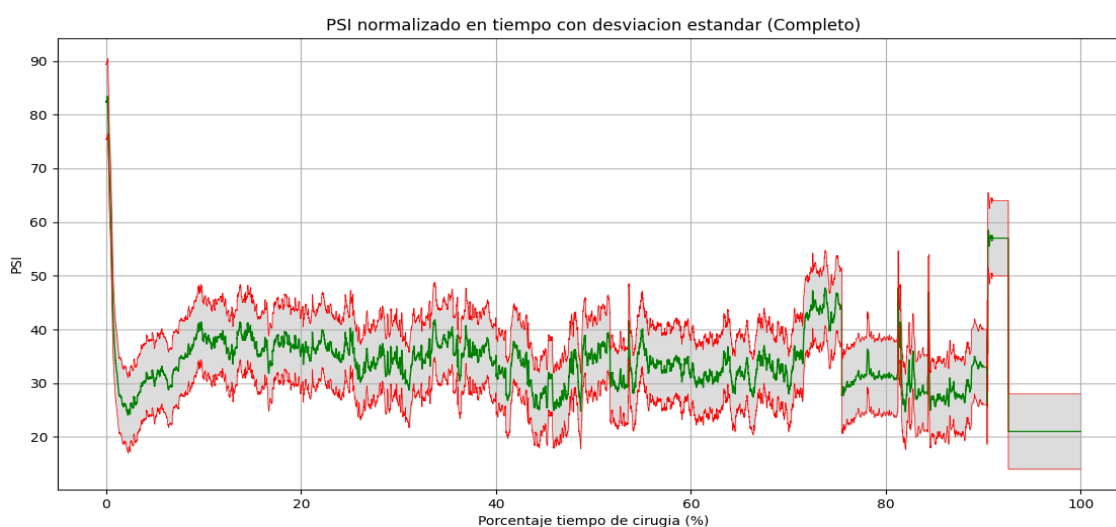


Figura 13. Franja de comportamiento de la serie promedio de PSI con límite inferior y superior según desviación estándar $SD=7$, serie promedio en verde, límites en rojo, franja en gris claro (Eje normalizado)

Herramienta de analítica de datos para dispositivos de infusión y monitoreo de anestesia total intravenosa

En la figura 14 se observa tanto la serie promedio, como las series individuales de los pacientes. Dichas series particulares presentan diferencias notorias entre si lo que resalta la importancia de una herramienta de analítica de datos, puesto que se alcanzan a vislumbrar con facilidad esas peculiaridades que conllevan a la necesidad de caracterizar individualmente algunos de los pacientes ya que se hace notorio inestabilidad, índices muy altos de PSI durante la fase de mantenimiento y presencia de múltiples series debajo de $PSI=20$ que necesitan ser contrastadas con otras variables como lo pueden ser las tasas de supresión.

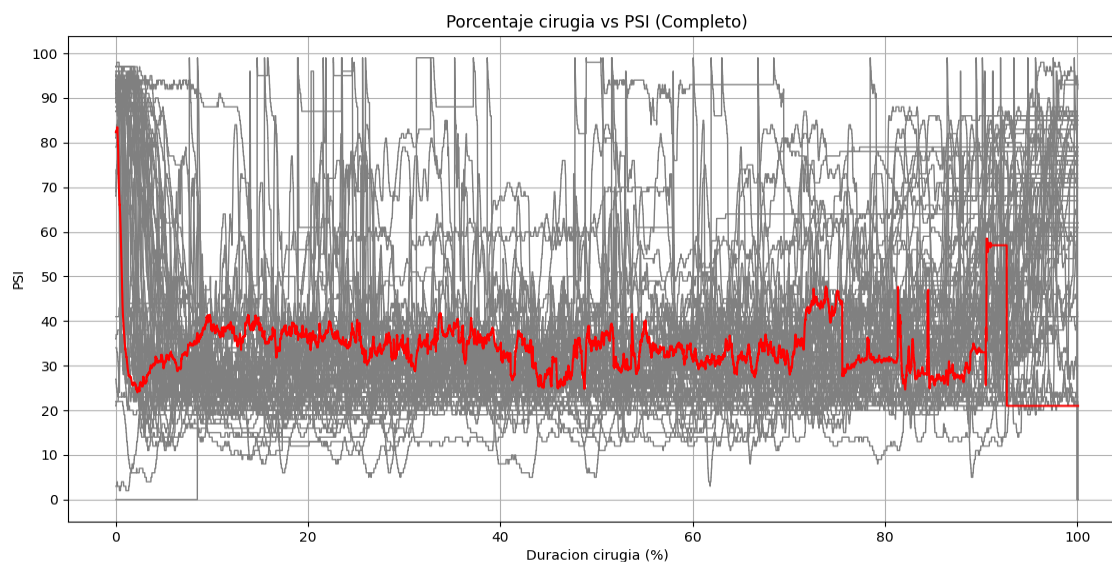


Figura 14. Comportamiento PSI durante el tiempo total de procedimientos, series de pacientes (grises) y serie promedio (roja) (Eje normalizado)

Con respecto a la principal medida del desempeño clínico del sistema, se considera el porcentaje de tiempo en donde el PSI se mantiene en un rango de 20 a 50, dicho porcentaje fue de 86.28% mostrando un buen rendimiento.

Por otro lado se obtuvo un porcentaje de tiempo de 8.03% donde el PSI se encontró debajo de 20, este dato es relevante ya que permitirá hacer inferencias sobre el comportamiento del PSI de los pacientes junto con las tasas de supresión (Figura 15), donde en este caso de estudio clínico se encontraron 11 pacientes con tasas de supresión superiores a 20.

Herramienta de analítica de datos para dispositivos de infusión y monitoreo de anestesia total intravenosa

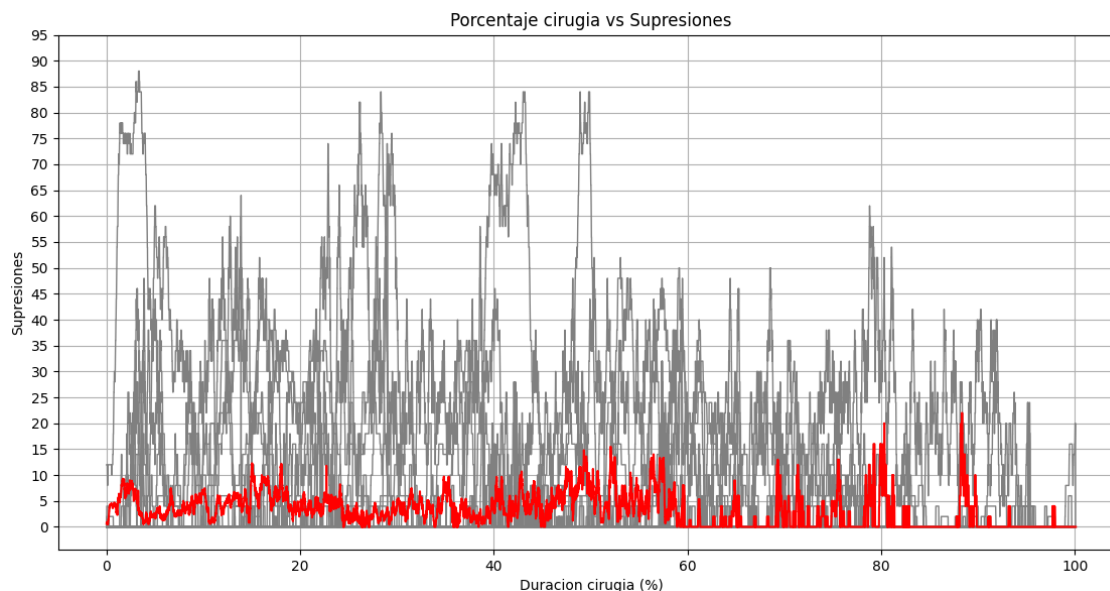


Figura 15. Comportamiento tasas de supresión durante el tiempo total de procedimientos, series de pacientes (grises) y serie promedio (roja) (Eje normalizado)

La presencia de tasas de supresión superiores al 20% se presenta en un 18% de los pacientes y con respecto a la figura 15, podemos ver que aunque la serie promedio de tasas de supresión se conserva promediadamente debajo de 20, hay tasas de supresión que alcanzan niveles superiores.

La herramienta grafica las tasas de supresión debido a que la presencia de las mismas se ha correlacionado con deterioros y afectaciones cerebrales. El hallazgo de tasas de supresión altas en 11 pacientes reafirma la importancia del estudio e interpretación de los datos puesto que siempre se debe salvar guardar el bienestar de los pacientes y se debe evitar cuasar daños a largo plazo.

El descubrimiento de la información de la figura 15 hace necesaria una caracterización individual de los pacientes con las tasas de supresión más altas, soportado a su vez en la presencia de inestabilidad hemodinámica en algunas series individuales evidenciada en la figuras 8, 9 y 10.

Herramienta de analítica de datos para dispositivos de infusión y monitoreo de anestesia total intravenosa

Finalmente, el consolidado de las métricas de desempeño y rendimiento estadístico se encuentran en la tabla 7. Aquí se hacen las estimaciones descritas según la metodología propuesta.

Tabla 7. Desempeño y rendimiento estadístico

Característica	PSI objetivo=28	PSI objetivo=37.5	20<PSI objetivo<50	Con respecto a PSI basal
% tiempo PSI en intervalo	86.28%	86.28%	86.28%	86.28%
PE				
Promedio	12.73%	-15.82%	0.66%	-0.03%
SD	25.21	18.82	7.08	2.91
MDPE				
Promedio	7.95%	-13.57%	0.00%	-0.09%
SD	15.87	13.77	5.72	1.97
MDAPE				
Promedio	21.37%	22.03%	3.95%	1.9%
SD	10.96	8.86	7.56	6.59
Wobble				
Promedio	17.5%	13.78%	3.59%	1.79%
SD	9.93	7.38	6.63	6.19

En la tabla 7 podemos ver como la herramienta otorga distintas métricas según la alternativa de cálculo bajo las distintas consideraciones, esto permite abrir la discusión de cuál será la métrica más idónea para medir el error en los sistemas en asa cerrada siguiendo los nuevos descubrimientos entorno a los sistemas anestésicos.

7. DISCUSIÓN:

Con los resultados obtenidos mediante la herramienta podemos afirmar que contamos con una base de datos de pacientes para los cuales los modelos farmacocinéticos y farmacodinámicos teóricamente funcionan de una forma adecuada, sin embargo, se puede evidenciar diferencias en los patrones de cada paciente lo cual confirma la singularidad de cada uno. Algunos fragmentos relevantes del código de la herramienta se encuentran en el anexo 2

Entrando en consideraciones generales, los resultados obtenidos nos permiten inferir que el gasto farmacológico tiene consumos y dosificaciones normales tanto para propofol como para remifentanil, manteniendo flujos estándares que concuerdan con la guía de dosificación. Esto significa que la máquina representa un sistema de dosificación eficiente lo que evita la sobredosificación de pacientes y esto podemos inferirlo debido a que no hubo un uso excesivo de medicamentos.

Por otro lado, es necesario hablar sobre la incidencia de las tasas de supresión, el target del medicamento y el PSI. Dicha consideración es relevante puesto que la presencia de altas tasas de supresión (SR por sus siglas en inglés) se han vinculado con un índice PSI por debajo del índice óptimo de anestesia, lo que representa un indicativo de afectación y deterioro cerebral de los pacientes y, por supuesto, una barrera en la medida del desempeño del sistema.

Esta dificultad hace necesario la individualización de los pacientes siendo así útil la versatilidad que tiene la herramienta para aislar casos clínicos como el que se encuentra en la figura 16, donde usando la herramienta se graficó el comportamiento de las tasas de supresión, PAM, PSI y target de propofol. En la figura 16 se evidencian altas y constantes supresiones que requieren análisis médico.

Por otro lado, la máquina en lazo cerrado efectúa cambios constantes y pequeños en el target, viéndose un patrón escalonado tal como se puede apreciar en el caso clínico la figura 17 (también graficado mediante la herramienta). El cual no tiene presencia de tasas de supresión.

Comparando la figura 16 y la figura 17 se pueden ver grandes diferencias con respecto al comportamiento del target del propofol, haciendo la distinción que las líneas verticales indican una parada en la infusión ya sea por cambio de jeringa o necesidad de pausa de infusión según el

Herramienta de analítica de datos para dispositivos de infusión y monitoreo de anestesia total intravenosa

procedimiento, por otro lado, la maquina detecta la cantidad de veces que cambio el target del fármaco indicándonos que en el caso clínico de la figura 16 se detectaron 32 cambios en una intervención de 6 horas, a comparación con los 135 cambios en 3 horas del caso clínico de la figura 17.

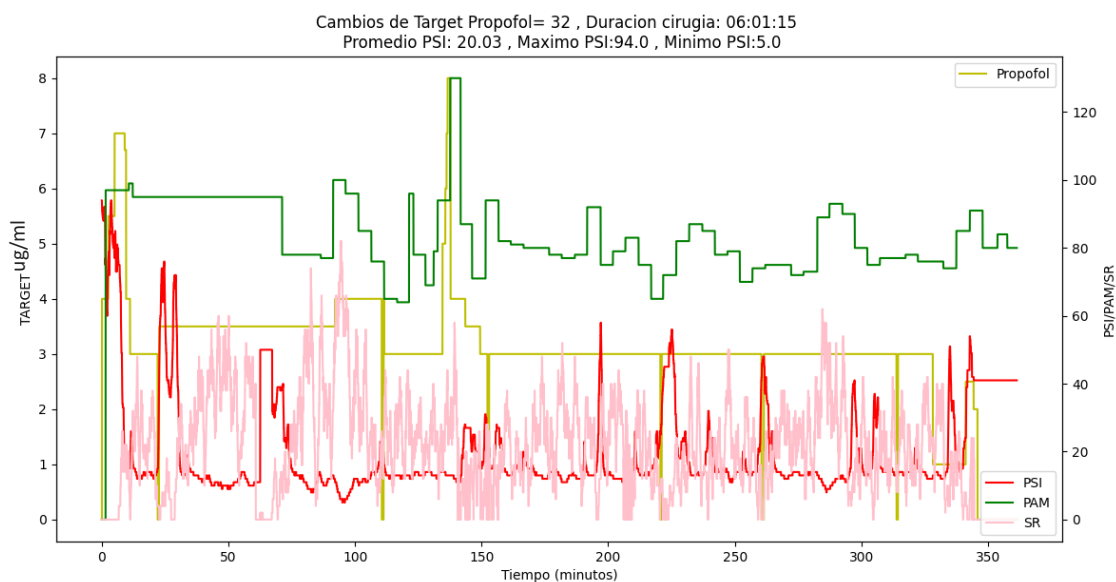


Figura 16. Caso clínico con tasas de supresión

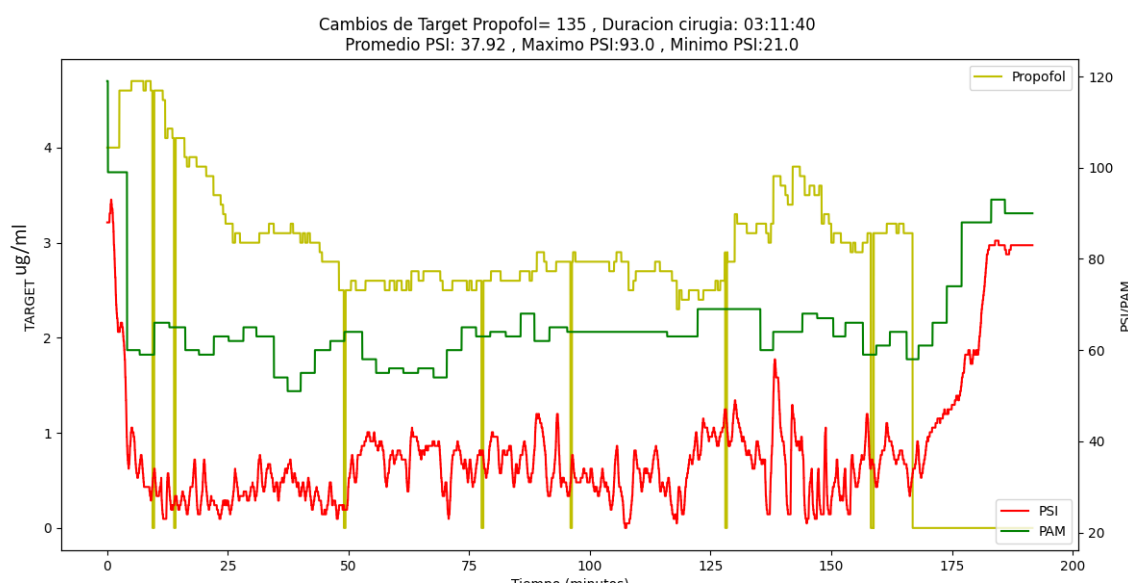


Figura 17. Caso clínico sin presencia de tasas de supresión

Herramienta de analítica de datos para dispositivos de infusión y monitoreo de anestesia total intravenosa

Es evidente que los cambios constantes en el target son algo que no ocurre en el caso de la figura 16, y esta condición es común en la mayoría de los casos clínicos con presencia de supresiones. La diferencia en el patrón del target junto con la baja de tasa de cambio del mismo nos podría indicar que usaron la maquina en asa abierta, o sea, bajo control y discreción del anestesiólogo y por tanto debe excluirse para el análisis de desempeño de la máquina.

Estos hallazgos hacen necesario una individualización de cada uno de los pacientes con alta presencia de supresiones junto con un análisis a profundidad de la historia clínica de los mismos. Adicionalmente, la presencia de pacientes tratados en asa abierta dificulta la generalización de análisis globales recalando la importancia de la herramienta de buscar pacientes con conductas clínicas peculiares.

Esta apreciación es importante puesto que indica que la herramienta de análisis permite no solo caracterizar la base de datos de forma global e individual, sino que también los resultados obtenidos sirven para comparar entre los patrones de los pacientes para hacer inferencias sobre el uso del dispositivo y el desempeño del mismo.

Debido a que la naturaleza de este análisis es hacer una evaluación de la herramienta de datos en un estudio retrospectivo, no se tuvo como criterio de exclusión información tal como pacientes farmacodependientes o que representen un reto de anestesia; es por tanto necesario, para una mejor interpretación del comportamiento de los pacientes, un estudio puntualizado que permita ahondar el porqué del comportamiento clínico de los individuos junto con las decisiones medicas relacionadas para usar la maquina en asa abierta o cerrada, junto con otras consideraciones.

La no homogeneidad de la muestra de pacientes se ve reflejada en todas las diferencias visibles en las series individuales de las figuras 6, 7, 8, 9, 10, 14 y 15, lo que para el objetivo de este estudio resulto ideal puesto que permitió visualizar la funcionalidad e importancia de la herramienta para evaluar de forma global la información y de aislar casos clínicos de interés.

Por otro lado, ubicándonos nuevamente en el mismo caso clínico de la figura 16 el PSI presenta una línea basal inferior de 20 oscilante, además si nos remitimos a la figura 14 vemos como las series individuales se concentran en torno a 20 siendo algunas inferiores a este límite, y

Herramienta de analítica de datos para dispositivos de infusión y monitoreo de anestesia total intravenosa

esto sumado a que hubo un 8.003% de tiempo debajo de un $PSI=20$, nos plantea diferentes preguntas.

Si seguimos las tendencias mundiales de monitoreo cerebral en anestesia, donde se proclama que el cerebro no es un número y por tanto un número no es indicativo definitivo del nivel de anestesia del paciente, estaríamos calificando los sistemas en asa cerrada con el indicador equivocado y en la tabla 7 se demuestra cómo afecta significativamente el desempeño del sistema según la consideración de cálculo de la métrica.

Como se describió en la metodología, la primera columna compara los resultados con un error de desempeño en comparación con un valor de referencia de $PSI=28$, el cual es un valor históricamente registrado como un mejor plano anestésico. La segunda columna es con respecto a $PSI=37.5$, que es el valor medio entre el rango de optima profundidad anestésica según Masimo ($25 < PSI < 50$).

La tercera columna se rige por la consideración de que el error solo existirá y se calculara cuando el PSI sale del intervalo de 20 a 50, aquí se hace la acotación de que aunque el fabricante habla de un límite inferior de 25, entre 20 y 25 el paciente se encuentra en un régimen de anestesia profundo aunque no hay presencia de tasas de supresión y es además un rango común donde los pacientes se estabilizan con condiciones hemodinámicas y cerebrales no deterioradas.

Finalmente la cuarta columna busca encontrar el valor individual de estabilización de cada paciente, encontrando así la línea basal particular. Esta línea basal es innata de cada paciente, lo cual se puede ver representado en el anexo 1 el cual contiene la tabla descriptiva de cada paciente junto con su PSI promedio.

La tercera y cuarta columna de la tabla 7 parten de la necesidad de ir a la par con la teoría donde un rango anestésico es adecuado cuando se está dentro del rango y no con un valor medio del mismo, y a su vez se resalta la importancia de la cuarta columna debido a que pretende buscar el valor promedio de PSI donde el paciente se estabilizo, lo cual permite hacer las comparaciones particulares de desempeño con respecto a esa línea basal alcanzada después de inducción y donde el paciente termina en un plano anestésico adecuado con una dosis medida de perdida de la anestesia. Esto nos permite abrir la discusión de ¿Cuál debería ser la medición adecuada para los sistemas en asa cerrada regidos por EEG?

Herramienta de analítica de datos para dispositivos de infusión y monitoreo de anestesia total intravenosa

En un artículo publicado por el doctor Mehler en marzo del 2024 [20], se hace la distinción entre lograr una frecuencia de borde espectral (SEF por sus siglas en inglés) de 10 Hz sin supresiones con un régimen anestésico de propofol, incluso se alcanzó un umbral más bajo de 8 Hz para el régimen mejorado de propofol con dexmedetomidina, ambos sin resultados postoperatorios negativos.

Esto contrasta con los datos que sugieren que un BIS con tasas de supresión (SR) $>2,1\%$ o un SEF inferior a 14,8 Hz se correlaciona con índices BIS inferiores a 40 según un artículo de HC Lee et al. [21], y por lo tanto, peores resultados según el rango óptimo de BIS. Esto se puede ver en la figura 18, que corresponde al árbol de decisiones BIS deducido donde se encontró que solo los SEF superiores a 14.8 Hz e inferiores a 20.2 Hz se encontrarían en el rango de profundidad anestésica ideal, contrastando así con la información registrada en el artículo del doctor Mehler.

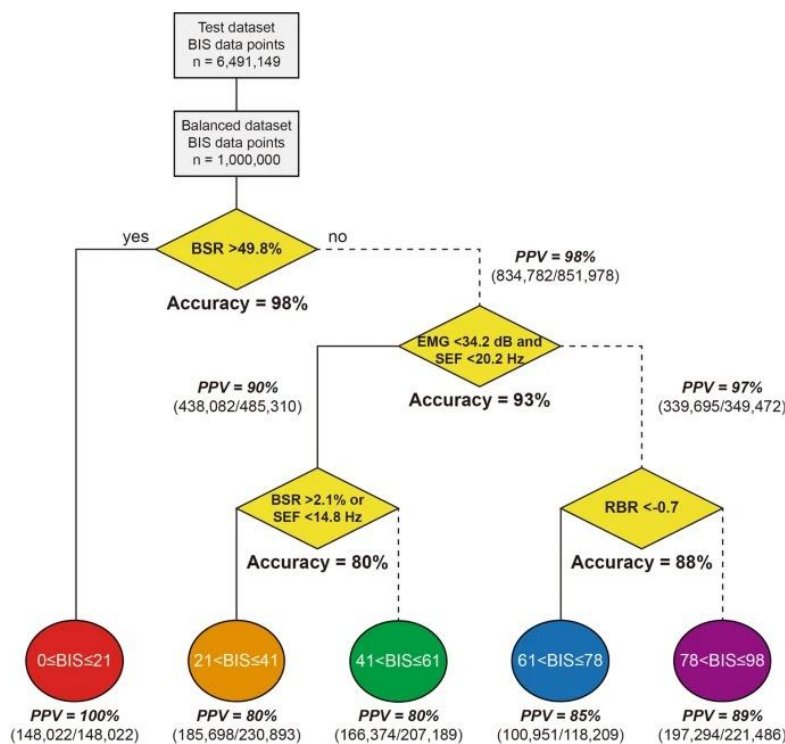


Figura 18. Árbol de decisiones del BIS según algoritmo deducido [21]. Abreviaciones: BSR = tasas de supresión, EMG = electromiografía de zona frontal, SEF = frecuencia de borde espectral, PPV = valor predictivo positivo y RBR = radio beta relativo

Herramienta de analítica de datos para dispositivos de infusión y monitoreo de anestesia total intravenosa

Por otro lado, siguiendo la línea del análisis BIS deducido por HC Lee et al, en la figura 19 se ve como el cuadrante amarillo presenta anomalías puesto que hay una distribución no uniforme, dicha singularidad puede implicar que el BIS tiende a bajar el índice de profundidad anestésica de los pacientes.

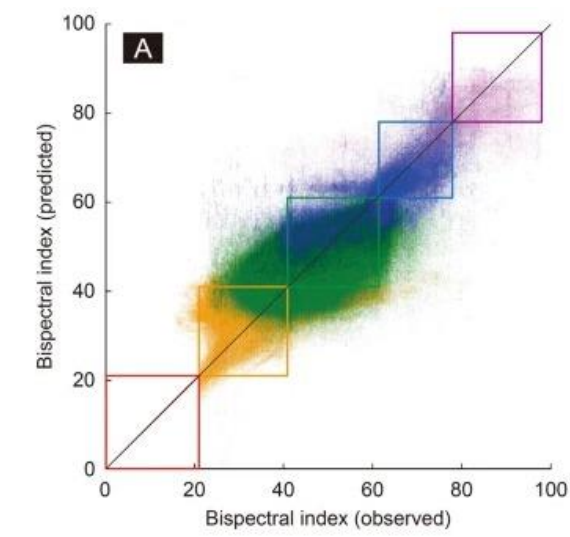


Figura 19. Mapa de calor BIS [21]

Se han evidenciado casos como el que se muestra en la figura 20, donde los pacientes tuvieron un SEF estable alrededor de 12 Hz (incluso más alto que los resultados encontrados por Mehler), sin tasas supresión, consumo farmacológico normal (1,8 ug/ml propofol, 2,5 ng/ml remifentanil), con estabilidad hemodinámica y sin resultados cognitivos adversos, pero con un PSI constante de 16 lo cual indicaría tanto altas métricas de error como un deficiente porcentaje de tiempo dentro del rango de anestesia “adecuado”.

Herramienta de analítica de datos para dispositivos de infusión y monitoreo de anestesia total intravenosa

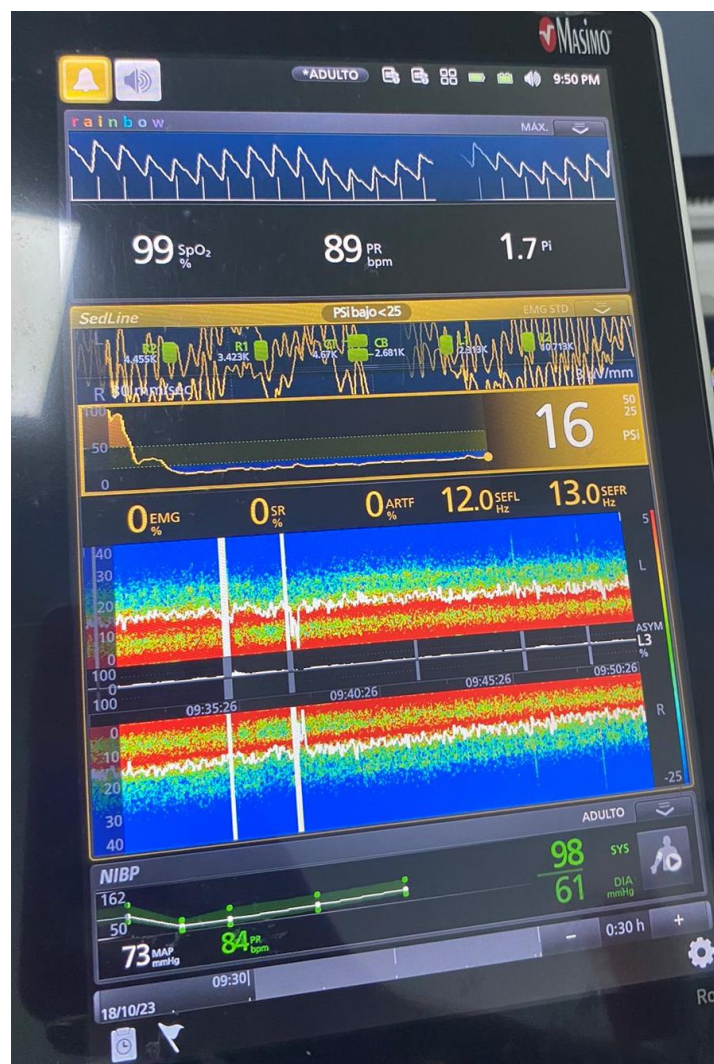


Figura 20. Root caso clínico con SEF=12Hz PSI=16

Es por tanto evidente que el cumplimiento estricto de un índice pEEG específico de 0 a 100 no es la guía óptima para la anestesia. El artículo del doctor Mehler destaca que un SEF bajo pero estable puede ser adecuado y en la experiencia con múltiples pacientes se reafirma dicho hallazgo.

La pregunta entonces es cuál es la mejor manera de cuantificar e informar esto: ¿Es mediante el seguimiento de la variabilidad del SEF? ¿Deberíamos centrarnos en las desviaciones

Herramienta de analítica de datos para dispositivos de infusión y monitoreo de anestesia total intravenosa

respecto de una base de referencia estable del SEF, cuantificando efectivamente el "efecto cremallera"?

El efecto cremallera es un comportamiento del espectrograma donde lo que se desea es ver una franja abierta durante la fase de inducción y despertar, y una banda estrecha en la fase de mantenimiento donde el paciente concentra la mayor cantidad de potencia en una banda angosta de baja magnitud de frecuencia. Algo semejante a la figura 21 donde se evidencia una banda abierta al inicio y final del procedimiento y una banda angosta y sostenida durante el intermedio. [23]

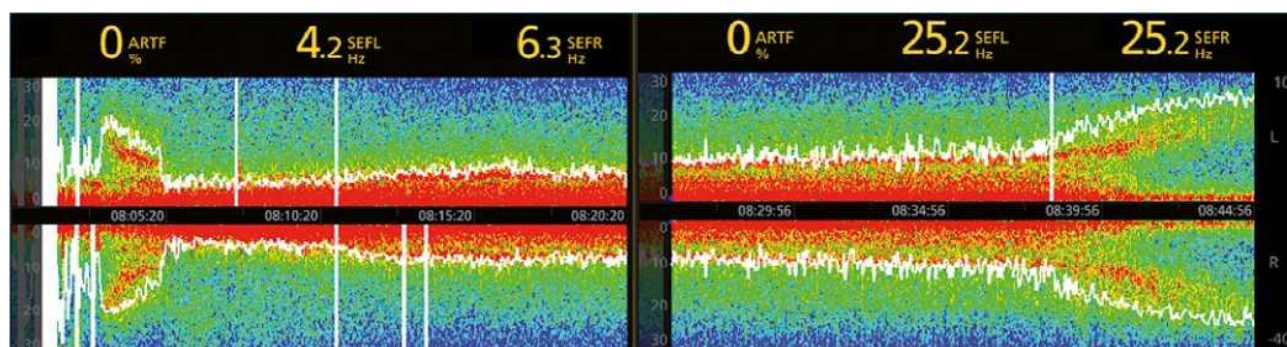


Figura 21. Espectrograma con representación de efecto cremallera [23]

Esto a su vez se ve representado en la tabla 7 donde se evidencia como las métricas de desempeño y error cambian significativamente según la interpretación que demos. Debe darse una discusión crítica sobre el perfeccionamiento de una métrica estándar para el manejo de la anestesia guiada por EEG ya que el % porcentaje de tiempo BIS 40-60 o % porcentaje de tiempo PSI 20-50 parecen no ajustarse a totalidad.

La herramienta de análisis de datos nos permite hacer inferencias acerca de pacientes y datos, generando reportes como los del anexo 3 que permiten hacer realimentación con las instituciones y permitir la toma de decisiones informadas.

Incluso, en el anexo 3 se puede evidenciar uso de la herramienta para el análisis de intervenciones gastrointestinales del S.E.S (Manizales), en el cual se personalizó la herramienta en rangos de entre $20 < \text{PSI} < 70$ para abordar pacientes en sedación, esto confirma la versatilidad

Herramienta de analítica de datos para dispositivos de infusión y monitoreo de anestesia total intravenosa

de la herramienta para adaptarse a distintos tipos de pacientes y escenarios anestésicos característicos de cada institución.

Sin embargo hay que abrir la discusión sobre cuáles son esas métricas de desempeño más adecuadas considerando a cada individuo como un reto clínico con particularidades y requerimientos únicos.

8. CONCLUSIONES:

Una vez terminado todo el proceso investigativo, de desarrollo y uso de la herramienta se concluye:

- No se deben hacer generalizaciones absolutas, se destaca la singularidad de cada paciente los cuales reiterativamente evidenciaron comportamientos y respuestas particulares. Las herramientas de datos deben entregar consolidados globales y a su vez deben permitir aislar los datos puntuales que pueden representar anomalías al patrón para así llevarlos a estudio clínico de ser necesario.
- El comportamiento del cerebro no se puede encasillar en un solo número, los cálculos de error para sistemas de asa cerrada deben ser discutidos y re evaluados bajo la consideración de que un solo índice no es capaz de abordar todo el espectro de variables que afectan la consciencia y profundidad anestésica de los pacientes. Las herramientas de datos deben ser capaces de ofrecer multi parámetros que permitan evaluar patrones y dar una visión global de los procedimientos y del estado de los pacientes.
- Las métricas de desempeño basadas en un índice fijo ocasionan sesgos que pueden incrementar falsamente el error de los dispositivos debido a la presencia de ciertos pacientes los no se adaptan a dicho parámetro preestablecido sin indicar que presenten afectaciones o daños clínicos.
- Las tendencias globales de monitoreo anestésico indican que para un adecuado nivel de anestesia se requiere la evaluación constante y simultanea de índices de profundidad, espectrogramas, señales crudas de EEG, reporte de tasas de supresión, variables hemodinámicas de los pacientes y asertivo consumo farmacológico. Las herramientas de datos deben, mínimamente, presentar analítica y visualmente el comportamiento de todas estas variables de forma tal que su interpretación brinde beneficios para el mejoramiento continuo de las tecnologías y personal de salud.

En el ámbito medico las decisiones anestésicas son, literalmente, vitales. Se avanza siempre por el perfeccionamiento de técnicas, dispositivos y talento humano que, en conjunto, reduzcan el índice de error y afectaciones al paciente. En este caso, las herramientas de datos funcionan como medio para la organización, extracción e interpretación de altos volúmenes de información clínica, donde la síntesis y generación de métricas de desempeño se hacen necesarias para el análisis de los mismos.

9. BIBLIOGRAFÍA:

- [1]. World Health Organization. (2009). WHO Guidelines for Safe Surgery 2009. Iris WHO. Recuperado 29 de septiembre de 2009, de https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/44185/9789241598552_eng.pdf?sequence=1
- [2]. Gupta, P., Kumar, M., & Sethi, S. (2017). Worldwide prevalence of general anesthesia: A systematic review. *Anaesthesia*, 72(1), 11-20. DOI: 10.1111/anae.14463
- [3]. Peñaranda, C. C., Casas-Arroyave, F. D., Gómez, F. J., Corredor, P. A. P., Fernández, J. M., Botero, M. V., Bedoya, J. D., & Toro, C. M. (2020). Technical and clinical evaluation of a closed loop TIVA system with SEDLiNETM Spectral Density Monitoring: Multicentric Prospective cohort study. *Perioperative medicine*, 9(1). <https://doi.org/10.1186/s13741-019-0130-2>
- [4]. Bioin. (s. f.). <https://bioinsoluciones.com/>
- [5]. James, G., Witten, D., Hastie, T., & Tibshirani, R. (2013). *An introduction to statistical learning with applications in R*. New York: Springer.
- [6]. Rebas, P. (2005). Conceptos básicos del análisis de supervivencia. *Cirugía Española*, 78(4), 222-230. [https://doi.org/10.1016/s0009-739x\(05\)70923-4](https://doi.org/10.1016/s0009-739x(05)70923-4)
- [7]. Purdon, P. L., Pavone, K. J., Akeju, O., Smith, A. C., Sampson, A. L., Lee, J., Zhou, D., Solt, K., & Brown, E. N. (2015). The ageing brain: age-dependent changes in the electroencephalogram during propofol and sevoflurane general anaesthesia. *British Journal of Anaesthesia*, 115, i46-i57. <https://doi.org/10.1093/bja/aev213>
- [8]. Braithwaite, H. E., Payne, T. J., Duce, N., Lim, J., McCulloch, T., Loadsman, J. A., Leslie, K., Webster, A. C., Gaskell, A., & Sanders, R. D. (2023). Impact of Female Sex on Anaesthetic Awareness, Depth, and Emergence: A Systematic review and Meta-analysis. *British Journal of Anaesthesia*, 131(3), 510-522. <https://doi.org/10.1016/j.bja.2023.06.0429>.
- [9]. Kuhn, M. (2020). *Applied predictive modeling*. New York: Springer
- [10]. Liu Y, Li M, Yang D, Zhang X, Wu A, Yao S, Xue Z, Yue Y. Closed-loop control better than open-loop control of propofol TCI guided by BIS: a randomized, controlled, multicenter clinical trial to evaluate the CONCERT-CL closed-loop system. *PLoS One*. 2015 Apr 17;10(4):e0123862. doi: 10.1371/journal.pone.0123862. PMID: 25886041; PMCID: PMC4401751.

Herramienta de analítica de datos para dispositivos de infusión y monitoreo de anestesia total intravenosa

- [11]. Sandberg, W., Urman, R. D., Ehrenfeld, J. M., & Hospital, M. G. (2011). *The MGH Textbook of Anesthetic Equipment*. Churchill Livingstone.
- [12]. Purdon, P. L., Sampson, A. L., Pavone, K. J., & Brown, E. N. (2015). Clinical electroencephalography for anesthesiologists. *Anesthesiology*, 123(4), 937-960. <https://doi.org/10.1097/aln.0000000000000841>
- [13]. Herrero, R. L. (2022, 18 marzo). Electroencefalografía clínica para el anestesiólogo - AnestesiaR. *AnestesiaR*. <https://anestesar.org/2020/electroencefalografia-clinica-para-el-anestesiologo/>
- [14]. Gan TJ, Diemunsch P, Habib AS, Kovac A, Kranke P, Meyer TA, et al. Consensus guidelines for the management of postoperative nausea and vomiting. *Anesth Analg*. 2014;118(1):85–113
- [15]. Pasin L, Nardelli P, Pintaudi M, Greco M, Zambon M, Cabrini L, et al. Closed-loop delivery systems versus manually controlled administration of total IV Anesthesia: a meta-analysis of randomized clinical trials. *Anesth Analg*. 2017; 124(2):456–64.
- [16]. James W, Waterlow J. *Research on Obesity: A Report of the DHSS/MRC Group*. London, England: H.M.S.O; 1976. U.K. Department of Health and Social Security/Medical Research Council Group on Obesity Research.
- [17]. Varvel JR, Donoho DL, Shafer SL. Measuring the predictive performance of computer-controlled infusion pumps. *J Pharmacokinet Biopharm* 1992;20 1:63–94.
- [18]. Drover D, Ortega HR. Patient state index. *Best Pract Res Clin Anaesthesiol*. 2006 Mar;20(1):121-8. doi: 10.1016/j.bpa.2005.07.008. PMID: 16634419.
- [19]. Nimmo, A.F., Absalom, A.R., Bagshaw, O., Biswas, A., Cook, T.M., Costello, A., Grimes, S., Mulvey, D., Shinde, S., Whitehouse, T. and Wiles, M.D. (2019), Guidelines for the safe practice of total intravenous anaesthesia (TIVA). *Anaesthesia*, 74: 211-224. <https://doi.org/10.1111/anae.14428>
- [20]. Mehler, D.M., Kreuzer, M., Obert, D.P. et al. Electroencephalographic guided propofol-remifentanyl TCI anesthesia with and without dexmedetomidine in a geriatric population: electroencephalographic signatures and clinical evaluation. *J Clin Monit Comput* (2024).
- [21]. Lee, HC., Ryu, HG., Park, Y. *et al.* Data Driven Investigation of Bispectral Index Algorithm. *Sci Rep* 9, 13769 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-50391-x>

Herramienta de analítica de datos para dispositivos de infusión y monitoreo de anestesia total intravenosa

- [22]. Gomez, K. (2017, 18 noviembre). monitorización de profundidad anestésica bis , entropía [Diapositivas]. SlideShare. <https://es.slideshare.net/KattyGomes/monitorizacion-de-profundidad-anestésica-bis-entropia>
- [23]. Tapia, L. F., Sepúlveda, P. O., V., & Faúndez, G. (2022). La anestesia general y el sueño fisiológico, una visión fenomenológica integradora. *Revista Chilena de Anestesia (Impresa)*, 51(5). <https://doi.org/10.25237/revchilanestv5101071114>

Herramienta de analítica de datos para dispositivos de infusión y monitoreo de anestesia total intravenosa

10. ANEXOS:

10.1. Tabla caracterización pacientes y PSI medio

Sexo	Edad (Años)	Peso (kg)	Talla (cm)	PSI medio					
F	18	43	154	30.2	F	53	72	157	29.4
F	24	56	151	26.8	F	27	63	150	33.0
F	31	66	166	30.7	M	66	65	172	36.3
M	64	62	160	35.5	F	29	63	160	28.6
F	31	73	163	30.3	M	27	60	170	32.5
F	30	114	162	29.2	F	50	65	156	32.4
F	44	34	154	29.3	M	40	80	175	32.3
M	63	90	172	55.9	F	31	63	159	32.2
F	42	65	156	16.2	F	33	72	160	33.0
F	59	75	155	24.6	F	42	60	155	22.8
F	46	62	157	39.6	F	59	75	160	31.4
F	45	65	157	25.4	F	63	72	165	35.9
F	34	66	156	32.2	M	33	64	180	25.8
F	38	69	152	31.1	F	42	65	165	28.7
F	49	56	151	35.8	F	32	73	157	29.3
M	33	64	165	29.1	M	20	63	173	33.1
M	57	69	172	34.5	F	67	87	158	35.3
F	19	101	170	30.4	F	37	69	151	31.8
M	23	57	173	23.6	F	20	67	160	23.8
F	24	53	165	31.3	M	34	78	180	50.2
F	30	54	156	35.3	M	53	70	165	35.3
F	27	72	153	31.2	F	33	62	165	29.2
M	16	43	160	24.3	F	28	63	156	32.0
F	58	73	156	27.2	F	49	72	160	27.9
F	21	88	164	35.6	M	26	65	167	51.0
M	52	68	163	30.5	F	42	65	155	27.8
F	31	65	165	20.3	F	12	38	150	27.5
F	51	60	160	25.4	F	37	60	155	33.9
F	47	60	155	33.3	F	68	62	166	33.1
M	68	80	188	51.2	F	18	60	165	21.9

Nota: F: Femenino, M: Masculino

Herramienta de analítica de datos para dispositivos de infusión y monitoreo de anestesia total intravenosa

10.2. Fragmentos de código de interés:

Calculo porcentaje de tiempo en el intervalo $20 < \text{PSI} < 50$:

```
def percentage_time_inter(PSI_vector,PSI_ref_sup,PSI_ref_inf):
    """calcula cuanto % de tiempo se encuentra la señal en un rango especifico de PSI"""
    filtrada = [element for element in PSI_vector if __intervalo_psi(element,PSI_ref_sup,PSI_ref_inf)]
    percentage_time_range = round((len(filtrada)/len(PSI_vector))*100,1)
    return percentage_time_range
```

Calculo del LBM:

```
def get_lbm(gender, weighth, heighth):
    weighth, heighth = float(weighth), float(heighth)
    V1, V2 = 0, 0
    if(gender == "MASCULINO"):
        V1 = 1.1
        V2 = 128

    elif(gender == "FEMENINO"):
        V1 = 1.07
        V2 = 148
    else:
        print("Sexo Desconocido")
        return
    lbm = (V1 * float(weighth) )- (V2 * ((weighth / heighth) ** 2))
    return round(lbm, 1)
```

Calculo MDAPE según las consideraciones de PE

```
def MAPE(PSI_vector,PSI_ref):
    #Segun intervalos
    pes=[]
    for psi in PSI_vector:
        if psi >=20 and psi <=50:
            pes.append(0)
        elif psi<20:
            p=((psi-20)/20) * 100
            pes.append(p)
        else:
            p=((psi-50)/50) * 100
            pes.append(p)
    pes=np.asarray(pes)
    mdape = np.sum(np.abs(pes))/len(pes)

    #Segun la basal de cada uno
    psi=np.mean(PSI_vector)
    if psi>20 and psi<50:
        mdape = np.sum(abs((PSI_vector-PSI_vector)/PSI_vector))*100/len(PSI_vector)
    elif psi<20:
        vector_ref = 20*np.ones(len(PSI_vector))
        mdape = np.sum(abs((PSI_vector-vector_ref)/vector_ref))*100/len(PSI_vector)
    elif psi>50:
        vector_ref = 50*np.ones(len(PSI_vector))
        mdape = np.sum(abs((PSI_vector-vector_ref)/vector_ref))*100/len(PSI_vector)

    #Segun valor de referencia
    vector_ref = PSI_ref*np.ones(len(PSI_vector))
    mdape = np.sum(abs((PSI_vector-vector_ref)/vector_ref))*100/len(PSI_vector)

    return mdape
```

Herramienta de analítica de datos para dispositivos de infusión y monitoreo de anestesia total intravenosa

Calculo serie promedio de PSI:

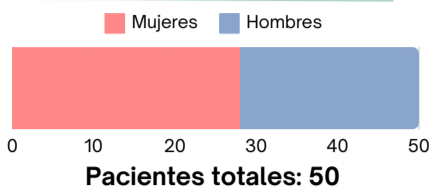
```
def calculate_psi_mean(values):  
    df = pd.concat([value for value in values], axis=1)  
    average_psi = df.mean(axis=1)  
    x = np.linspace(0, average_psi.size, average_psi.size)  
    return (x, average_psi)
```

10.3. Reportes de datos generados

REPORTE DE DATOS

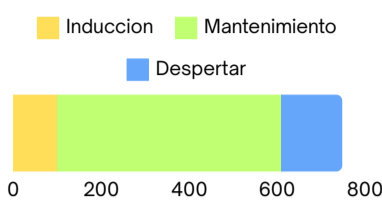
Pacientes de 06/12/2022 a 20/05/2023

PACIENTES



Edad promedio: **54 años**
 Rango de edad: 22 años- 88 años
 Peso promedio: **68 kg**
 Rango de peso: 35 kg - 105 kg
 Talla promedio: **163 cm**
 Rango de talla: 143 cm - 182 cm
 LBM promedio: **49 kg**
 Rango de LBM: 66.2 kg - 29.4 kg

PROCEDIMIENTOS



Promedio por paciente: **12 min ~ 0.2 h**
 Rango de duración: **6 min a 192 min**
0.1 a 30 h

Fase Inducción:
 Tiempo total: 100 min ~ 1.7 h
 Promedio por paciente: 2 min ~ 0.03h

Fase Mantenimiento:
 Tiempo total: 510 min ~ 8.5 h
 Promedio por paciente: 12 min ~ 0.2 h

Fase despertar:
 Tiempo total: 138 min ~ 2.3 h
 Promedio por paciente: 3 min ~ 0.05 h

CONSUMO FARMACOLOGICO

Propofol

General

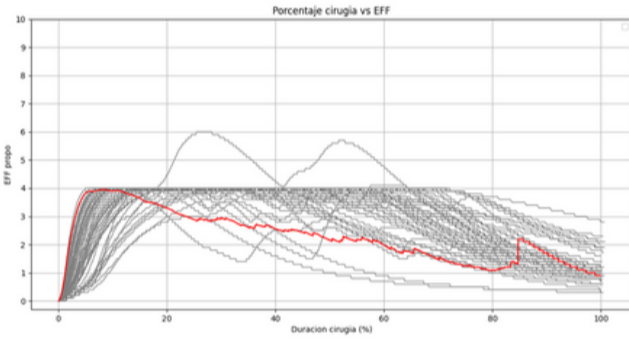
Total infundido	7461 mg
Total infundido según dilución	746.1 ml
Infundido por paciente	149.22 mg
Infundido promedio según dilución	14.9 ml
Infundido por kg	2.19 mg/kg
Ampolletas usadas	37.3

Fase de inducción

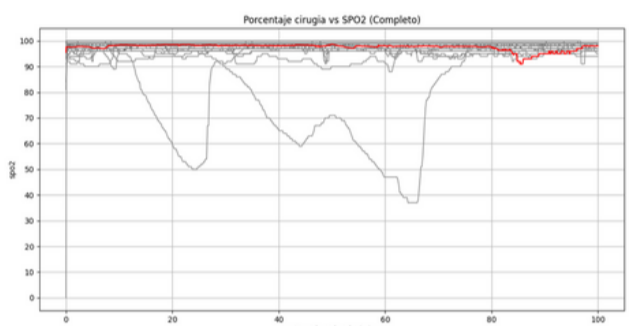
Total infundido	3364.23 mg
Promedio infundido por paciente	67.28 mg
Infundido por kg	0.99 mg/kg

Fase mantenimiento

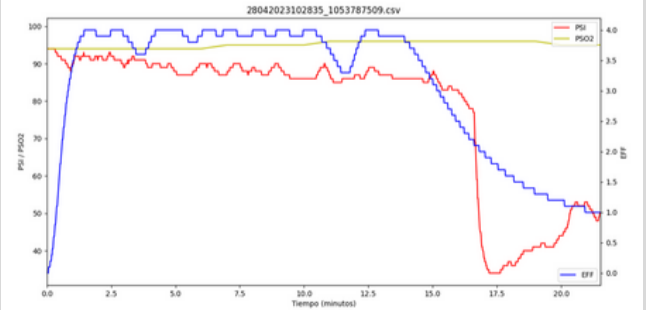
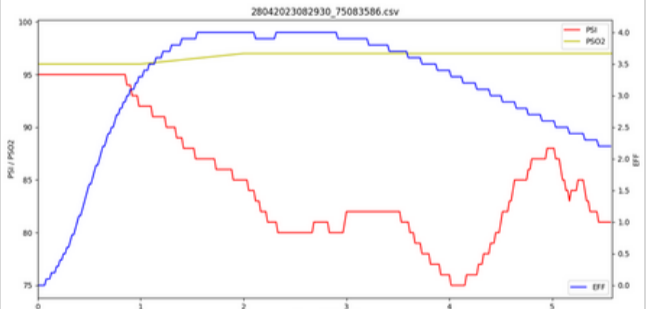
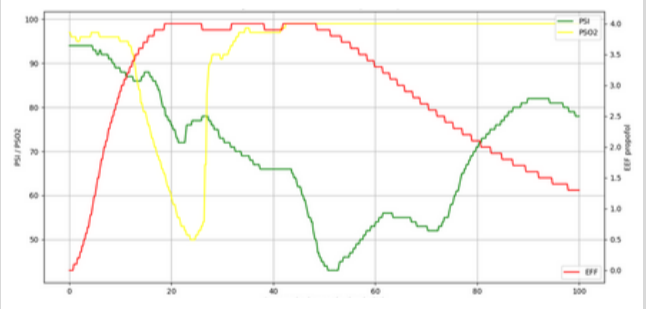
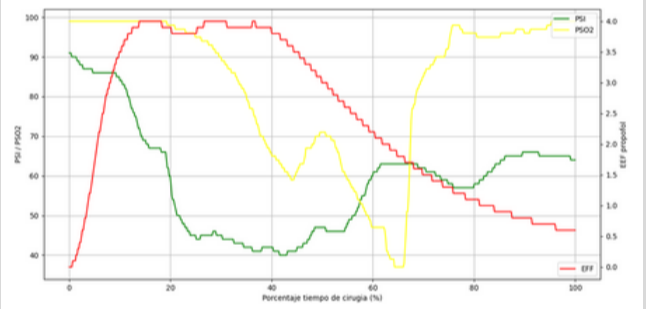
Total infundido	4080.49 mg
Promedio infundido por paciente	81.61 mg
Infundido por kg por hora	7.05 mg/kg/h
Infundido por kg por minuto	0.12 mg/kg/min



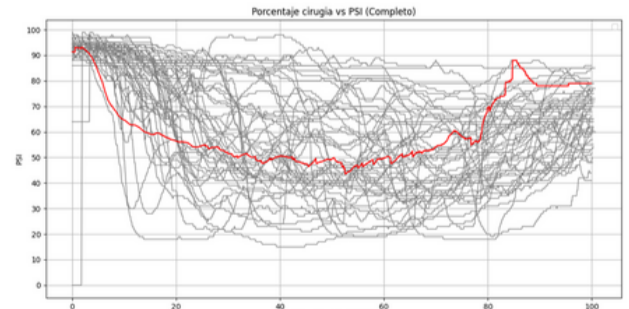
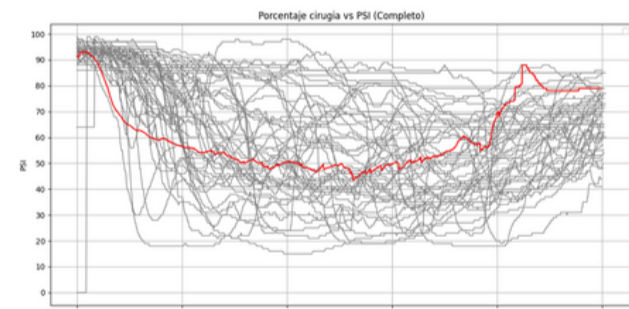
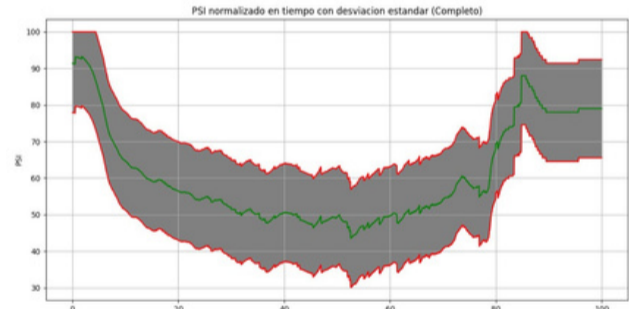
VARIABLES HEMODINAMICAS



CARACTERIZACION INDIVIDUAL



DESEMPEÑO



METRICAS DE ERROR

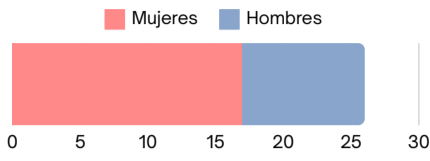
Característica	PSI objetivo=50	PSI objetivo=45	20<PSI objetivo<70	Con respecto a PSI basal
% tiempo PSI en intervalo	79.3%	79.3%	79.3%	79.3%
PE				
Promedio	9.36%	21.52%	3.1%	21.52%
SD	27.47	30.53	5.8	30.53
MDPE				
Promedio	5.36%	13.86%	1.64%	21.51%
SD	17.72	19.29	5.18	30.52
MDAPE				
Promedio	21.07%	24.85%	3.45%	36.61%
SD	8.75	11.32	5.62	19.63
Wobble				
Promedio	14.98%	16.85%	2.29%	20.72%
SD	6.97	7.71	3.29	11.34

El objetivo anestésico era SEDACION Rango 20<PSI<70

REPORTE DE DATOS

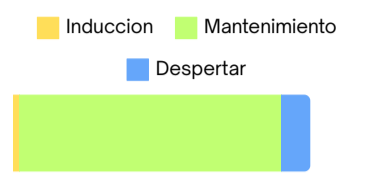
Pacientes de 23/02/2022 a 28/06/2023

PACIENTES



Edad promedio: **47 años**
 Rango de edad: 14 años- 80 años
 Peso promedio: **70 kg**
 Rango de peso: 44 kg - 100 kg
 Talla promedio: **166 cm**
 Rango de talla: 155 cm - 183 cm
 LBM promedio: **50 kg**
 Rango de LBM: 37.8 kg - 71.8 kg

PROCEDIMIENTOS



Promedio por paciente: **96 min ~ 1.6 h**
 Rango de duración: **18 min a 192 min**
0.3 h a 3.2 h

Fase Inducción:
 Tiempo total: 52 min ~ 0.9 h
 Promedio por paciente: 2 min ~ 0.03h

Fase Mantenimiento:
 Tiempo total: 2232 min ~ 37.2 h
 Promedio por paciente: 85.8 min ~ 1.4 h

Fase despertar:
 Tiempo total: 248 min ~ 4.1 h
 Promedio por paciente: 9.5 min ~ 0.2 h

CONSUMO FARMACOLOGICO

Propofol

General

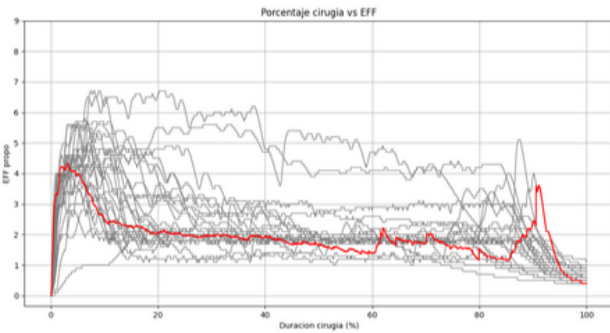
Total infundido	15392 mg
Total infundido según dilución	1539.2 ml
Infundido por paciente	592 mg
Infundido promedio según dilución	59.2 ml
Infundido por kg	8.41 mg/kg
Ampolletas usadas	76.96

Fase de inducción

Total infundido	1549.22 mg
Promedio infundido por paciente	59.59 mg
Infundido por kg	0.85 mg/kg

Fase mantenimiento

Total infundido	13393.97 mg
Promedio infundido por paciente	515.15 mg
Infundido por kg por hora	5.2 mg/kg/h
Infundido por kg por minuto	0.09 mg/kg/min



Comportamiento series individuales y promedio de propofol

Remifentanil

General

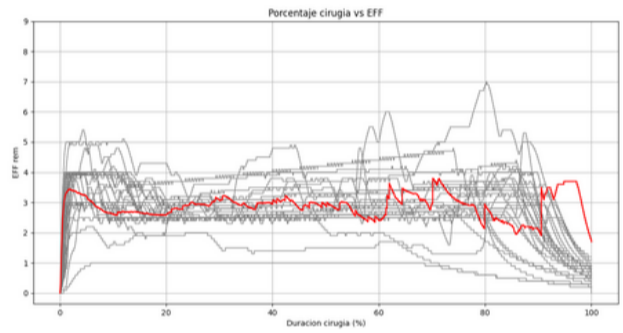
Total infundido	17440 µg
Total infundido según dilución	436 ml
Infundido por paciente	670.77 µg
Infundido promedio según dilución	16.8 ml
Infundido por kg	9.53 µg/kg
Ampolletas usadas	8.72

Fase de inducción

Total infundido	1508.33 µg
Infundido por kg	0.82 µg/kg
Promedio infundido por paciente	58.01 µg

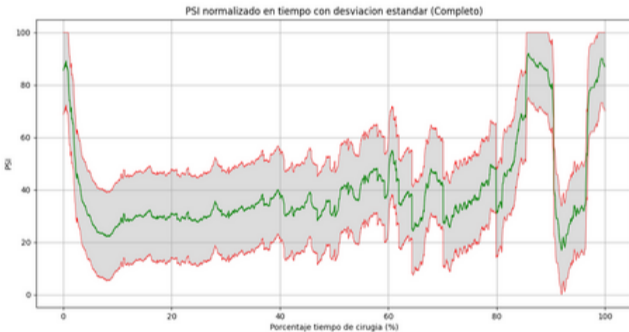
Fase mantenimiento

Total infundido	15414.25 µg
Promedio infundido por paciente	592.86 µg
Infundido por kg por hora	5.94 µg/kg/h
Infundido por kg por minuto	0.09 µg/kg/min

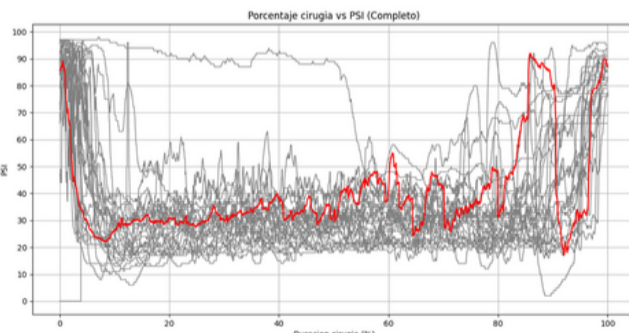


Comportamiento series individuales y promedio de remifentanil

DESEMPEÑO



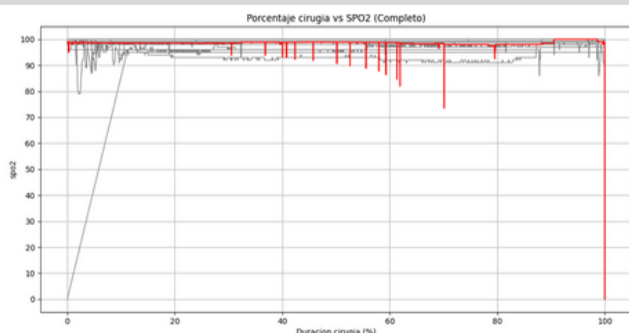
Comportamiento franja de serie promedio de PSI
SD=16.8



Comportamiento series individuales y promedio de PSI

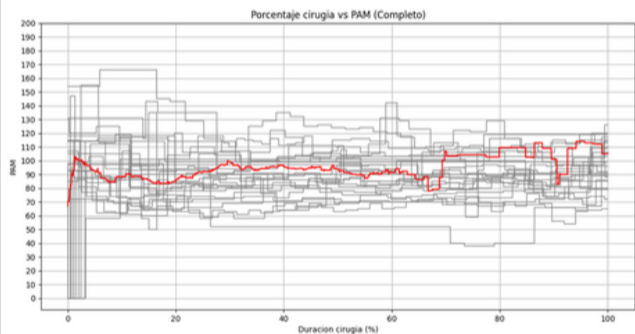
METRICAS DE ERROR

Característica	Con respecto a PSI basal			
	PSI objetivo=28	PSI objetivo=37.5	20<PSI objetivo<50	
% tiempo PSI en intervalo	85.9%	85.9%	85.9%	85.9%
PE	Promedio	8.19%	-19.22%	1.62%
	SD	35.23	26.31	8.4
MDPE	Promedio	4.22%	-17.26%	1.62%
	SD	21.35	17.83	8.4
MDAPE	Promedio	21.03%	23.81%	2.16%
	SD	13.31	10.65	9.35
Wobble	Promedio	13.95%	10.9%	1.83%
	SD	7.74	5.34	7.73

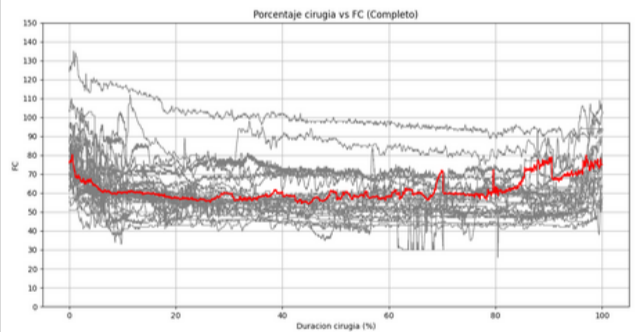


Comportamiento series individuales y promedio de SPO2

VARIABLES HEMODINAMICAS

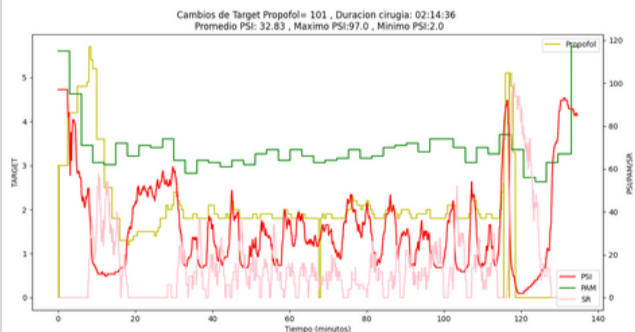


Comportamiento series individuales y promedio de PAM

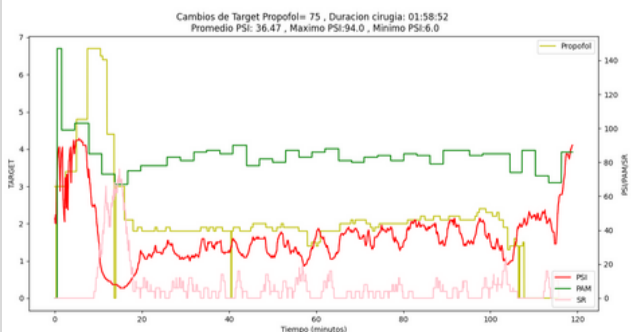


Comportamiento series individuales y promedio de FC

CARACTERIZACION INDIVIDUAL



Series de PAM, PSI, SR y TARGET de propofol de paciente con alteraciones en índice PSI, presencia de la mayor SR con presencia de tasas durante todo el procedimiento

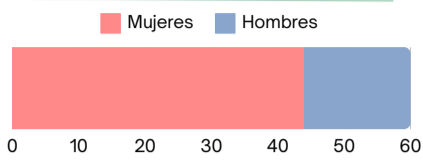


Series de PAM, PSI, SR y TARGET de paciente con mayor SR e inestabilidad hemodinámica al inicio de intervención, PSI inestable

REPORTE DE DATOS

Pacientes de 04/02/2022 a 05/10/2023

PACIENTES



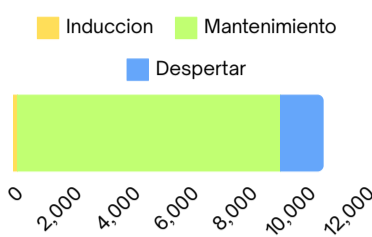
Edad promedio: **39 años**
 Rango de edad: 12 años- 68 años

Peso promedio: **66 kg**
 Rango de peso: 34 kg - 114 kg

Talla promedio: **161 cm**
 Rango de talla: 150 cm - 188 cm

LBM promedio: **46 kg**
 Rango de LBM: 29.2 kg - 64.8 kg

PROCEDIMIENTOS



Promedio por paciente: **174min ~ 2.9 h**

Rango de duración: **54 min a 624 min**
0.9 h a 10.4 h

Fase Inducción:
 Tiempo total: 120 min ~ 2 h
 Promedio por paciente: 2 min ~ 0.03h

Fase Mantenimiento:
 Tiempo total: 9000 min ~ 150 h
 Promedio por paciente: 150 min ~ 2.5 h

Fase despertar:
 Tiempo total: 1464 min ~ 24.4 h
 Promedio por paciente: 24.4 min ~ 0.4 h

CONSUMO FARMACOLOGICO

Propofol

General

Total infundido	73076 mg
Total infundido según dilución	7150307.6 ml
Cantidad de pacientes	60
Infundido por paciente	1217.93 mg
Infundido promedio según dilución	121.8 ml
Peso promedio	66 kg
Infundido por kg	18.28 mg/kg
Ampolletas usadas	365.38

Fase de inducción

Total infundido	4251.62 mg
Promedio infundido por paciente	70.86 mg
Infundido por kg	1.06 mg/kg

Fase mantenimiento

Duración promedio de la fase	150 min
Total infundido	63992.32 mg
Promedio infundido por paciente	1066.54 mg
Infundido por kg por hora	6.40 mg/kg/h
Infundido por kg por minuto	0.11 mg/kg/min
Infundido por paciente por hora	7.26 mg/h

Remifentanil

General

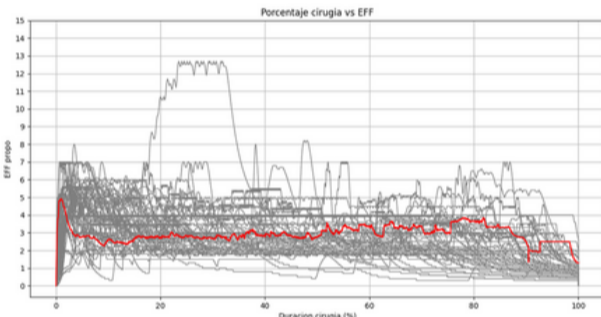
Total infundido	104233 µg
Total infundido según dilución	5333.9 ml
Cantidad de pacientes	60
Infundido por paciente	1737.22 µg
Infundido promedio según dilución	88.9 ml
Peso promedio	66 kg
Infundido por kg	26.08 µg/kg
Ampolletas usadas	52.12

Fase de inducción

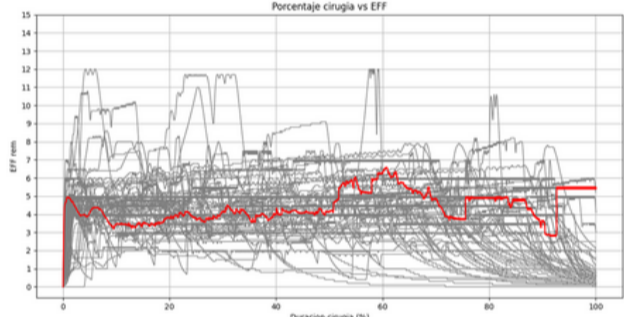
Total infundido	4460.96 µg
Promedio infundido por paciente	74.35 µg
Infundido por kg	1.12 µg/kg

Fase mantenimiento

Duración promedio de la fase	150 min
Total infundido	92449.34 µg
Promedio infundido por paciente	1540.82 µg
Infundido por kg por hora	9.25 µg/kg/h
Infundido por kg por minuto	0.15 µg/kg/min
Infundido por paciente por hora	9.9 µg/h

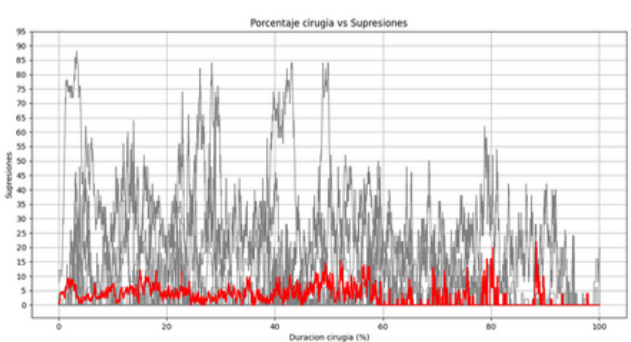
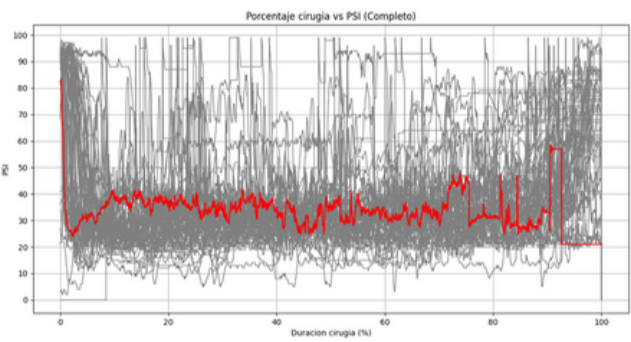


Comportamiento series individuales y promedio de propofol



Comportamiento series individuales y promedio de remifentanil

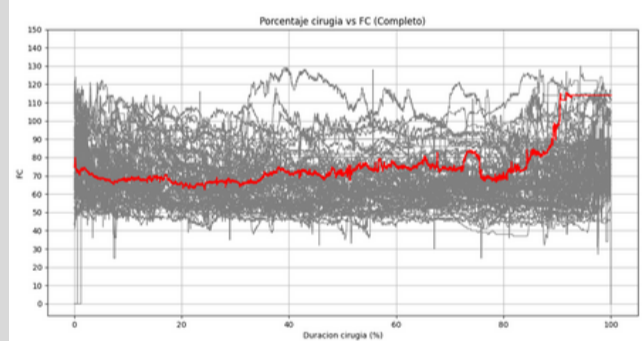
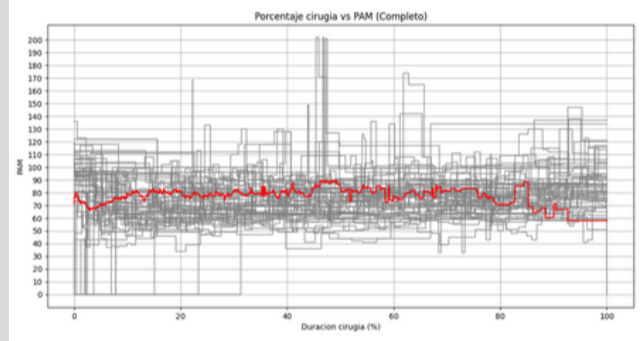
DESEMPEÑO



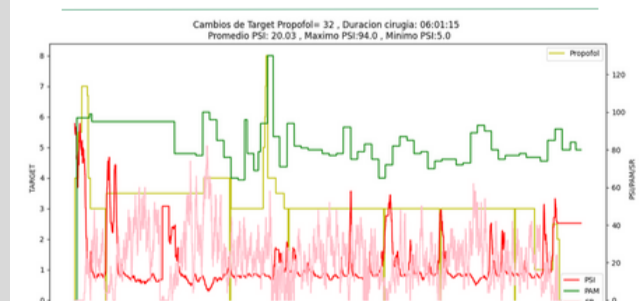
METRICAS DE ERROR

Característica	PSI objetivo=28	PSI objetivo=37.5	20<PSI objetivo<50	Con respecto a PSI basal
% tiempo PSI en intervalo	86.28%	86.28%	86.28%	86.28%
PE	Promedio	12.73%	-15.82%	0.66%
	SD	25.21	18.82	7.08
MDPE	Promedio	7.95%	-13.57%	0.00%
	SD	15.87	13.77	5.72
MDAPE	Promedio	21.37%	22.03%	3.95%
	SD	10.96	8.86	7.56
Wobble	Promedio	17.5%	13.78%	3.59%
	SD	9.93	7.38	6.63

VARIABLES HEMODINAMICAS



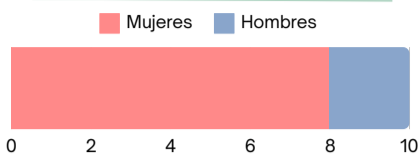
CARACTERIZACION INDIVIDUAL



REPORTE DE DATOS

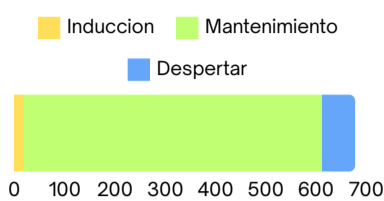
Pacientes de 19/10/2023 a 01/11/2023

PACIENTES



Edad promedio: **46 años**
 Rango de edad: 25 años- 64 años
 Peso promedio: **61 kg**
 Rango de peso: 48 kg - 90 kg
 Talla promedio: **158 cm**
 Rango de talla: 142 cm - 170 cm
 LBM promedio: **43 kg**
 Rango de LBM: 34.4 kg - 63.1 kg

PROCEDIMIENTOS



Promedio por paciente: **66min ~ 1.1h**
 Rango de duración: **42 min a 102 min**
0.7 h a 1.7 h

Fase Inducción:
 Tiempo total: 20 min ~ 0.3 h
 Promedio por paciente: 2 min ~ 0.03h

Fase Mantenimiento:
 Tiempo total: 592 min ~ 9.9 h
 Promedio por paciente: 59.2 min ~ 1 h

Fase despertar:
 Tiempo total: 66 min ~ 1.1 h
 Promedio por paciente: 6.6 min ~ 0.1 h

CONSUMO FARMACOLOGICO

Propofol

General

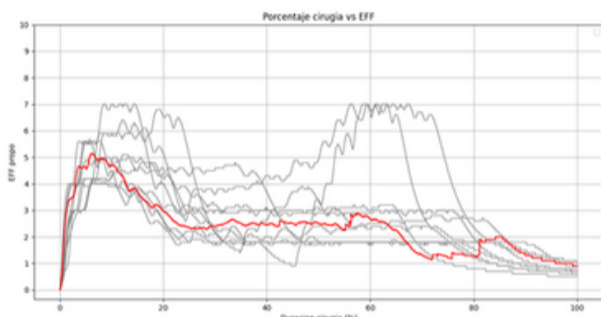
Total infundido	4836 mg
Total infundido según dilución	483.6 ml
Infundido por paciente	483.6 mg
Infundido promedio según dilución	48.4 ml
Infundido por kg	7.97 mg/kg
Ampolletas usadas	24.18

Fase de inducción

Total infundido	597.68 mg
Promedio infundido por paciente	59.77 mg
Infundido por kg	0.98 mg/kg

Fase mantenimiento

Total infundido	4236.82 mg
Promedio infundido por paciente	423.68 mg
Infundido por kg por hora	7.1 mg/kg/h
Infundido por kg por minuto	0.12 mg/kg/min



Comportamiento series individuales y promedio de propofol

Remifentanil

General

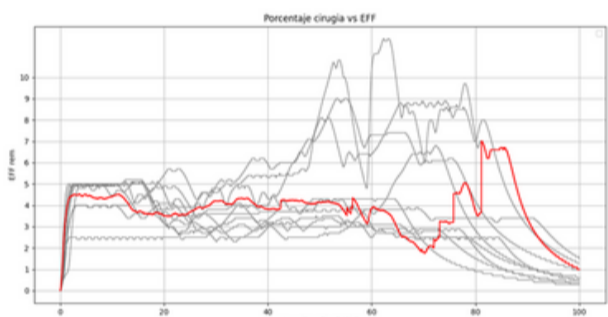
Total infundido	6122 µg
Total infundido según dilución	182.5 ml
Infundido por paciente	612.2 µg
Infundido promedio según dilución	18.3 ml
Infundido por kg	10.09 µg/kg
Ampolletas usadas	3.06

Fase de inducción

Total infundido	721.15 µg
Infundido por kg	1.19 µg/kg
Promedio infundido por paciente	72.12 µg

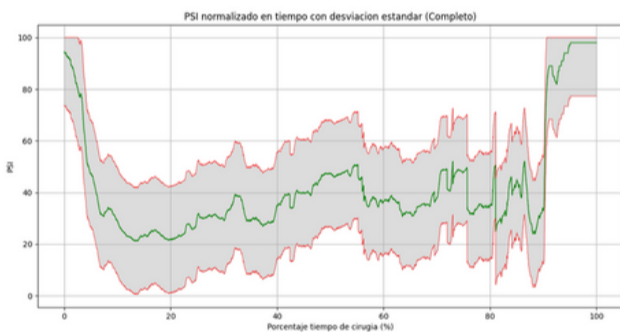
Fase mantenimiento

Total infundido	5401.57 µg
Promedio infundido por paciente	540.2 µg
Infundido por kg por hora	9.1 µg/kg/h
Infundido por kg por minuto	0.15 µg/kg/min

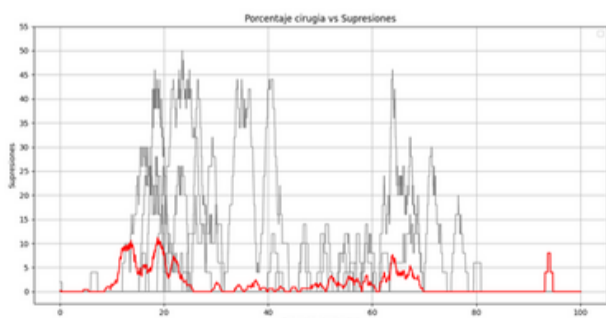
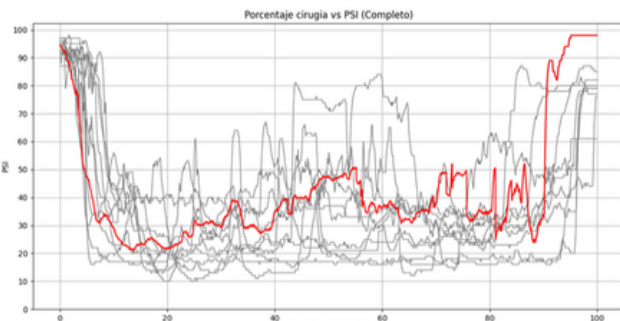


Comportamiento series individuales y promedio de remifentanil

DESEMPEÑO



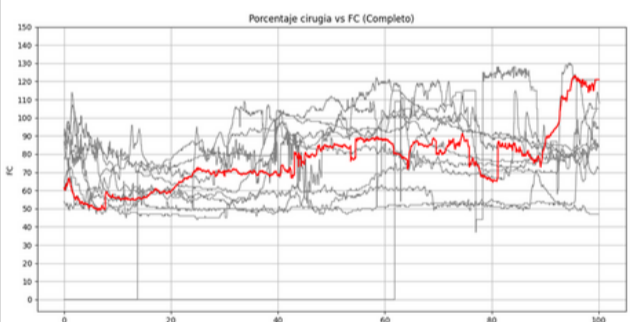
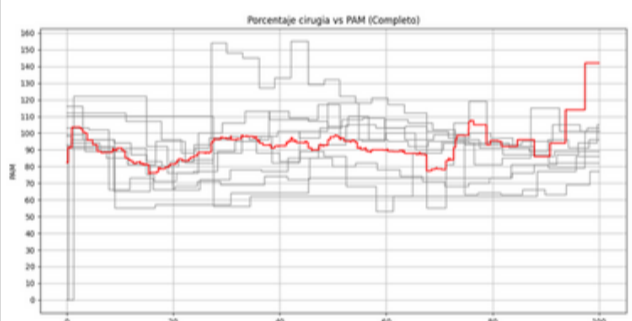
Comportamiento series individuales y promedio de PSI



METRICAS DE ERROR

Característica	PSI objetivos 28	PSI objetivos 37.5	20 < PSI objetivo < 50	Con respecto a PSI basal
% tiempo PSI en intervalo	71.2%	71.2%	71.2%	71.2%
PE	Promedio	7.38%	-19.84%	-1.33%
	SD	27.94	20.88	2.89
MDPE	Promedio	4.05%	-16.7%	-1.21%
	SD	22.89	18.69	2.63
MDAPE	Promedio	27.25%	26.26%	2.88%
	SD	10.52	13.05	6.27
Wobble	Promedio	18.88%	14.72%	2.17%
	SD	11.54	8.51	4.64

VARIABLES HEMODINAMICAS



CARACTERIZACION INDIVIDUAL

