

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE MEDICINA

**HOSPITAL UNIVERSITARIO
“DR. JOSÉ ELEUTERIO GONZÁLEZ”**



“Fracción inspirada de oxígeno con diferentes métodos de oxigenoterapia con sistemas abiertos. Estudio en un modelo mecánico pulmonar in-vitro.”

Por:

DR. ISRAEL SÁNCHEZ MARTÍNEZ

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
ESPECIALISTA EN MEDICNA DEL ENFERMO EN ESTADO
CRÍTICO.**

DICIEMBRE 2025

Aprobación de la tesis:


Dr. Uriel Chavarría Martínez

Director de Tesis


Dr. med. Fernando Alfredo Mata Ávalos.

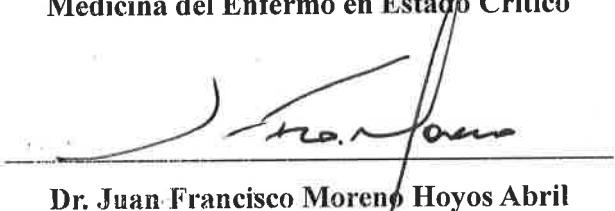
Codirector de Tesis


Dr. med. Homero Náñez Terreros

Jefe del Servicio de Neumología y Cuidados Intensivos


Dr. Uriel Chavarría Martínez

**Coordinador de Enseñanza del Programa de Especialidad en
Medicina del Enfermo en Estado Crítico**


Dr. Juan Francisco Moreno Hoyos Abril

**Coordinador de Investigación del Servicio de Neumología y
Cuidados Intensivos**


Dr. med. Felipe Arturo Morales Martínez

Subdirector de Estudios de Posgrado.

DEDICATORIA Y/O AGRADECIMIENTOS.

A mi esposa **Valeria**, y a mis hijos **Valentina, Nicolás y Juan Pablo**, por ser el principal sustento personal y la motivación constante a lo largo de este proceso de formación. Su amor, apoyo, paciencia y comprensión hicieron posible la culminación de este trabajo académico. Cada sacrificio realizado tuvo como propósito brindarles un mejor futuro, y este logro es también de ustedes.

A mi madre, por su respaldo incondicional y por la confianza depositada en mi desarrollo personal y profesional. Su mayor anhelo siempre ha sido verme salir adelante y consolidarme, y este logro representa el reflejo de su esfuerzo, dedicación y amor.

A la memoria de mi padre, cuyo deseo siempre fue verme ejercer la medicina. Aunque no pudo presenciar esta etapa de mi formación, su ejemplo y enseñanzas continúan guiando mi trayectoria profesional. Este trabajo representa también un homenaje a su memoria.

A Dios, por la fortaleza, la vocación y la oportunidad de ejercer la medicina con responsabilidad, compromiso y sentido humano.

A mis maestros del **Hospital Universitario “Dr. José Eleuterio González”** y de la **Universidad Autónoma de Nuevo León**, por brindarme la oportunidad de formarme en esta institución que siempre representó un sueño personal y profesional. El conocimiento transmitido, así como sus consejos, exigencia académica y ejemplo clínico, han sido invaluos para mi formación como médico y como persona, por lo cual les estaré eternamente agradecido.

A mis asesores, compañeros de residencia y a todas las personas e instituciones que contribuyeron directa o indirectamente a la realización de este trabajo, mi más sincero agradecimiento.

TABLA DE CONTENIDO

| | Página |
|--|-----------------------------|
| Capítulo I | |
| 1. RESÚMEN..... | 1 |
| Capítulo II | |
| 2. INTRODUCCIÓN..... | 2-3 |
| Capítulo III | |
| 3. HIPÓTESIS..... | 4 |
| Capítulo IV | |
| 4. OBJETIVOS..... | 5 |
| Capítulo V | |
| 5. MATERIAL Y MÉTODOS..... | 6-7-8-9-10-11-12 |
| Capítulo VI | |
| 6. RESULTADOS..... | 13-14-15-16-17-18-19 |
| Capítulo VII | |
| 7. DISCUSIÓN..... | 20-21 |
| Capítulo VIII | |
| 8. CONCLUSIÓN..... | 22 |
| Capítulo IX | |
| 9. ANEXOS..... | 23-24-25 |
| Capítulo X | |
| 10.BIBLIOGRAFIA..... | 26-27 |
| Capítulo XI | |
| 11. RESUMEN AUTOBIOGRÁFICO..... | 28 |

LISTA DE ABREVIATURAS

FIO₂: fracción FiO₂: Fracción inspirada de oxígeno.

FiO₂ traqueal: Fracción inspirada de oxígeno medida a nivel traqueal

FR: Frecuencia respiratoria

L/min: Litros por minuto

PaO₂: Presión arterial de oxígeno

PaCO₂: Presión arterial de dióxido de carbono

P/F: Relación PaO₂ / FiO₂

Pmus: Presión muscular respiratoria

Raw: Resistencia de la vía aérea

SDRA: Síndrome de dificultad respiratoria

CAPITULO I

RESUMEN

La oxigenoterapia constituye una intervención fundamental en el manejo del paciente crítico y representa una de las terapias más utilizadas en el contexto hospitalario y de terapia intensiva. Sin embargo, en los sistemas abiertos de administración de oxígeno, la fracción inspirada de oxígeno (FiO_2) que alcanza la vía aérea puede diferir de manera significativa respecto a la FiO_2 teórica administrada, particularmente en pacientes con incremento del trabajo respiratorio y alteraciones de la mecánica pulmonar.

El objetivo del presente estudio es evaluar la fracción inspirada de oxígeno a nivel faríngeo y traqueal utilizando diferentes métodos de oxigenoterapia con sistemas abiertos —cánula nasal, mascarilla simple y mascarilla con reservorio— bajo distintas condiciones de mecánica pulmonar, modificando variables como frecuencia respiratoria, volumen corriente, resistencia de la vía aérea, distensibilidad pulmonar y presión muscular respiratoria, mediante un modelo mecánico pulmonar *in vitro*.

Se realizó un estudio experimental utilizando un simulador pulmonar mecánico conectado a un maniquí de vía aérea, permitiendo la reproducción controlada de distintos patrones ventilatorios. La FiO_2 fue medida de forma directa a nivel faríngeo y traqueal mediante sensores de oxígeno calibrados.

Los resultados de este estudio permitirán identificar la variabilidad de la FiO_2 real administrada por cada dispositivo de oxigenoterapia y su relación con las condiciones ventilatorias simuladas, aportando información relevante para optimizar la selección del método de oxigenoterapia en el manejo del paciente crítico.

Material y métodos: Estudio experimental, prospectivo y comparativo utilizando un simulador pulmonar mecánico conectado a un maniquí de vía aérea, permitiendo la reproducción controlada de distintos patrones ventilatorios. La FiO_2 fue medida de forma directa a nivel faríngeo y traqueal mediante sensores de oxígeno calibrados.

CAPITULO II

INTRODUCCIÓN

La oxigenoterapia es una de las intervenciones terapéuticas más utilizadas en el ámbito hospitalario y, particularmente, en las unidades de terapia intensiva. Su objetivo principal es corregir o prevenir la hipoxemia tisular mediante el incremento de la fracción inspirada de oxígeno (FiO_2), asegurando una adecuada disponibilidad de oxígeno para los tejidos.

Desde el punto de vista fisiológico, la oxigenación tisular depende de múltiples factores, entre los que se incluyen la FiO_2 administrada, la ventilación alveolar, la difusión alveolocapilar, la relación ventilación/perfusión y el gasto cardíaco. En condiciones normales, el aire ambiente contiene una FiO_2 aproximada de 21%. Sin embargo, en pacientes con enfermedad respiratoria aguda o crónica, este porcentaje resulta insuficiente para mantener una adecuada presión arterial de oxígeno.

Los sistemas de oxigenoterapia se clasifican en sistemas cerrados y sistemas abiertos. Los sistemas abiertos, como la cánula nasal y las mascarillas faciales, permiten la entrada de aire ambiente durante la inspiración, lo que provoca una dilución variable del oxígeno administrado. Esta característica determina que la FiO_2 real recibida por el paciente dependa no solo del flujo de oxígeno suministrado, sino también del patrón ventilatorio y de la mecánica pulmonar.

La cánula nasal es el método de oxigenoterapia más utilizado debido a su comodidad y fácil colocación. Sin embargo, proporciona una FiO_2 altamente variable, especialmente en pacientes con aumento del volumen minuto o del esfuerzo inspiratorio. A flujos bajos, la dilución con aire ambiente es significativa, lo que limita su eficacia en escenarios de hipoxemia moderada a severa.

La mascarilla simple permite administrar flujos de oxígeno mayores que la cánula nasal, incrementando la FiO_2 inspirada. No obstante, al tratarse también de un sistema abierto, la FiO_2 real continúa siendo dependiente del volumen inspirado y de la frecuencia respiratoria del paciente.

La mascarilla con reservorio incorpora un sistema de almacenamiento de oxígeno que reduce la entrada de aire ambiente durante la inspiración, permitiendo alcanzar FiO₂ más elevadas y estables en comparación con otros sistemas abiertos. A pesar de ello, su eficacia puede verse limitada en pacientes con altos volúmenes inspiratorios o respiración muy rápida.

Diversos estudios han demostrado que, en los sistemas abiertos de oxigenoterapia, la FiO₂ teórica frecuentemente sobreestima la FiO₂ real que alcanza la vía aérea distal. Factores como la frecuencia respiratoria, el volumen corriente, la resistencia de la vía aérea y la presión muscular respiratoria influyen de manera directa en la dilución del oxígeno administrado.

En este contexto, la medición de la FiO₂ a nivel faríngeo y traqueal proporciona una aproximación más precisa de la concentración de oxígeno realmente disponible para el intercambio gaseoso. El uso de modelos mecánicos pulmonares *in vitro* permite evaluar estas variables de manera controlada y reproducible, eliminando factores de confusión presentes en estudios clínicos.

Comprender el comportamiento de la FiO₂ real administrada por los diferentes dispositivos de oxigenoterapia resulta fundamental para optimizar su uso en terapia intensiva, seleccionar el método adecuado según la condición clínica del paciente y anticipar el fracaso de la oxigenoterapia convencional.

CAPITULO III

HIPÓTESIS

Hipótesis (H1):

Diferentes métodos de oxigenoterapia abierta (cánula nasal, máscara simple, máscara con reservorio.) pueden influir en la fracción inspirada de oxígeno (FiO_2) que un paciente recibe, ya que depende de la interacción entre el flujo de oxígeno y varía en base a la mecánica pulmonar, resistencia, esfuerzo muscular y frecuencia respiratoria en un modelo de simulación.

Hipótesis nula (H0):

Diferentes métodos de oxigenoterapia abierta (cánula nasal, máscara simple, máscara con reservorio.) no influyen en la fracción inspirada de oxígeno (FiO_2) que un paciente recibe, y no depende de la interacción entre el flujo de oxígeno y las diferentes formas de mecánica pulmonar, resistencia, esfuerzo muscular y frecuencia respiratoria en un modelo de simulación.

CAPITULO IV

OBJETIVOS

Objetivo primario:

Evaluar la fracción inspirada de oxígeno (FiO_2) a nivel faríngeo y traqueal obtenida mediante diferentes métodos de oxigenoterapia con sistemas abiertos —cánula nasal, mascarilla simple y mascarilla con reservorio— bajo distintas condiciones de mecánica pulmonar, utilizando un modelo mecánico pulmonar in vitro.

Objetivos secundarios:

1. Comparar la FiO_2 faríngea y traqueal obtenida con la cánula nasal, la mascarilla simple y la mascarilla con reservorio.
2. Analizar la influencia de la frecuencia respiratoria y del volumen corriente sobre la FiO_2 obtenida con cada dispositivo.
3. Evaluar el efecto del esfuerzo muscular respiratorio sobre la FiO_2 traqueal en los diferentes métodos de oxigenoterapia.
4. Determinar el impacto de la resistencia de la vía aérea y de la distensibilidad pulmonar en la variabilidad de la FiO_2 faríngea y traqueal.
5. Identificar las condiciones ventilatorias asociadas a mayor dilución de la FiO_2 en los sistemas abiertos de oxigenoterapia

CAPITULO V

MATERIAL Y MÉTODOS

A.- Diseño metodológico del estudio

Tipo de estudio: prospectivo, comparativo, modelo mecánico experimental en laboratorio.

B.- Tipo de estudio:

Estudio en un modelo de simulación que es descriptivo no controlado experimental: Este es un estudio experimental en el que se describe la variación de la fracción inspirada de oxígeno con diferentes condiciones de mecánica pulmonar, de volumen minuto frecuencia respiratoria y flujo de oxígeno con tres diferentes métodos abiertos de oxigenoterapia en un maniquí y un simulador de respiración espontánea.

Lugar y sitio:

Lugar y sitio: El modelo experimental será realizado en el laboratorio de investigación de servicio de neumología y Medicina Crítica del Hospital Universitario “Dr. José Eleuterio González” (UANL)

Población de estudio:

Éste es un estudio en un modelo mecánico pulmonar, por lo tanto, no se considerará el uso en pacientes.

Criterios de inclusión:

No aplica al ser un estudio de modelo mecánico experimental de simulación.

Criterios de exclusión:

No aplica al ser un estudio de modelo mecánico experimental de simulación.

Criterios de eliminación:

No aplica al ser un estudio de modelo mecánico experimental de simulación.

Metodología y Protocolo de estudio

Modelo de simulación mecánica pulmonar.

Se utilizará un modelo de simulación de respiración activa o pasiva, ASL500 (Active Servo Lung). Ingmar Medical Pittsburgh PN. El simulador será conectado con una manguera corrugada, a la salida traqueal de un maniquí de entrenamiento de intubación.

Se utilizará un oxímetro de línea marca MSA modelo MiniOx3000 (Pittsburgh, Pensilvania EUA) El sensor de oxígeno, será colocado dentro de la faringe del maniquí para medir la FiO₂ local en faringe. Además, se colocará el sensor por medio de un conector, en tráquea del simulador.

Se colocará un monitor Fluxmed en la conexión traqueal del maniquí con el simulador para medición de flujos, volúmenes Corrientes y mecánica pulmonar resultante de las simulaciones establecidas en el simulador de respiración espontánea.

El análisis de los datos se realizará mediante **Microsoft Excel (Office 365®)** para la captura inicial y la obtención de estadísticas descriptivas, y **IBM SPSS Statistics (v.25 o superior)** para el análisis inferencial (pruebas de normalidad, ANOVA de medidas repetidas o pruebas no paramétricas, correlaciones y regresiones). La representación gráfica de resultados se llevará a cabo en **GraphPad Prism (v.9 o superior)**, mientras que, de ser necesario, se utilizarán entornos de programación como **R** o **Python** para análisis multivariados avanzados y construcción de nomogramas.

Reclutamiento y consentimiento

Al ser un modelo experimental mecánico descriptivo, no es necesario un cálculo del tamaño de muestra.

Recolección de la información

Se construirán curvas y de ser posible nomogramas acerca de la interacción de la mecánica pulmonar con el patrón de respiración del modelo de simulación para establecer visualmente la fracción inspirada de oxígeno más probable en base a la interacción de cada uno de estos parámetros

Confidencialidad

No aplica al ser un estudio de modelo mecánico experimental de simulación.

Variables del estudio:

Variables Independientes

- Fraccion inspirada de oxigeno (FiO_2) es la cantidad de oxígeno que se suministra al modelo mecanico y que puede variar.
- Cánulas nasales, mascarilla simple y mascarilla reservorio. esto afecta la FiO_2 .
- La cantidad de flujo de oxigeno que se sumistrara al modelo mecanico para poder alcanzar un FiO_2 optima.

Variables Dependientes

- El ajuste de la FiO₂, influye en la saturación de oxígeno que se le proporcion al modelo mecanico.
- Evitar el déficit agudo de oxígeno es importante para evitar hipoxemia e hipoxia. Esta medida es fundamental para evitar cambios a nivel cardiovasculares, respiratorios y cerebral.
- Al ajustar la FiO₂, se busca influir en la saturacion de oxigeno en sangre del paciente.
- aumentar la fracción inspirada de oxígeno (FiO₂) y consecuentemente el contenido arterial de oxígeno (p O₂, Sa O₂) para así mejorar el transporte de este gas y, en definitiva, evitar la hipoxia tisular.

13.Cálculo del tamaño de la muestra

Al ser un modelo experimental mecánico descriptivo, no es necesario un cálculo del tamaño de muestra.

14. Análisis estadístico e interpretación de la información

Se analizarán los resultados obtenidos de fracción inspirada de oxígeno con las diferentes simulaciones. Se construirán curvas y de ser posible nomogramas acerca de la interacción de la mecánica pulmonar con el patrón de respiración del modelo de simulación para establecer visualmente la fracción inspirada de oxígeno más probable en base a la interacción de cada uno de estos parámetros.

Programas para utilizar para el análisis de las variables

El análisis de los datos obtenidos se llevará a cabo mediante el uso de diferentes programas estadísticos y de procesamiento de información, con el fin de garantizar la correcta organización, depuración, análisis e interpretación de las variables.

1. Microsoft Excel (Microsoft Office 365®)

Este programa se utilizará para la captura inicial de los datos provenientes del simulador pulmonar (ASL 500), del monitor Fluxmed y de los sensores de oxígeno colocados en faringe y tráquea. Excel permitirá la construcción de bases de datos primarias, así como la depuración de registros atípicos. Asimismo, se empleará para la obtención de estadísticas descriptivas iniciales (media, desviación estándar, intervalos de confianza) y la generación de gráficos exploratorios básicos (líneas, dispersión y tablas dinámicas) que faciliten la visualización preliminar de tendencias en las variables dependientes.

2. IBM SPSS Statistics (versión 25 o superior)

El análisis estadístico inferencial se llevará a cabo principalmente en este software, dada su robustez y uso extendido en investigación biomédica. Se aplicarán pruebas de normalidad (Kolmogorov-Smirnov, Shapiro-Wilk) y, de acuerdo con los resultados, se seleccionarán pruebas paramétricas o no paramétricas para la comparación de medias (ANOVA de medidas repetidas, Kruskal-Wallis). Se evaluarán las diferencias en la fracción inspirada de oxígeno (FiO_2) faríngea y traqueal según el método de oxigenoterapia, flujo administrado, mecánica pulmonar, esfuerzo muscular y frecuencia respiratoria. Asimismo, se podrán aplicar análisis de correlación y modelos de regresión lineal o de efectos mixtos para explorar asociaciones multivariadas entre las variables independientes y dependientes.

3. GraphPad Prism (versión 9 o superior)

Para la representación gráfica avanzada se utilizará GraphPad Prism, que permitirá generar gráficos de barras, curvas de tendencia, diagramas de dispersión y representaciones con intervalos de confianza. Dichas gráficas facilitarán la interpretación visual de los resultados y aportarán figuras de alta calidad para la inclusión en la tesis y en eventuales publicaciones científicas derivadas del estudio.

4. R (versión 4.3 o superior) o Python (bibliotecas Pandas, Matplotlib, SciPy, Statsmodels) (opcional)

En caso de requerir análisis adicionales, se considerará el uso de entornos de programación estadística como R o Python. Estos permitirán la construcción de

modelos personalizados, análisis multivariados avanzados y la elaboración de nomogramas predictivos sobre la interacción entre la mecánica pulmonar, el patrón respiratorio y el método de oxigenoterapia. Su inclusión dará mayor flexibilidad al análisis de datos y permitirá validar los resultados obtenidos con otros programas.

En conjunto, estos programas garantizarán un análisis integral de los datos, combinando herramientas para la depuración y exploración inicial (Excel), el análisis estadístico robusto (SPSS), la representación visual de resultados (GraphPad Prism) y, de ser necesario, la simulación y modelado avanzado (R/Python).

Aspectos éticos

De acuerdo con los principios establecidos en la Declaración de Helsinki de la Asociación Médica Mundial adaptada por 52a Asamblea General, en Edimburgo, Escocia en el año 2000 en su Artículo 11, considerando también el artículo 13, el 15 y las últimas enmiendas de la declaración; que señalan que la investigación debe basarse en un conocimiento cuidadoso del campo científico, se revisó detalladamente la bibliografía para redactar los antecedentes y la metodológica del proyecto.

Esta investigación está de acuerdo con el "Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Investigación para la Salud" en su Título 2º, Capítulo 1º, Artículo 17, Fracción I, se considera como investigación sin riesgo.

El presente protocolo será someterá al Comité de Ética e Investigación del Hospital Universitario Dr. José Eleuterio González para aprobación, el equipo de investigación se apegará a las sugerencias proporcionadas por el mismo.

Recursos y financiamiento

El presupuesto y el financiamiento serán aportados por recursos propios del Servicio de Medicina critica hospital Universitario Dr. José Eleuterio González. El estudio es de recolección de datos a través de un instrumento en hoja de papel por lo que consideramos que el presupuesto necesario para este estudio es muy bajo.

Recursos humanos:

El servicio de medicina critica del Hospital Universitario Dr. José Eleuterio González cuenta con el recurso humano para desarrollar el protocolo de investigación.

Recursos materiales

Todos los recursos materiales derivan del mismo Servicio de medicina critica del hospital Universitario Dr. José Eleuterio González. Por ser un estudio de recolección de datos de un modelo anatómico los recursos materiales que necesitamos se limitan a cosas como hojas de papel, acceso a internet, y uso de una computadora. Actualmente contamos con los programar G*power, Excel de Microsoft Office, y SPSSStatistics v26, por lo que no será necesario gastar recursos para desarrollar el estudio.

CAPITULO VI

RESULTADOS

Se realizaron 486 sets de simulación, 324 para puntas nasales, 81 para mascarilla simple y 81 para mascarilla con bolsa reservorio. Calculo de la muestra en un diseño factorial. Posteriormente se analizaron por medio de estadística descriptiva, y pruebas de asociación y diferencia significativa.

1. Análisis general de la FiO₂ traqueal
Los tres dispositivos mostraron comportamientos claramente diferenciados conforme al patrón ventilatorio del paciente crítico.

- La cánula nasal presentó la mayor variabilidad y la FiO₂ más baja en condiciones de alta demanda.
- La mascarilla simple ofreció un aporte mayor, aunque aún vulnerable a la dilución.
- La mascarilla con reservorio fue la más estable, con la FiO₂ promedio más alta y menor sensibilidad al patrón inspiratorio.

2. Comportamiento según flujo de oxígeno
Los tres modelos mostraron incrementos progresivos en la FiO₂ con el aumento del flujo, pero de magnitudes distintas.

- En cánula nasal, el aumento fue limitado por la alta dilución con aire ambiente.
- La mascarilla simple alcanzó niveles superiores pero insuficientes en distrés.
- La mascarilla con reservorio, con 15 L/min, logró niveles de FiO₂ más consistentes gracias al volumen prellenado del reservorio.

3. Influencia del volumen inspirado y la presión muscular
El volumen inspirado y la presión muscular fueron los determinantes fisiológicos más importantes del comportamiento de la FiO₂.

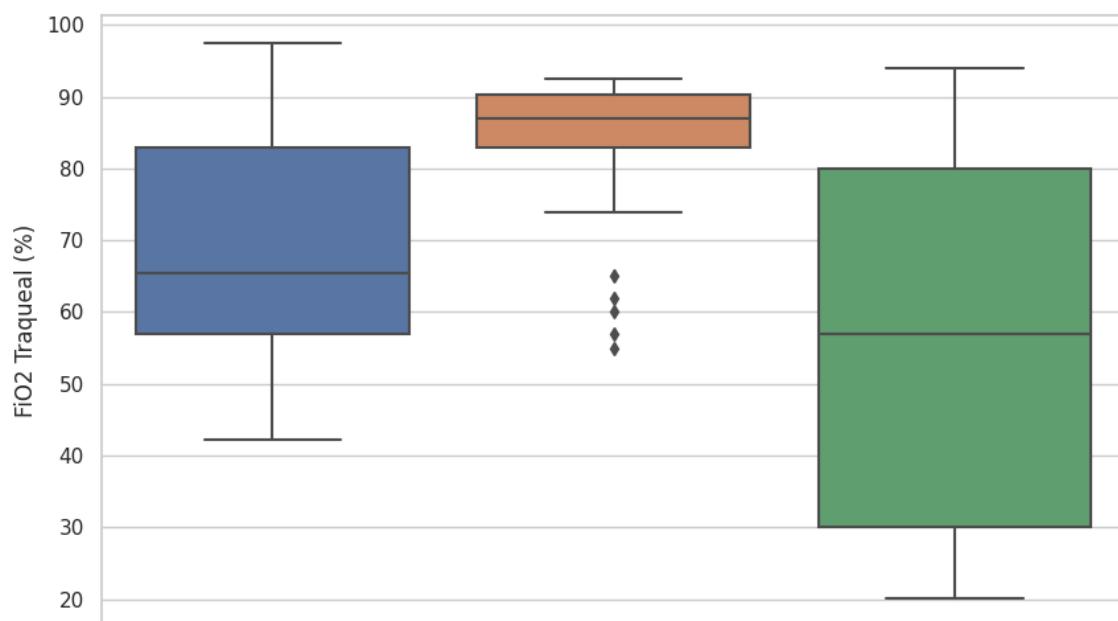
- A mayor esfuerzo inspiratorio, mayor dilución y menor FiO₂ en los tres dispositivos.
- Cánula nasal: efecto negativo severo.
- Mascarilla simple: efecto negativo moderado.
- Mascarilla con reservorio: efecto mitigado, aunque presente.

4. Impacto de frecuencia respiratoria, resistencia y distensibilidad
 La frecuencia respiratoria tuvo impacto limitado.
 La resistencia aumentada y distensibilidad disminuida redujeron el volumen inspirado, aumentando ligeramente la FiO₂, con efectos más visibles en cánula nasal.

FiO₂ traqueal en cada uno de los métodos

| Método | N | Media FiO ₂ (%) | Desv. Estándar | Mínimo | Máximo |
|--|-----|----------------------------|----------------|--------|--------|
| Mascarilla con Bolsa Reservorio | 81 | 84.8% | 7.9 | 55.0% | 92.5% |
| Mascarilla Simple | 81 | 67.6% | 15.8 | 42.3% | 97.5% |
| Cánula Nasal (Todos los flujos) | 324 | 55.1% | 24.2 | 20.1% | 94.0% |

Distribución de FiO₂ traqueal por método de oxigenoterapia

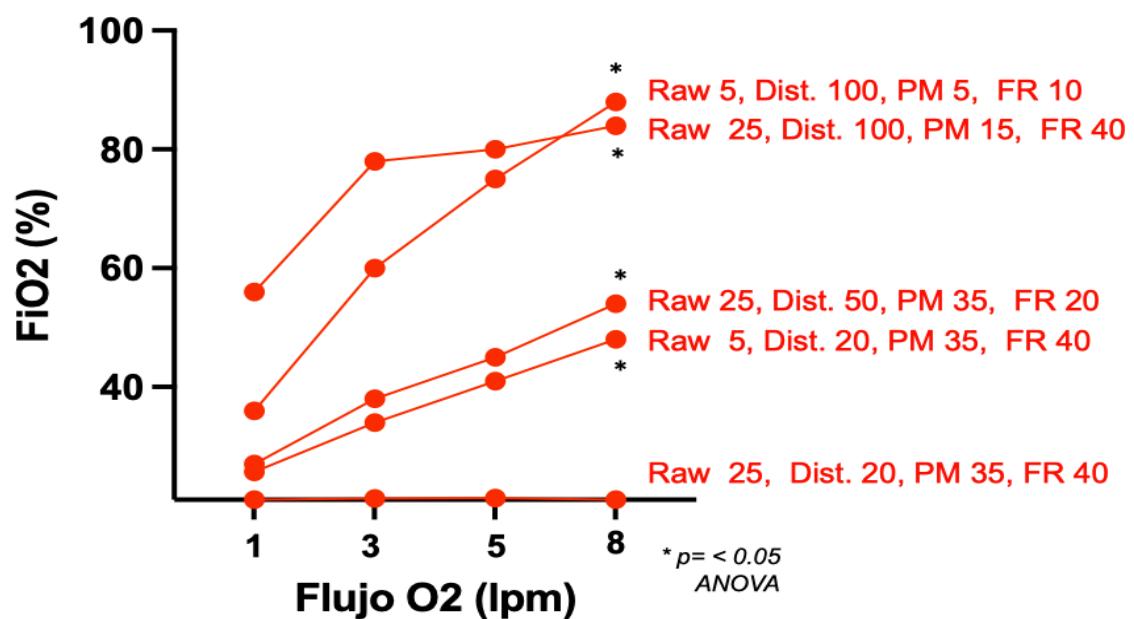


el metodo que produce más oxigenación es la mascarilla reservorio, pero nunca llega al 90% en el promedio.

Set de puntas nasales

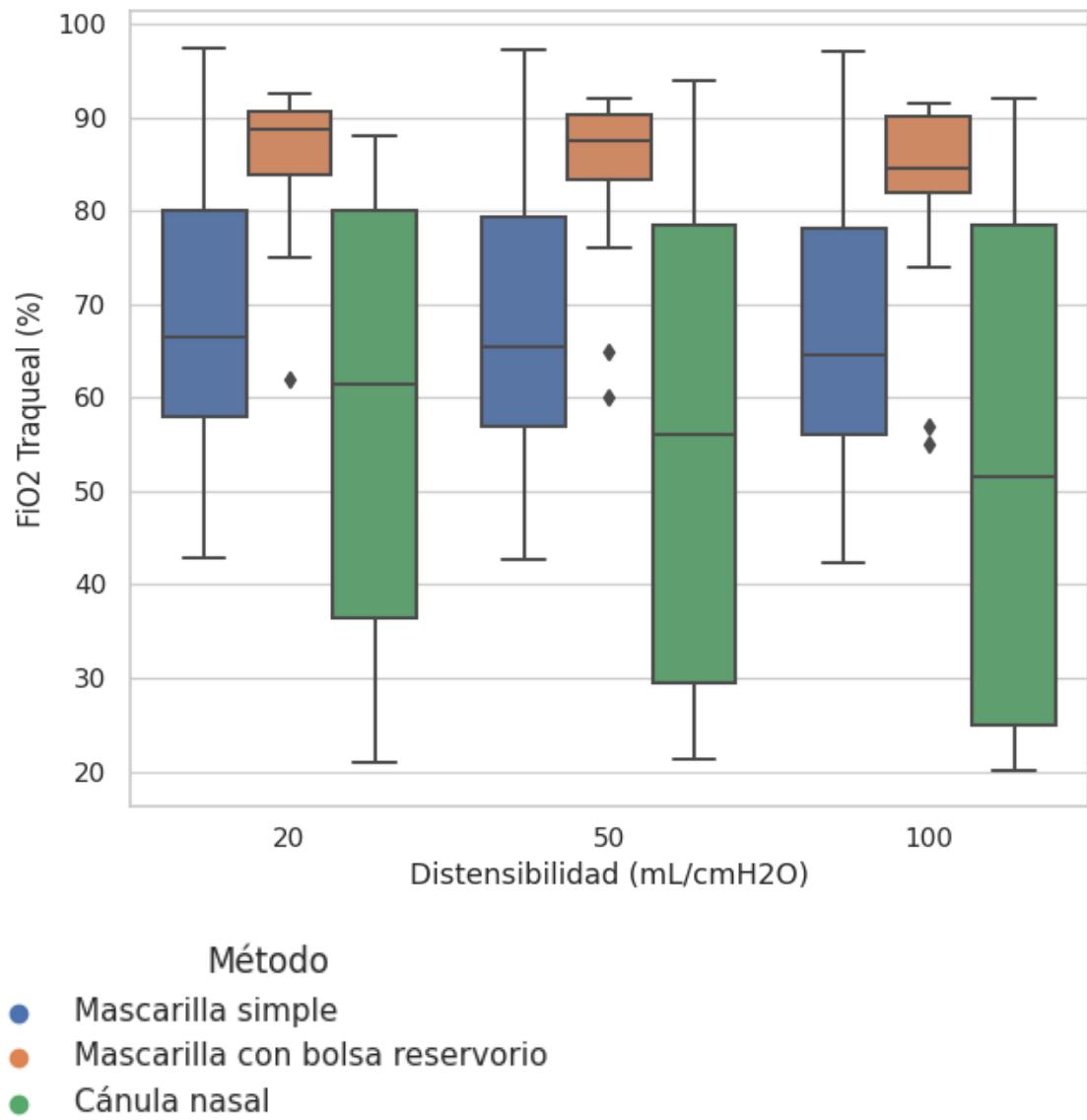
| Flujo (LPM) | Media FiO2 (%) | Desv. Estándar | Rango (Min - Max) |
|-------------|----------------|----------------|-------------------|
| 1 LPM | 43.5% | 21.3 | 20.1% - 81.0% |
| 3 LPM | 52.2% | 22.4 | 20.3% - 85.0% |
| 5 LPM | 59.4% | 23.3 | 20.5% - 88.0% |
| 8 LPM | 65.5% | 24.4 | 20.7% - 94.0% |

Resultados puntas nasales



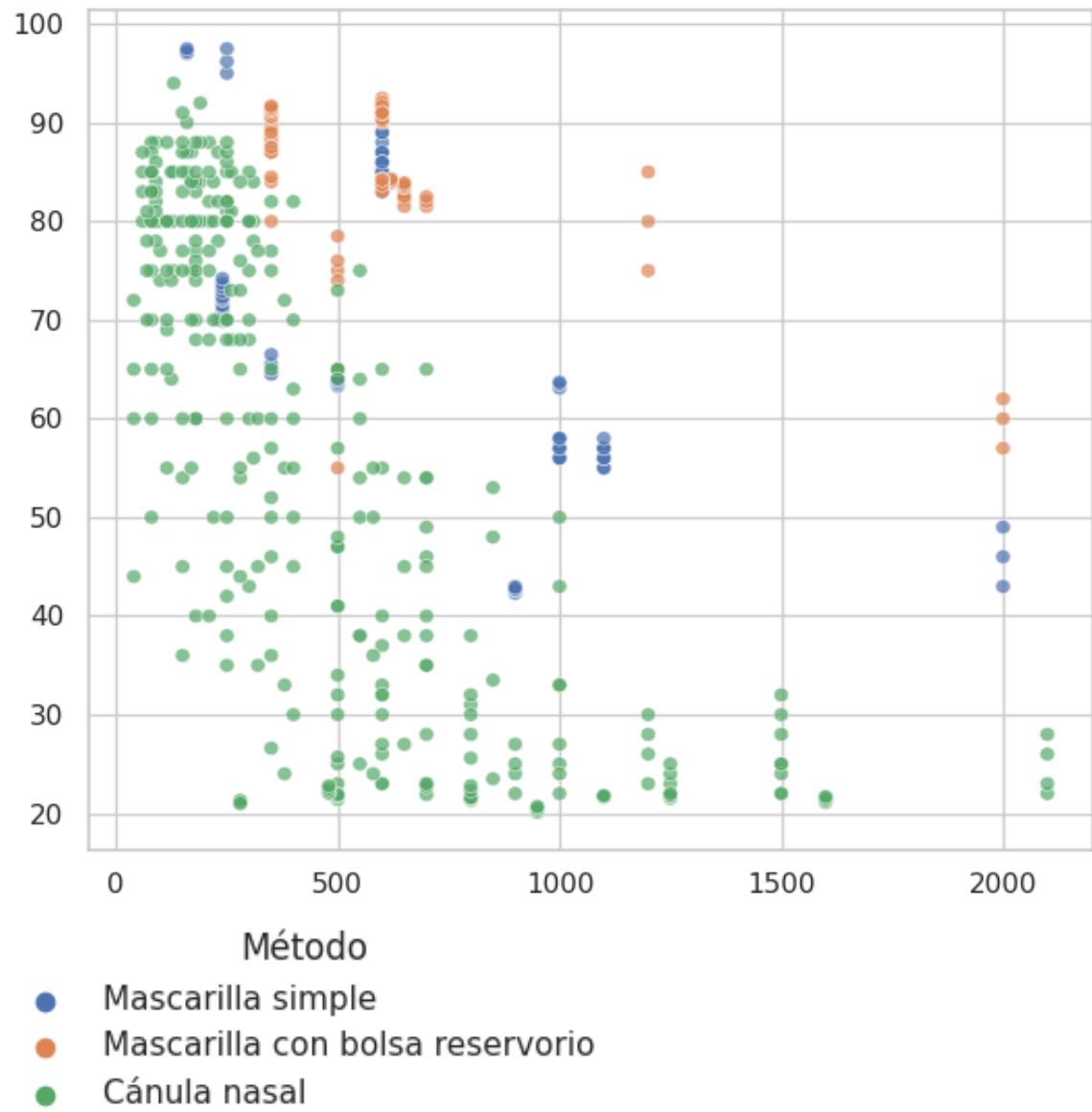
El método de puntas nasales muestran una gran variabilidad con extremos en ciertas condiciones de nunca subir la FiO2 traqueal de 21% a pesar de usar hasta 8 LPM de flujo. Por otra parte la FiO2 traqueal máxima puede ser hasta casi del 90% en ciertas condiciones de mecánica pulmonar y frecuencia respiratoria.

Efecto de distensibilidad



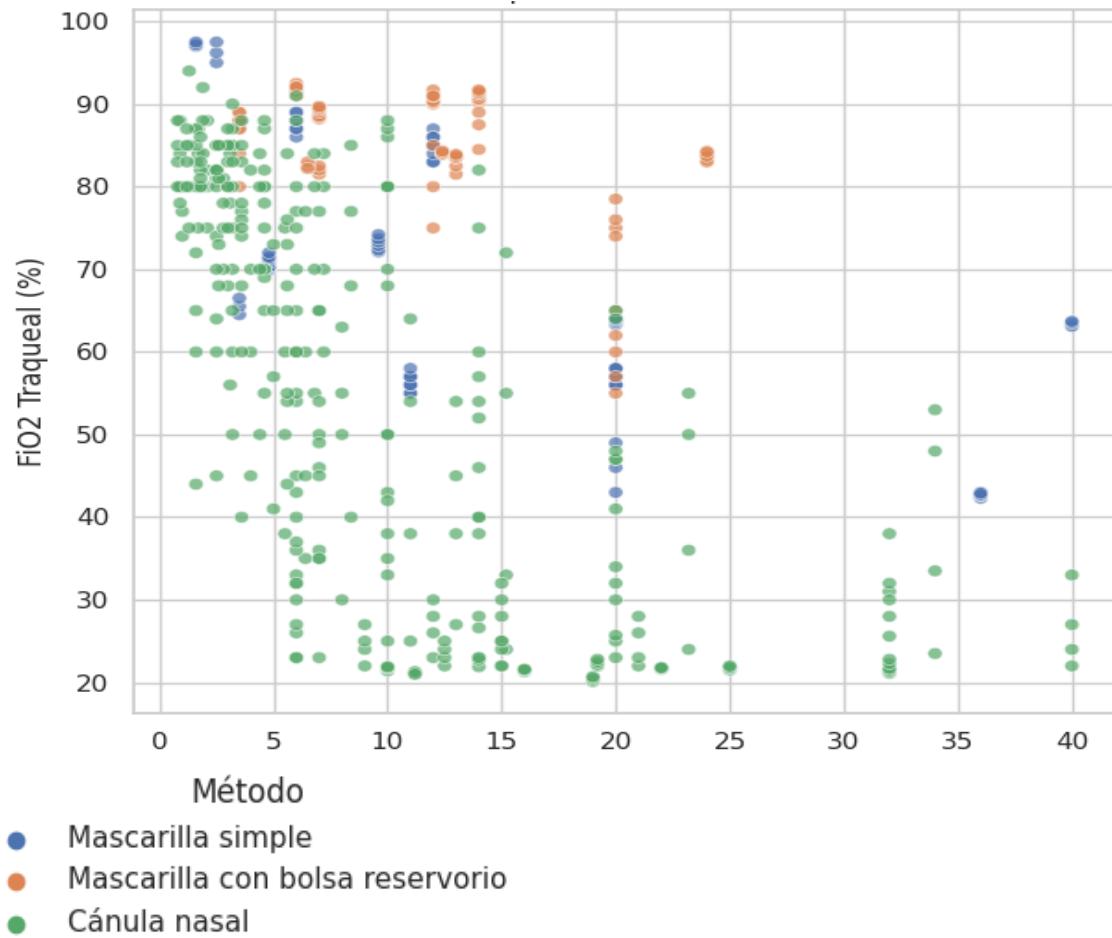
La distensibilidad pulmonar muestra una correlación negativa con la FiO2 traqueal y el efecto es más pronunciado en las puntas nasales. A mayor distensibilidad, menor FiO2 traqueal.

FiO2 traqueal vs volumen tidal



El volumen tidal disminuye la FiO2 traqueal al provocar mayor dilución con aire ambiente a los mismos flujos, y el efecto es más pronunciado en puntas nasales (en verde)

FiO₂ traqueal vs volumen minuto



El volumen minuto disminuye la FiO₂ traqueal al provocar mayor dilución con aire ambiente a los mismos flujos, y el efecto es más pronunciado en puntas nasales (en verde)

Correlaciones

| Variable | Coeficiente Pearson (r) | Valor p | Intervalo de Confianza (95%) |
|------------------------------|-------------------------|---------|------------------------------|
| Pmus (Presión Muscular) | -0.617 | < 0.001 | [-0.669, -0.558] |
| Flujo (LPM) | 0.540 | < 0.001 | [0.474, 0.601] |
| Volumen Tidal | -0.540 | < 0.001 | [-0.600, -0.474] |
| Volumen Minuto | -0.489 | < 0.001 | [-0.554, -0.418] |
| Resistencia (Raw) | 0.122 | 0.007 | [0.033, 0.208] |
| Distensibilidad | -0.078 | 0.088 | [-0.165, 0.012] |
| Frecuencia Respiratoria (RR) | -0.065 | 0.151 | [-0.153, 0.024] |

Las siguientes variables muestran correlaciones significativas ya sea positivas o negativas. Las excepciones son la distensibilidad y frecuencia respiratoria en las cuales no muestran una influencia significativa.

CAPITULO VII

DISCUSIÓN

Los hallazgos en este estudio de simulación confirman la hipótesis de trabajo: la fracción inspirada de oxígeno traqueal es variable y depende totalmente de las condiciones del paciente.

Este estudio es inédito y no hay reportes en la literatura del análisis de la mecánica pulmonar sobre el efecto que ejerce en el aporte de oxígeno en métodos de oxigenoterapia abiertos.

Al ser métodos en comunicación con el aire ambiente, cualquier condición que aumente el volumen (incluyendo cambios en la mecánica pulmonar), provocará mayor o menor dilución con aire ambiente generando una alta variabilidad en cada uno de los métodos siendo las puntas nasales el método mayormente afectado al ser el más abierto.

Es interesante que la frecuencia respiratoria aislada no fue significativa ($p=NS$). Esto refuerza que el "enemigo" de la oxigenoterapia de bajo flujo no es la taquipnea (respiración rápida) superficial, sino la polipnea (respiración profunda/voluminosa) que es la que realmente succiona aire ambiente y diluye la mezcla.

Las variables de esfuerzo y volumen (Pmusc, Volumen Tidal, Volumen Minuto) y la de tratamiento (Flujo) tienen valores de cambio significativos lo que significa que la relación encontrada no es fruto del azar; es un efecto real y robusto.

- La FiO_2 entregada al paciente NO es la FiO_2 del dispositivo
- La dilución inspiratoria es el mecanismo dominante:
 - Volúmenes inspirados pequeños
 - Pulmón rígido (Dist 30 o menor)

- Raw elevada
- Pmus baja
- Condiciones con baja demanda ventilatoria generan FiO₂ elevadas.
- El comportamiento coincide totalmente con pacientes reales

El taquipneico con trabajo respiratorio alto recibe muy poca FiO₂ con mascarilla.

El somnoliento o hipoventilado puede recibir FiO₂ sorprendentemente alta.

Las variaciones de compliance y resistencia modifican la FiO₂ de manera significativa.

CAPITULO VIII

CONCLUSIÓN

La variabilidad en la mecánica pulmonar (específicamente aquella que altera el volumen tidal y minuto, como la Pmus y la distensibilidad) genera fluctuaciones críticas en la FiO₂ entregada.

Los dispositivos de alto flujo con reservorio amortiguan parcialmente este efecto, pero los sistemas de bajo flujo (cánula nasal) son altamente vulnerables a la dilución por polipnea (aumento del volumen respiratorio).

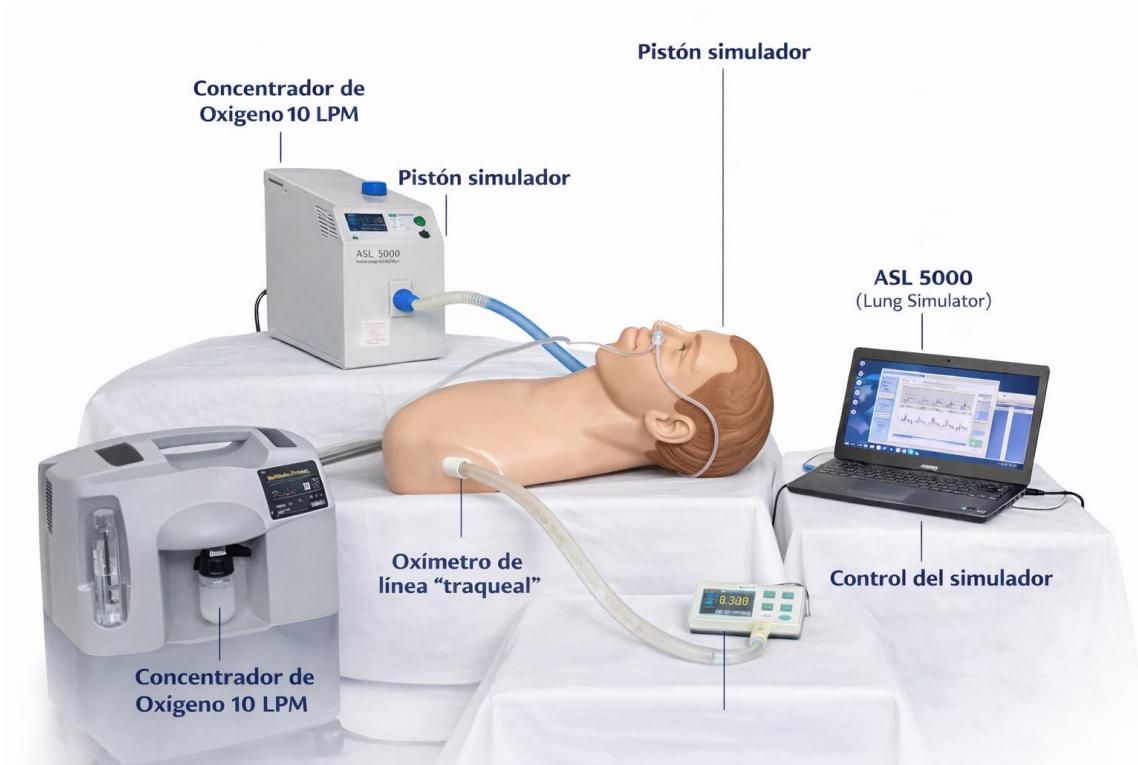
CAPITULO IX

ANEXOS

Tabla 1.

| Device | Flow Rates | Delivered O ₂ * |
|---|-------------|----------------------------|
| Nasal cannula | 1 L/min | 21%-24% |
| | 2 L/min | 25%-28% |
| | 3 L/min | 29%-32% |
| | 4 L/min | 33%-36% |
| | 5 L/min | 37%-40% |
| | 6 L/min | 41%-44% |
| Simple oxygen face mask | 6-10 L/min | 35%-60% |
| Face mask with O₂ reservoir (nonrebreathing mask) | 6 L/min | 60% |
| | 7 L/min | 70% |
| | 8 L/min | 80% |
| | 9 L/min | 90% |
| | 10-15 L/min | 95%-100% |
| Venturi mask | 4-8 L/min | 24%-40% |
| | 10-12 L/min | 40%-50% |

*Percentage is approximate.



| Variable | Tipo | Definición conceptual | Definición operacional | Categorías / Valores |
|--------------------------|---------------|--|--|--|
| Método de oxigenoterapia | Independiente | Dispositivo utilizado para administrar oxígeno suplementario en sistemas abiertos. | Tipo de dispositivo empleado en el modelo mecánico. | <ul style="list-style-type: none"> • Cánula nasal • Máscara simple • Máscara con reservorio |
| Flujo de oxígeno | Independiente | Cantidad de oxígeno suministrado en litros por minuto (L/min). | Regulación del flujo en el sistema de oxigenoterapia conectado al modelo mecánico. | Escalas de 1–15 L/min (según el dispositivo) |
| Mecánica pulmonar | Independiente | Condiciones de resistencia y complacencia pulmonar que | Configuración del simulador pulmonar (ASL 500). | <ul style="list-style-type: none"> • Normal • Restrictivo • Obstructivo |

| | | | | |
|---|--------------------------|---|--|---|
| | | simulan distintos estados respiratorios. | | |
| Esfuerzo muscular respiratorio | Independiente | Intensidad del trabajo respiratorio requerido para la ventilación espontánea. | Programación del simulador mecánico para diferentes esfuerzos. | <ul style="list-style-type: none"> • Bajo • Moderado • Alto |
| Frecuencia respiratoria (FR) | Independiente | Número de respiraciones por minuto. | Parámetro ajustado en el simulador mecánico. | <ul style="list-style-type: none"> • 12 rpm • 20 rpm • 30 rpm |
| Volumen corriente (VT) | Independiente | Volumen de aire inspirado en cada ciclo respiratorio. | Parámetro ajustado en el simulador mecánico (Fluxmed). | <ul style="list-style-type: none"> • Bajo (300 ml) • Normal (500 ml) • Alto (700 ml) |
| Fracción inspirada de oxígeno faríngea (FiO_2 faríngea) | Dependiente | Concentración de oxígeno medida en faringe durante la inspiración. | Medición con sensor de oxígeno en la faringe del maniquí. | Valor continuo (%) |
| Fracción inspirada de oxígeno traqueal (FiO_2 traqueal) | Dependiente | Concentración de oxígeno medida en tráquea durante la inspiración. | Medición con sensor de oxígeno en la tráquea del simulador. | Valor continuo (%) |
| Saturación de oxígeno estimada ($\text{SaO}_2/\text{SpO}_2$) | Dependiente (secundaria) | Grado de oxigenación arterial teórico en función de la FiO_2 administrada. | Estimada indirectamente a partir de las mediciones de FiO_2 . | Valor continuo (%) |
| Condiciones experimentales constantes | Control | Factores mantenidos fijos durante las mediciones. | Condiciones de laboratorio, maniquí, tipo de simulador y calibración de equipos. | Constantes en todas las pruebas |

CAPITULO X

BIBLIOGRAFIA

15. Referencias.

1. American Association for Respiratory Care (AARC). Clinical Practice Guideline. Oxygen therapy for adults in the acute care facility. *Respir Care* 2002; 47(6):717-720.
2. Allardet-Servent J, Forel JM, Roch A, Guervilly C, Chiche L, Castanier M, Embriaco N, Gainnier M, Papazian L. Definición de FiO₂ y síndrome de dificultad respiratoria aguda durante la ventilación pulmonar protectora. *Crit Care Med*. Enero de 2009; 37 (1):202-7, e4-6. [[PubMed](#)]
3. Allardet-Servent J, Sicard G, Metz V, Chiche L. Beneficios y riesgos de la oxigenoterapia durante enfermedades agudas: ¡Solo cuestión de dosis! *Rev Med Interne*. Octubre de 2019; 40 (10):670-676. [[PubMed](#)]
4. Markovitz GH, Colthurst J, Storer TW, Cooper CB. Concentración de oxígeno inspirado efectivo medida mediante análisis de gases transtracheales y orales. *Respir Care*. Abril de 2010; 55 (4):453-9. [[PubMed](#)]
5. Bateman NT, Leach RM. Terapia de oxígeno aguda. *Revista Médica Británica* 1998; 317: 798-801.
6. Tale of Two Cities: narrative review of oxygen Crossref DOI link: <https://doi.org/10.12688/f1000research.130592.2>
7. FiO₂ prediction formula during low flow oxygen therapy in an adult model: a bench study. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10877-023-01109-y>

8. Measurement of intratracheal oxygen concentrations during face mask administration of oxygen: a modification for improved control.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/1139385/>

9. Southmedic OxyMask(TM) compared with the Hudson RCI(®) Non-Rebreather Mask(TM): Safety and performance comparison.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4751967/pdf/cjrt-52-13.pdf>.

10. True intratracheal oxygen concentration delivered by SentriO Oxy™ masks under various respiratory conditions: a bench study.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s10877-023-01076-4>

CAPITULO XI

RESUMEN AUTOBIOGRÁFICO

Israel Sánchez Martínez

Candidato para el grado de sub- especialista en Medicina del enfermo en estado crítico.

TESIS:

“Fracción inspirada de oxígeno con diferentes métodos de oxigenoterapia con sistemas abiertos. Estudio en un modelo mecánico pulmonar in-vitro.”

Nacido en Huajuapan De León, Oaxaca, el 11 de Noviembre de 1982, hijo de Roberto Sánchez Guerrero y Gema María Martínez Ramírez.

Educación: en septiembre de 2004 inicio la carrera de médico cirujano en la Facultad de Medicina y cirugía de la Universidad Autonoma de Oaxaca, finalizando en Junio de 2009.

En junio de 2009 inicio el internado en la ciudad de Nueva rosita, Coahuila, finalizando en julio de 2010.

En agosto de 2010 inicio el servicio social finalizando en julio de 2011.

En marzo de 2021 inicio sus estudios de posgrado de especialización en Medicina de Urgencias avalado por la universidad de monterrey. Finalizando en febrero de 2024, en el hospital del ISSSTE constitución en Monterrey, Nuevo León, México.

En marzo de 2024 inicia sus estudios de posgrado en sub- especialización en medicina del enfermo en estado crítico, en el hospital universitario “Dr. José Eleuterio González” en Monterrey, Nuevo León, México.