

ARTÍCULO ORIGINAL

## Evaluación y Comparación de dos Sistemas de Cánula Nasal de Alto Flujo Artesanales

Cristián Rosales<sup>1</sup>, Ignacio Romero<sup>1</sup>, Felipe Palma<sup>2</sup>, Juan Castillo<sup>1</sup>, Francisco Salinas<sup>3</sup>, Juan Eduardo Lagos<sup>1</sup>, Sebastián Núñez<sup>1</sup>, Francisco Sfeir<sup>1</sup>

### Resumen

**Introducción:** Una de las estrategias principales de atención para los pacientes con infección por SARS-CoV2 es el soporte respiratorio, incluida la terapia de oxígeno para pacientes con hipoxemia, en la que se ha informado que la cánula nasal de alto flujo (CNAF) es efectiva para mejorar la oxigenación, existiendo reportes de disminución en la intubación en pacientes con insuficiencia respiratoria hipoxémica aguda, en comparación con dispositivos de oxigenoterapia convencional. Dada la falta de insumos y equipos durante el periodo de pandemia, han surgido diversas formas de construir de manera artesanal equipos de alto flujo. **Objetivo:** Medir y comparar dos sistemas de alto flujo artesanales, en relación con su rendimiento teórico, en la entrega real de flujo total y en concentración de oxígeno. **Métodos:** Se confeccionaron dos modelos de CNAF artesanales. El primer equipo (CNAF-A) se confeccionó utilizando 2 flujómetros de aire y un flujómetro de oxígeno unidos a un conector que recibe los flujos provenientes de los 3 flujómetros mencionados y cuya mezcla de aire pasa por un sistema de termo-humidificación. El segundo modelo (CNAF-B) se construyó usando un inyector de un equipo de oxigenoterapia de concentración variable (tipo "Venturi"), conectado a un flujómetro de oxígeno, en donde se realiza una mezcla con aire ambiental para entregar un flujo final y una concentración de oxígeno determinada. Se confeccionaron 10 equipos de cada modelo de sistema de CNAF artesanal. Se evaluó el flujo final y la concentración de oxígeno entregada por cada CNAF. Los resultados obtenidos fueron comparados con los valores teóricos que debiera entregar cada equipo de CNAF artesanal y se evaluó la correlación entre los valores medidos. **Resultados:** Se observó una baja correlación entre el flujo esperado teórico y el flujo medido. Resultados similares se encontraron al evaluar valores teóricos y medidos de concentración de oxígeno. El modelo CNAF-A demostró generar flujos mas altos de lo esperado logrando cumplir con niveles requeridos para considerarse un sistema de alto flujo. El sistema CNAF-B entregó flujos significativamente menores a los valores esperados. **Conclusiones:** Ambos modelos de CNAF presentan bajo nivel de concordancia con sus valores teóricos, tanto en la concentración de oxígeno como en el flujo entregado. Sin embargo, la CNAF-A se logra comportar como sistema de alto flujo. Un sistema de CNAF confeccionado con un sistema Venturi no es suficiente para generar terapia de alto flujo.

**Palabras claves:** Cánula nasal de alto flujo, COVID-19, Ventilación no invasiva

### Introducción

El COVID-19 es una enfermedad causada por el virus SARS-CoV-2, que pertenece a la familia de los Coronavirus, el cual genera infección del tracto respiratorio. El 31 de diciembre de 2019, la organización mundial de salud (OMS) en China informó sobre casos de neumonía de etiología desconocida detectados en la ciudad de Wuhan, ubicada en la provincia de Hubei. El 30 de enero 2020, la OMS declara que el brote de COVID-19 constituye una emergencia de salud pública de

importancia Internacional, y el 11 de marzo de 2020 se declara pandemia global, dada la alta propagación del virus a nivel mundial<sup>1</sup>.

En el mes de julio de 2020, en Chile hubo 330.183 casos de COVID-19 (295.532 con confirmación de laboratorio y 34.651 probables, sin confirmación de laboratorio)<sup>1</sup>. Aproximadamente el 14% de los casos desarrolla una enfermedad grave, la cual requiere hospitalización y oxigenoterapia, y el 5% evoluciona con un cuadro clínico de mayor

complejidad, que hace necesario su ingreso a una unidad de cuidados intensivos (UCI)<sup>2</sup>.

Una de las estrategias principales de atención para los pacientes con COVID-19 es el soporte respiratorio, incluida la terapia de oxígeno para pacientes con hipoxemia, en la que se ha informado que la cánula nasal de alto flujo (CNAF) es efectiva para mejorar la oxigenación<sup>3</sup>. Existen reportes de disminución en la tasa de intubación en pacientes con insuficiencia respiratoria hipoxémica aguda al usar esta terapia, en comparación con dispositivos de oxigenoterapia convencional<sup>4,5</sup>.

La oxigenoterapia de alto flujo consiste en el aporte de un flujo enriquecido de oxígeno superior al flujo pico inspiratorio del paciente, a través de una cánula nasal. El gas entregado al usuario se encuentra acondicionado con una adecuada humedad (humedad relativa [HR] del 95-100% y humedad absoluta [HA] de 44 mg/L) y temperatura (34-40°C)<sup>6</sup>. Si bien, este tipo de terapia logra ser entregada por medio de dispositivos específicos para dicha función (AirvO2<sup>®</sup>, VapoTherm<sup>®</sup>, por ejemplo), la falta de insumos para su implementación continua durante esta época de pandemia y la falta de acceso a este tipo de dispositivos por parte de algunos centros hospitalarios, han generado sistemas alternativos con contruidos con materiales disponibles en cada centro de salud.

Hoy en día, han surgido distintos sistemas de alto flujo de confección artesanal que han contribuido al manejo de la insuficiencia respiratoria aguda en pacientes con COVID-19 y que han permitido dar respuesta a su manejo<sup>7</sup>. Por este motivo que resulta sumamente importante poder valorar y conocer la precisión que tienen dichos dispositivos en la entrega de flujo y concentración de oxígeno, para poder ser considerados como una real alternativa a los dispositivos de alto flujo disponibles en el comercio. El objetivo de este estudio fue medir y comparar dos sistemas de alto flujo artesanales, en relación con su rendimiento teórico, en la entrega real de flujos y concentración de oxígeno.

## Materiales y método

En este estudio se fabricaron dos modelos de sistemas de alto flujo artesanales.

El primer tipo de modelo de cánula nasal de alto flujo artesanal (CNAF-A) fue confeccionado usando dos flujómetros de aire (marca Ohio<sup>®</sup> Medical Amvex<sup>®</sup> Thorpe, con flujo máximo por

cada flujómetro: 15 litros por minuto, LPM) para obtener un máximo de 30 litros por minuto (LPM). A estos flujómetros se le agregó un flujómetro de oxígeno, también con capacidad de flujo de 15 LPM. Los 3 flujómetros fueron conectados a un humidificador de sobrepaso (marca Fisher & Paykel, modelo MR 290), a través de un conector y corrugado específico (Figura 1). El humidificador contaba con base calefactora (marca Fisher & Paykel, modelo MR 850) y sistema de autollenado. A la salida del humidificador se instaló un corrugado con cable calefactor unido a ventilómetro y oxímetro de línea (Figura 1).

El segundo modelo de CNAF artesanal (CNAF-B), fue confeccionado usando flujómetro de oxígeno conectado a un inyector de un equipo de oxigenoterapia de concentración variable (marca Hudson<sup>®</sup>), con el cual se puede programar una concentración de oxígeno y un flujo final determinado. El inyector fue conectado a un humidificador de sobrepaso de forma similar a CNAF-A (Figura 1).

Para realizar las mediciones de concentración de oxígeno y flujo, se utilizó un oxímetro ambiental (marca Maxtec<sup>®</sup>, modelo MaxO2+AE) y un ventilómetro de Wright (Haloscale Standard, Spire<sup>®</sup>). El oxímetro fue calibrado previo a su uso. Se utilizaron corrugados calefaccionados (Fisher & Paykel<sup>®</sup>, modelo RT204). Se confeccionaron y evaluaron 10 equipos de cada modelo de sistema oxigenoterapia de alto flujo artesanales.

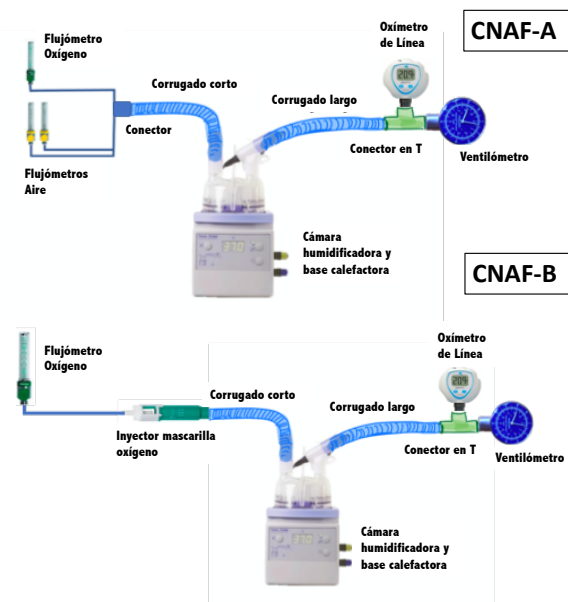


Figura 1. Esquema de CNAF artesanales evaluadas, y el sistema de medición de concentración de oxígeno y flujo.

Cada modelo de equipo (CNAF-A y CNAF-B) se evaluó con distintas concentraciones de oxígeno y flujos (Tabla 1).

En total, se midieron 10 equipos con 6 configuraciones de aire/oxígeno en la CNAF-A (60 mediciones en total) y 10 equipos con 9 configuraciones aire/oxígeno (90 mediciones total) en la CNAF-B. Entre cada una de las mediciones de flujo y concentración de oxígeno, se realizó un lavado (*wash-out*) del circuito con aire comprimido durante 1 minuto, para eliminar cualquier reservorio de oxígeno que se pudiera haber generado en el circuito.

Para comparar diferencias y concordancia entre las CNAF utilizadas y los valores esperados, se

calculó un valor promedio de las mediciones de los 10 equipos testeados para cada configuración de mezcla de gases. Este valor promedio fue comparado con el valor esperado mediante una prueba estadística de Wilcoxon para datos pareados. Se estableció un valor de  $p < 0.05$  como estadísticamente significativo. Como análisis secundario, se evaluó la concordancia entre los valores estimados y medidos a través del coeficiente de correlación de concordancia (CCC) de Lin. Este test evalúa el grado de acuerdo que existe entre ambos valores, en donde un CCC sobre 0.9 indica un óptimo nivel de acuerdo<sup>8</sup>. Todos los análisis estadísticos se realizaron en el programa Stata 14/IC.

**Tabla 1. Comparación de concentración de O<sub>2</sub> y flujo aéreo entre valores teóricos esperados y medidos. Los valores medidos corresponden al valor promedio de las diferentes mezclas de gases de 10 dispositivos distintos. Valores positivos de diferencia indican una sobreestimación de los valores esperados.**

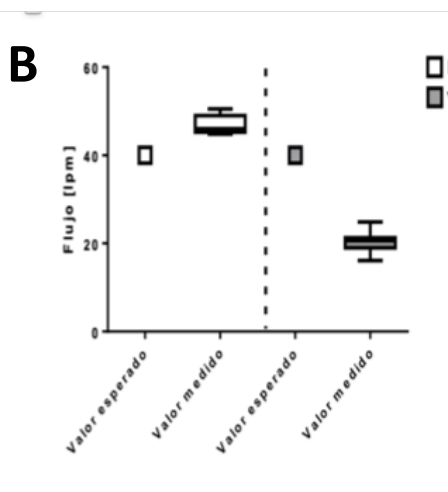
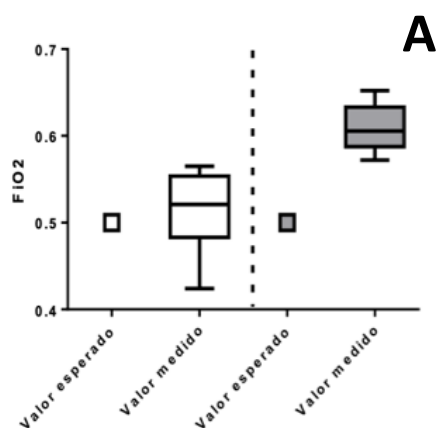
|                                 | Concentración de oxígeno (%) |              |            |           | Flujo (Lmin <sup>-1</sup> ) |              |            |         |
|---------------------------------|------------------------------|--------------|------------|-----------|-----------------------------|--------------|------------|---------|
|                                 | Valor esperado               | Valor medido | Diferencia | p-value   | Valor esperado              | Valor medido | Diferencia | p-value |
| <b>CNAF-A</b>                   |                              |              |            |           |                             |              |            |         |
| 15 L O <sub>2</sub> + 30 L aire | 47,0                         | 48,3         | 1,3        | P<0,0277* | 45,0                        | 51,1         | 6,1        | 0,0277* |
| 15 L O <sub>2</sub> + 25 L aire | 50,0                         | 52,2         | 1,2        |           | 40,0                        | 46,6         | 6,6        |         |
| 15 L O <sub>2</sub> + 20 L aire | 54,0                         | 56,9         | 2,9        |           | 35,0                        | 41,8         | 6,8        |         |
| 10 L O <sub>2</sub> + 30 L aire | 40,0                         | 43,5         | 2,8        |           | 40,0                        | 45,9         | 5,9        |         |
| 10 L O <sub>2</sub> + 25 L aire | 43,0                         | 46,9         | 3,9        |           | 35,0                        | 41,2         | 6,2        |         |
| 10 L O <sub>2</sub> + 20 L aire | 47,0                         | 49,8         | 3,5        |           | 30,0                        | 33,9         | 5,9        |         |
| <b>CNAF-B</b>                   |                              |              |            |           |                             |              |            |         |
| 50% (12 L O <sub>2</sub> )      | 50,0                         | 60,9         | 10,9       | 0,0077*   | 30,0                        | 25,9         | 4,1        | 0,0077* |
| 40% (9 L O <sub>2</sub> )       | 40,0                         | 61,7         | 21,7       |           | 35,0                        | 20,1         | 14,9       |         |
| 35% (9 L O <sub>2</sub> )       | 40,0                         | 59,5         | 19,5       |           | 40,0                        | 20,4         | 19,6       |         |
| 50% (15 L O <sub>2</sub> )      | 50,0                         | 62,1         | 12,1       |           | 40,0                        | 31,5         | 8,5        |         |
| 26% (3 L O <sub>2</sub> )       | 26,0                         | 39,3         | 13,3       |           | 45,0                        | 19,7         | 25,3       |         |
| 24% (3 L O <sub>2</sub> )       | 26,0                         | 38,2         | 12,2       |           | 50,0                        | 16,0         | 34,0       |         |
| 35% (12 L O <sub>2</sub> )      | 40,0                         | 58,7         | 18,7       |           | 50,0                        | 27,3         | 22,7       |         |
| 30% (6 L O <sub>2</sub> )       | 28,0                         | 40,9         | 12,9       |           | 60,0                        | 31,3         | 28,7       |         |
| 35% (15 L O <sub>2</sub> )      | 40,0                         | 56,5         | 16,5       |           | 60,0                        | 35,6         | 24,4       |         |

\* p-value <0.05 en prueba de Wilcoxon, indicando diferencias estadísticamente significativas.

## Resultados

Se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los valores esperados y medidos en ambos modelos de CNAF, tanto para la medición de la concentración de oxígeno como para el flujo entregado. Sin embargo, los resultados fueron disímiles para los dos modelos de CNAF. En el modelo CNAF-A, los valores de flujo y

concentración de oxígeno medidos fueron significativamente mayores a los valores teóricos calculados. En el CNAF-B también se observaron valores de concentración de oxígeno significativamente más altos de lo esperado, sin embargo, los valores de flujo medidos fueron significativamente menores a los valores teóricos (tabla 1).



**Figura 2.** Ejemplo de comparación entre valores esperados y medidos de concentración de oxígeno (A) y flujo de aire (B). En blanco, valores de CNAF “A”. En gris, valores de CNAF “B”.

En cuanto al análisis de concordancia por el CCC, los resultados de este test arrojaron un valor para la CNAF-A de 0.823 para la comparación de concentración de oxígeno, y de 0.587 para la comparación de flujos. Por otro lado, los resultados de concordancia del modelo CNAF-B fue de 0.391 para la comparación de concentración de oxígeno y 0.099 para la comparación de flujos.

Por último, para graficar las diferencias entre ambos sistemas artesanales de alto flujo, se realizó un diagrama de caja bigote (figura 2) para mostrar de manera gráfica las diferencias y la subestimación de los valores teóricos de flujos y concentración de oxígeno del sistema A y la subestimación de concentración de oxígeno con sobrestimación de los flujos teóricos del sistema B.

## Discusión

En base a los resultados, se puede observar que ambos modelos de CNAF artesanales presentan diferencias significativas entre los valores esperados y los medidos. Sin embargo, se observa claramente que el modelo CNAF-B presenta una menor concordancia en comparación a la del sistema CNAF-A.

Para el caso de la concentración de oxígeno, tanto el modelo CNAF-A como CNAF-B los valores medidos fueron superiores a los teóricos calculados. Para la categoría de flujo, en el modelo CNAF-A se observó un valor de flujo medido mayor al flujo teórico calculado. Este modelo de CNAF artesanal, como supera las expectativas de flujo programado, logra asegurar una terapia de alto flujo, a pesar de no contar con una adecuada monitorización de la terapia entregada. Cabe destacar que, en condiciones de escasez de equipos, podría ser una alternativa efectiva a los equipos de CNAF de uso comercial. Es importante considerar que el costo estimado de este modelo de CNAF artesanal es inferior al de los equipos comercialmente disponibles (AIRVO<sup>®</sup> 2, Respicare<sup>®</sup>, Vapotherm<sup>®</sup>).

Por otra parte, en el modelo de CNAF-B, los valores de flujo medidos fueron significativamente menores a los teóricos calculados. Si bien, la concentración de oxígeno de ambos sistemas no tiene una alta concordancia con los valores que señalaban de manera teórica, en ambos sistemas fueron valores mayores a lo esperado. Desde un punto de vista clínico, estos equipos no pondrían a un paciente en riesgo de hipoxemia, sin embargo, lo podría someter a niveles más altos de oxígeno, incluso, podría estar sobre-estimándose el efecto del equipo. Probablemente, es en el sistema B donde se observa un problema con relevancia clínica, ya que este modelo de CNAF artesanal genera flujos mucho más bajo de lo esperado, por lo cual no podría ser considerado un sistema de alto flujo. El modelo CNAF-B, al actuar como sistema de bajo flujo, no sería capaz de satisfacer las demandas ventilatorias de los pacientes, y los obligaría a inspirar aire ambiental, generando una concentración de oxígeno menor y más variable. Por esta razón, este modelo podría ser descartado como una alternativa eficiente.

Una de las causas que podría explicar el déficit en la entrega de flujo, es que los sistemas de inyectores utilizados no están diseñados para funcionar contra grandes resistencias, como las que

generaría estos sistemas a nivel de la misma cánula nasal. Este aumento de resistencia no es compensado por el equipo, y el flujo final generado por el equipo disminuye significativamente. Este mismo efecto generado por la resistencia al paso del gas podría estar explicando las concentraciones de oxígeno medidas más altas: al no generarse un efecto Bernoulli óptimo, el inyector genera menos succión de aire ambiental, aumentando la concentración de oxígeno entregada, ya que la mezcla del oxígeno se realiza con una menor cantidad de aire ambiental. Vale la pena recordar que una concentración de oxígeno alta, pero con un flujo bajo, no podrá generar una concentración de oxígeno constante ni suficiente.

Una limitación del estudio fue la incapacidad de medir los parámetros de flujo y concentración de oxígeno directamente desde la cánula nasal, esto debido a la dificultad para encontrar una conexión confiable para la medición. Además, la misma cánula podría afectar los flujos entregados, debido a que la reducción de su diámetro aumentaría aun más la resistencia.

## Conclusión

La confección de sistemas de CNAF artesanales podría ser una alternativa de uso a los equipos tradicionales, si se consideran los aspectos técnicos de los componentes utilizados y se realiza una adecuada monitorización de su rendimiento. Un sistema artesanal conformado por flujómetros de aire y oxígeno parece ser un sistema confiable y seguro para la administración de oxigenoterapia de alto flujo. Por otra parte, la incapacidad de entregar un flujo confiable, hace que los sistemas confeccionados con inyectores de oxigenoterapia no sean seguros y, por lo tanto, no se recomienda su uso. Se hace necesario el desarrollo de nuevos estudios que evalúen la respuesta de un paciente real a estos equipos.

## Financiamiento

Este proyecto no cuenta con financiamiento

## Conflicto de interés

Los autores declaran no tener conflicto de interés

## Detalles de los autores

- <sup>1</sup> Clínica Universidad de los Andes, Santiago, Chile.
- <sup>2</sup> Laboratorio Integrativo de Biomecánica y Fisiología del Esfuerzo, Universidad de los Andes, Santiago, Chile.
- <sup>3</sup> Instituto Nacional del Tórax, Santiago, Chile.

## Correspondencia a:

Cristián Rosales

Email: carosales@miuandes.cl

Dirección: Av los leones 2000 depto 503<sup>a</sup>

**Recibido:** Septiembre 2020

**Publicado:** Diciembre 2020

## Referencias

1. Epidemiología D de. Informe epidemiológico. MINSAL. 2020;31.
2. Cinesi Gómez C, Peñuelas Rodríguez Ó, Luján Torné M, Egea Santaolalla C, Masa Jiménez JF, García Fernández J, et al. Clinical consensus recommendations regarding non-invasive respiratory support in the adult patient with acute respiratory failure secondary to SARS-CoV-2 infection. *Med Intensiva*. 2020;(xx).
3. Li J, Fink JB, Ehrmann S. High-flow nasal cannula for COVID-19 patients: low risk of bio-aerosol dispersion. *Eur Respir J [Internet]*. 2020;55(5).
4. Rochweg B, Granton D, Wang DX, Helviz Y, Einav S, Frat JP, et al. High flow nasal cannula compared with conventional oxygen therapy for acute hypoxemic respiratory failure: a systematic review and meta-analysis. *Intensive Care Med [Internet]*. 2019;45(5):563–72.
5. Li J, Jing G, Scott JB. Year in Review 2019: High-Flow Nasal Cannula Oxygen Therapy for Adult Subjects. *Respir Care*. 2020 Apr;65(4):545–57.
6. Pilar Orive FJ, López Fernández YM. Oxigenoterapia de alto flujo. *An Pediatr Contin*. 2014;12(1):25–9.
7. Arellano S D. Guía Recomendaciones Uso Cánula Nasal de Alto Flujo en Pacientes COVID-19. Sociedad Chilena de Medicina Intensiva, 2020.
8. Lin LI-K. Assay Validation Using the Concordance Correlation Coefficient. *Biometrics* 1992; 19;48(2):599–604.