

Artículo original de Investigación

Monitoreo ambiental de concentración de aire saturado y partículas PM2.5 para la prevención de la Salud Ocupacional en la Ciudad de Potosí a 4000m.s.n.m.

Environmental monitoring of saturated air concentration and PM2.5 particles for the prevention of Occupational Health in the City of Potosí at 4000m.a.s.l.

Roberto Carlos Vera *, Holger Chirveches S **, José Ricaldi P ***

* Director del Instituto de Investigación, Universidad Autónoma Tomás Frías, Facultad de Medicina, Potosí, Bolivia. ORCID 0000-0002-3335-9832

** Docente de Fisiología, Universidad Autónoma Tomás Frías, Facultad de Medicina, Potosí, Bolivia.

*** Docente de Embriología y Genética. Universidad Autónoma Tomás Frías, Facultad de Medicina, Potosí, Bolivia. ORCID 0000-0002-7032-9093

robertormc@gmail.com

Resumen.

Introducción: Desde 2019, con el hallazgo de la nueva pandemia SARS-CoV-2, denominado como el COVID-19 (coronavirus), la población mundial se ha sometido a diferentes procesos de aislamiento y/o cuarentena por el desconocimiento total de esta pandemia. El conocimiento de los científicos, llegaron a mencionar que este virus, puede producir cuadros leves como: el resfriado común o cuadros graves, como ocurre con el virus del síndrome respiratorio de Medio Oriente (MERS), el SARS-CoV-1 y el SARS-CoV-2, causante de la enfermedad por coronavirus (CDC, 2020). Si bien este virus se lo conoce como una enfermedad respiratoria potencialmente grave, descubierta en la ciudad de Wuhan, en la provincia de Hubei (China) a fines del 2019. Desde entonces, esta se ha diseminado por todas las regiones del planeta donde a finales de enero del 2020, la Organización Mundial de la Salud (OMS), declaró el brote como emergencia de salud pública de importancia internacional. Es así de esta manera que muchos países y ciudades, han evidenciado la gran letalidad que tiene esta pandemia, donde su forma de contagio es muy diferente entre cada región del planeta, debido a la cultura de la actual sociedad en el cual vivimos.

Objetivo: Desarrollar monitoreo ambiental de la concentración de aire saturado y partículas PM2.5 para la prevención de la Salud Ocupacional en la Ciudad de Potosí a 4000m.s.n.m.

Material y métodos: Se realizó una investigación aplicada, un estudio explicativo, experimental y prospectivo para el monitoreo ambiental de concentración de aire saturado y partículas PM2.5 para la prevención de la Salud Ocupacional en la Ciudad de Potosí a 4000m.s.n.m.

Resultados: Los resultados demuestran, el elevado riesgo ambiental que tiene el personal de salud, considerando que los ambientes de confort climático están en el rango del 45% al 70%, evidenciando cuantitativamente que los niveles son superiores a este, donde el riesgo de contagio por el COVID-19 es mayor.

Conclusiones: Las nubes de aire concentradas densamente o saturadas son un vector principal que tiene una alta probabilidad de transportar y alojar al virus SARS Cov 2 por esta vía aérea. Dentro de los recintos sanitarios el de más riesgo son los ambientes de odontología y de emergencia, en dichas áreas la falta de extractores y mecanismos de ventilación son muy bajos. Los brotes epidémicos son mucho más vulnerables donde el hacinamiento de personas es denso en horas pico, lo que origina un mayor riesgo para que el virus se transmita mediante los aerosoles que se generan en estos ambientes. Las personas sintomáticas son quienes, principalmente, transmiten la enfermedad COVID-19, pero, por otro lado, quienes están a punto de presentar síntomas también son vectores de propagación del virus. La evidencia de este estudio muestra que las personas que nunca presentan síntomas también pueden contagiar el virus a otros, esto es debido a que el transporte de nubes de aire puede adherirse a las prendas y/o al sistema biológico para luego ser expulsadas

con la diferencia de temperatura a otras áreas donde las personas son vulnerables para contraer la sintomatología del COVID-19.

Palabras clave: Partículas finas, nube de aire, aerosol, salud ocupacional, aire saturado.

Abstract.

Introduction: Since 2019, with the discovery of the new SARS-CoV-2 pandemic, known as COVID-19 (coronavirus), the world's population has undergone different processes of isolation and/or quarantine by the total unknownness of this pandemic. Scientists' knowledge went so far as to mention that this virus can produce mild pictures such as: the common cold or severe tables, as is the case with Middle East Respiratory Syndrome (MERS) virus, SARS-CoV-1 and SARS-CoV-2, which cause coronavirus disease (CDC, 2020). Although this virus is known as a potentially serious respiratory disease, discovered in Wuhan City, Hubei Province, China, in late 2019. Since then, it has spread throughout all regions of the globe where at the end of January 2020, the World Health Organization (WHO) declared the outbreak an international public health emergency. This is how many countries and cities have demonstrated the great lethality of this pandemic, where its form of contagion is very different between each region of the planet, due to the culture of the current society in which we live.

Objective: Develop environmental monitoring of the concentration of saturated air and PM2.5 particles for the prevention of Occupational Health in the City of Potosí at 4000m.s.n.m.

Material and methods: Applied research, an explanatory, experimental and prospective study was carried out for the environmental monitoring of saturated air concentration and PM2.5 particles for the prevention of Occupational Health in the City of Potosí at 4000m.s.n.m.

Results: The results show that the high environmental risk of health personnel, considering that climate comfort environments are in the range of 45% to 70%, quantitatively showing that levels are higher than this, where the risk of COVID-19 contagion is higher.

Conclusions: Densely concentrated or saturated air clouds are a major vector that has a high probability of transporting and hosting the SARS Cov 2 virus by this airway. Within the health facilities the most at risk are the dental and emergency environments, in these areas the lack of extractors and ventilation mechanisms are very low. Outbreaks are much more vulnerable where overcrowding of people is dense at peak times, leading to an increased risk for the virus to be transmitted through aerosols generated in these environments. Symptomatic people mainly transmit COVID-19 disease, but on the other hand, those who are about to develop symptoms are also vectors of spread of the virus. Evidence from this study shows that people who never develop symptoms may also spread the virus to others, this is because the transport of air clouds can adhere to clothing and/or the biological system and then be expelled with the temperature difference to other areas where people are vulnerable to contracting COVID-19 symptomatology.

Keywords: Fine particles, air cloud, aerosol, occupational health, saturated air.

Recibido: 16-02-2021

Revisado: 07-3-2021

Aceptado:15-03-2021

Introducción.

Desde 2019, con el hallazgo de la nueva pandemia SARS-CoV-2, denominado como el COVID-19 (coronavirus), la población mundial se ha sometido a diferentes procesos de aislamiento y/o cuarentena por el desconocimiento total de esta pandemia. El conocimiento de los científicos, llegaron a mencionar que este virus, puede producir cuadros leves como: el resfriado común o cuadros graves, como ocurre con el virus del

síndrome respiratorio de Medio Oriente (MERS), el SARS-CoV-1 y el SARS-CoV-2, causante de la enfermedad por coronavirus (CDC, 2020). Si bien este virus se lo conoce como una enfermedad respiratoria potencialmente grave, descubierta en la ciudad de Wuhan, en la provincia de Hubei (China) a fines del 2019. Desde entonces, esta se ha diseminado por todas las regiones del planeta donde a finales de enero del 2020, la Organización Mundial de la Salud (OMS), declaró el brote como emergencia de salud pública de importancia internacional. Es así de esta manera que muchos países y ciudades, han evidenciado la gran

letalidad que tiene esta pandemia, donde su forma de contagio es muy diferente entre cada región del planeta, debido a la cultura de la actual sociedad en el cual vivimos.

Por lo tanto, la historia de este hito que atravesamos, nos evidencia que varios países desarrollados creían que la contingencia de sus planes de salud funcionaba de la mejor manera, tanto así que minimizaron las medidas de contingencia, esencialmente en la sociedad por diferentes factores socio-económicos (DW, 2020). Este último teniendo la conciencia del grado de contagio que tiene este virus, donde fisiológicamente el pico de la carga viral en muestras nasofaríngeas ocurre durante los primeros 5 a 6 días tras el inicio de los síntomas y prácticamente desaparece después del día 10. Además, se consideran que en algunos pacientes se detectan virus no viables en cultivos durante más tiempo, a los que se les considera como una baja capacidad de contagio (WHO, 2020). Por esta razón, el desconocimiento de la celeridad que se tiene del coronavirus son muy desconocidos a pesar que hasta la fecha se siguen realizando estudios, profundizando la acción de conocer con más detalle la dinámica de la transmisión, considerando que el contagio disminuye progresivamente, más rápido en los casos con evolución favorable, hasta llegar a un mínimo posible de desaparecer (Peng Zhou et al, 2020), donde las acciones de secuelas pueden ser una variante con el tiempo.

Si bien hasta la fecha se han travesado por muchas medidas de prevención que siguen vigentes para el cuidado del sistema inmunitario, aún no se comprende completamente el grado de letalidad de propagación y mutación del virus COVID-19, donde la inestabilidad de los factores de contagio se enmarca en las aglomeraciones de la sociedad, aunque hay evidencia limitada de que las personas que atravesaron esta enfermedad, confieren inmunidad contra la reinfección, al menos temporalmente. Sin embargo, las acciones climatológicas y geográficas, juegan un rol importante para el nivel de riesgo del contagio del COVID-19 donde los días fríos, como la calidad de aire son factores que aumentan el riesgo de ser contagiados (Rosas Arango, Del Ángel-Caraza, & Soriano-Varga, 2020).

Sin embargo, los análisis de riesgo sanitarios se fueron empleando con más énfasis en algunas regiones que otras, tomando en cuenta que este virus se está propagando de persona a persona por gotas respiratorias y aerosoles de personas

infectadas, transmitidas directamente o mediante manos o fómites en contacto con las mucosas del receptor. Donde científicamente queda demostrado que: la estabilidad del SARS-CoV-2 es similar a la del SARS-CoV-1 en los diferentes materiales, es decir que este virus tiene características propias de sí misma donde se pueden suspender hasta 3 horas en aerosoles, hasta 4 en cobre, hasta 24 en cartón y hasta 2 o 3 días en acero inoxidable y plástico, aunque la vida media estimada en acero inoxidable y en plástico es de 5,6 y 6,8 horas, respectivamente (van Doremalen, et al 2020). Estas condiciones nos demuestran que el virus puede tener mayor riesgo en áreas donde los aerosoles se concentran más, es decir; que las condiciones medioambientales de las distintas regiones del planeta pueden presentar diferentes condiciones fisiológicas, especialmente en aquellas regiones de altura como es el caso del altiplano boliviano, donde los beneficios geográficos y meteorológicos de esta región puede tener un gran aporte para el cuidado y protección del individuo, ya que existen parámetros significativos de los estudios realizados a gran altura (Zubieta-Calleja & Zubieta-DeUrioste, 2021) .

En este inicio de gestión 2021, la aparición de la mutación del virus COVID-19, es algo que ya se tenía un conocimiento epidemiológico, donde históricamente las mutaciones son un evento natural y esperado dentro del proceso de evolución de los virus. Desde la caracterización genómica inicial del SARS-CoV-2 (COVID-19), este virus se ha dividido en diferentes grupos genéticos o clados, de hecho, algunas mutaciones específicas definen los grupos genéticos virales (también denominados linajes) que circulan actualmente a nivel global (Figura 1). Es importante mencionar, que la denominación de clado, linaje, variante, etc., son arbitrarias y no corresponden a una jerarquía taxonómica oficial (OPS, 2021), sin embargo estos términos facilitan el tecnicismo científico para evaluar los riesgos de este proceso.

Figura 1. Distribución geográfica de las variantes genéticas de SARS-CoV-2



Fuente: GISAID. <https://bit.ly/3qA9nXI>, el 15 de febrero del 2021.

Es evidente que la descripción científica muestra que: hasta el 25 de enero de 2021, fuera de Sudáfrica, 30 países de cinco de las seis regiones de la OMS han notificado casos de variante 501Y.V2, cifra que representa 7 países adicionales desde la publicación de la Actualización Epidemiológica Ocurrencia de variantes de SARS-CoV-2 en las Américas. Profundizando las investigaciones epidemiológicas y virológicas para seguir evaluando la transmisibilidad, gravedad, riesgo de reinfección y respuesta de anticuerpos a estas nuevas variantes, así como el impacto potencial sobre las medidas de salud pública, incluidos el diagnóstico, el tratamiento y las vacunas (OPS, 2021). También es importante señalar que se han detectado tres nuevas variantes en 20 países de las Américas, generando preocupación sobre el posible incremento de las transmisiones. Es así que la Directora de la Organización Panamericana de la Salud (OPS), Carissa F. Etienne, menciona: que más de 1.8 millones de personas en las Américas se infectaron de la COVID-19 y más de 47 mil murieron. En América del Norte las infecciones por COVID-19 disminuyen en los Estados Unidos y Canadá, mientras que en México los casos y las muertes continúan aumentando (OPS, 2021).

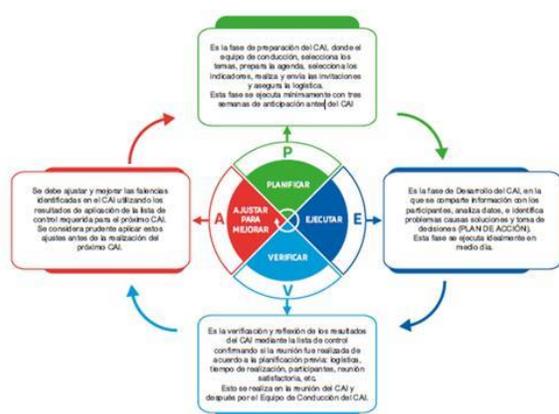
Esta evidencia nos afirma que los grados de contagio de esta pandemia, seguirán incrementando por las distintas razones de mutación genética, a esto debemos introducir los factores de riesgo ambiental donde el análisis de este último predetermina la celeridad del contagio o propagación del virus en el aire. Es así que desde mediados del año 2020, los estudios se concentraron en la propagación del virus, tomando en cuenta que el número de gotas dentro de la clase de aerosol en relación con el número inicial de gotas aumenta de 95 a 99% debido a este efecto, mientras que para toser solo se observa un pequeño aumento (de 91 a 92%,

aproximadamente), de tal manera que se puede inferir la definición del diámetro de corte de un aproximado de 5µm, que determina la cantidad total emitida de líquido suspendido considerado como aerosol y de copias virales suspendidas, por lo que constituye una gran fuente de incertidumbre en tales problemas (de Oliveira et al, 2020). Estas acciones dependen del aumento de número de partículas y de la densidad de aire además de los factores meteorológicos, los cuales toman la acción de la evaporación en las gotitas emitidas por el habla, pero puede ser más relevante cuando la transmisión se da por aerosol. Estas acciones dependen mucho de la ventilación de una habitación donde la mezcla, puede ser un factor que disminuya el nivel de contagio y el riesgo de infección. Es por esta razón que: desde fines del año 2020, se consideran que los aerosoles son un riesgo de transmisión agravado por el hecho de que existe la relación con la nube emitida inicial, si el número de gotas y la masa suspendida respectiva después de 1 hora es un orden de magnitud mayor para hablar que para toser. Estas situaciones enmarcaron a muchas regiones a realizar adecuados protocolos y procedimientos de salud ocupacional en servicios laborales (Ministerio de Sanidad-España, 2021), como asimismo en los centros educativos (Ministerio de Sanidad-España, 2021) que teniendo una actualización de los acontecimientos de contagio y mutación, se toma en cuenta la propagación en los aerosoles y las formas de ventilación de un determinado área situacional en el cual se encuentra el individuo, tanto en sistemas cerrados o con mala ventilación y en sistemas abiertos pero con aglomeración de la densidad de personas.

En base a la descripción desarrollada en el anterior punto, es importante conocer la situación real en la cual nos encontramos en nuestra región y nuestro entorno en el cual desarrollamos las diferentes actividades socioeconómicas y socioculturales. En Bolivia, desde la llegada del primer caso de transporte del virus COVID-19 en el mes de marzo del 2020, los aspectos de salud preventiva se fueron estableciendo progresivamente en base a las recomendaciones internacionales. Donde el ministerio de salud da la región elaboró una guía operativa de información para los centros de salud municipales, de primer y segundo nivel, tomando en cuenta que: El Sistema Nacional de Información en Salud y Vigilancia Epidemiológica SNIS-VE, constituye la instancia nacional encargada de desarrollar la gestión

técnica y administrativa del manejo de la información en salud, como única fuente oficial promoviendo su uso y análisis para la toma de decisiones. Dentro de este sistema el comité de análisis de información (CAI), desarrolla indicadores epidemiológicos, de producción de servicios, estructura, determinantes, de gestión y financieros con información generada en el SNIS-VE y otras fuentes de información. Estos indicadores deben estar relacionados con la situación de salud de acuerdo al contexto, permitiendo identificar problemas de salud, establecer líneas de acción a corto plazo y planes de acción a mediano plazo, haciendo de la toma de decisiones un proceso participativo (Ministerio de Salud y Deportes-Bolivia, 2020). Si bien estas atribuciones otorgadas obedecen a un sistema de planificación para cada región del país en marcados en el contexto situacional de mejora continua (ver figura 2).

Figura 2. Resumen del ciclo para mejorar el manejo del CAI, utilizando los resultados de la lista de control



Fuente: Ministerio de Salud y Deportes-Bolivia

Todo este plan nace de la situación acontecida en la primera ola de la pandemia partiendo de las diferentes guías de manejo en los pacientes con COVID-19. Si bien las acciones metódicas planteadas desde el ministerio de salud y deportes, se van cumpliendo específicamente en los centros de salud. Es importante resaltar que las infraestructuras actuales de los centros de salud primer nivel y algunos de segundo nivel, carecen de factores predeterminantes para la ventilación del aire concentrado en el área de atención a clínica a pacientes desde el más leve hasta el más

grave de las enfermedades virales que acontecen en estos tiempos especialmente en la pandemia del COVID-19. Si bien las últimas recomendaciones internacionales son estrictas para realizar la ventilación en las áreas de salud, por las complicaciones que pueden suscitarse por la influencia que el virus del COVID-19, puede alojarse en los aerosoles del aire y posteriormente transportarse con la dinámica meteorológica de la región.

Toda esta situación nos lleva a plantar la interrogante de la situación real en la cual nos encontramos, donde la evidencia científica y los análisis de riesgo planteados en las normas de salud ocupacional manifiestan que todos los centros de salud son el primer foco de calor e la infección de problemas virales y especialmente en el contagio del COVID-19, por ello se plantea:

¿Cuáles son los niveles de concentración del aire y partículas PM2.5, en las diferentes áreas de la ciudad de Potosí y como pueden estas influir en el nivel de riesgo para el contagio del SARS-Cov-2 (Covid-19) especialmente en los centros de alto riesgo como son los ambientes de salud en 1° Nivel, 2° Nivel y 3° nivel de la región?

Objetivo

Desarrollar monitoreo ambiental de la concentración de aire saturado y partículas PM2.5 para la prevención de la Salud Ocupacional en la Ciudad de Potosí a 4000m.s.n.m.

Material y métodos

Se realizó una investigación aplicada, un estudio explicativo, experimental y prospectivo para el monitoreo ambiental de concentración de aire saturado y partículas PM2.5 para la prevención de la Salud Ocupacional en la Ciudad de Potosí a 4000m.s.n.m.

Para el análisis de la valoración de la concentración de aire en recintos cerrados y abiertos, es importante describir los materiales que permitieron cuantificar los valores de concentración de partículas finas PM2.5 y saturación aire, en los distintos centros de salud existentes en la ciudad capital de Potosí. Los instrumentos de la marca TROTEC, permiten la adaptación DATA LOGGER y la programación del análisis mediante los modelos matemáticos de la ley de FICK y las leyes de la meteorología como la convección de aire en base a la temperatura, Humedad Relativa (HR) y otros factores físicos

que determinen el comportamiento reológico del fluido del aire, que permiten analizar la dispersión de partículas y aerosoles existentes en un área determinada a evaluar. Estos modelos permiten realizar una evaluación de la evaporación y sedimentación de las nubes de aire saturado y partículas concentradas que son emitidas en las emisiones respiratorias y transportadas por el sujeto desde y hacia diferentes áreas de concentración masiva. El mecanismo de adaptación de estos instrumentos, proporcionan una información valiosa sobre el tiempo en el cual el aire llega y/o detecta la saturación, cuya escala de tiempo corto llega hasta el problema de la transmisión de aerosoles a escala de tiempo largo, utilizando los modelos descritos que generan la predicción de la evaporación para tener en cuenta la distribución y concentración del aire saturado en dos modos de exhalación natural del individuo y acumulación de aire en recintos cerrados (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 2005). Por tal razón, para demostrar el impacto de tales métricas planteadas para el distanciamiento físico/ventilación, se consideran los aspectos canónicos del flujo uniforme desde el emisor al receptor, la desintegración del chorro que simula el patrón de flujo de corto alcance de la emisión y la habitación bien mezclada que se centra en las escalas de tiempo de suspensión del aerosol y sobre el riesgo de infección y/o contagio. Para ello aplicando el método descriptivo que permite valorar los siguientes aspectos.

a. Evaluar la distribución del área de muestreo y el tiempo de vida de la nube de aire saturado evidenciando la suspensión de partículas finas en las condiciones ambientales InSitu.

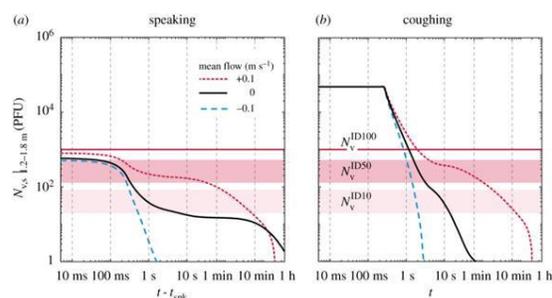
b. Monitoreo de la nube de aire saturado en las áreas cerradas de los centros de salud, sala de reuniones, y concentración u aglomeración de gente, que evidencia cuantitativamente la concentración de aire y partículas finas PM2.5 en términos de sus valores iniciales en la fuente de emisión.

c. Analizar los escenarios específicos de transmisión viral, especificando la totalidad de la nube de concentración de aire saturado suspendida dentro de la categoría de aerosoles.

En este entendido para valorar estos puntos es importante tomar en cuenta las acciones de experiencia internacional que nos dan las directrices de evaluación cuasi-experimental basarnos en la experiencia de los grandes laboratorios por ello se toma en cuenta un patrón

fundamental de acción que describe el comportamiento de las gotas que se expulsa por exhalación del individuo.

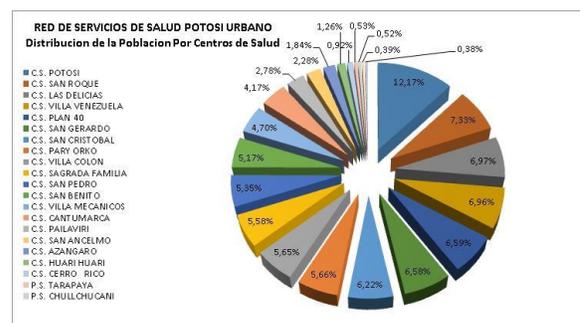
Figura 3. Evolución de la dosis viral suspendida a la altura de la cara (entre 1,2 y 1,8 m) después de (a) 30[s] de habla continua y (b) una tos breve, para tres casos de flujo medio ambiental: hacia arriba (+0,1m/s), cero, hacia abajo (-0,1 m/s) con HR=40%



Fuente: Disponible en <https://royalsocietypublishing.org/doi/pdf/10.1098/rspa.2020.0584>.

En base a este detalle y la metodología propuesta, las acciones de planificación de monitoreo partieron de un análisis de riesgo de salud ocupacional, principalmente en los centros de salud de los diferentes niveles que existen en la región, como también en las salas de reuniones más principales con aglomeración de la densidad de personas.

Figura 4. Porcentaje de la densidad poblacional del municipio de Potosí



Fuente: SNIS-VE CRSSPU, Ministerio de Salud y Deportes

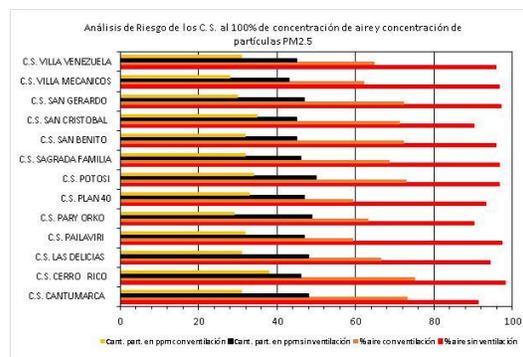
Esta información coadyuva a sintetizar la celeridad de una población en la probabilidad de

un contagio masivo poblacional por la pandemia del virus COVID-19, sin embargo; es necesario también considerar los hospitales de segundo nivel y tercer nivel los cuales, residen cantidades significativas de población en atención clínica y quirúrgica. La consideración más aguada o grave, dentro de los hospitales por la densidad de enfermos o de riesgo son las áreas de emergencia, donde el aire concentrados y el transporte de partículas es más dinámica que en las otras áreas de atención médica. Todos estos factores de riesgo son considerados al tiempo de realizar el protocolo de monitoreo, considerando que las acciones de uso y manejo instrumental debe ser por el especialista considerando las variables insitu de cada área cotejada.

Resultados

Para analizar la situación real que acontece en este tiempo de pandemia del COVID-19 y otras que de acuerdo a la historia siempre se van presentando, para ello debemos partir de un análisis donde las ciudades son sistemas complejos, cuyas características impactan en la salud de las personas que viven en ellas. Prácticamente, los aspectos urbanos de la salud a menudo varían dentro de escalas espaciales (área o territorio) con respecto a los menores del conjunto de datos epidemiológicos. Por lo tanto, se debe considerar que a medida que las ciudades se expanden y aumentan sus desigualdades, es decir; el desarrollo de las acciones en salud a nivel de vecindario se vuelve cada vez más crítico, especialmente en este contexto en el cual se atraviesa por el virus COVID-19 y sus mutaciones que se producen en el tiempo. De esta manera, desarrollamos una acción principal de diagnóstico real que se vive en los distintos centros de salud de la ciudad de Potosí, utilizando como referencia datos de la red de servicio de salud municipal, con el fin de observar el riesgo de salud ocupacional, como un predictor de orden principal en la propagación y/o contagio del COVID-19 y otros patógenos similares con el riesgo de propagación viral (Brizuela, et al. 2021), por esta razón el análisis se concentra en la saturación o concentración del aire y densidad de partículas finas que se concentran en un área determinada.

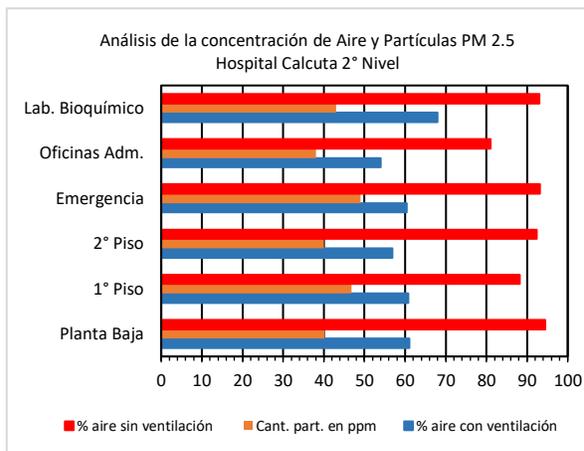
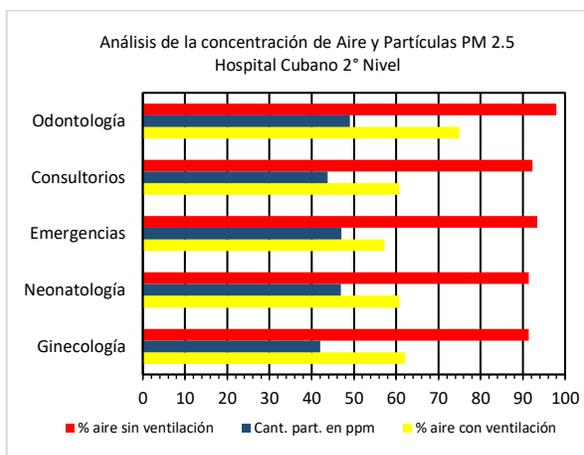
Figura 5. Diagnóstico estadístico de los Centros de Salud de la ciudad de Potosí, del 15 de enero al 13 de febrero 2021



Fuente: Elaboración propia.

De esta manera en la figura 5, se describe la mayor probabilidad de riesgo en el contagio que pueden ocurrir en los centros de salud de la ciudad de Potosí, con respecto al virus COVID-19 donde los ambientes de salud presentan una saturación o concentración de aire mal ventilado o con poca ventilación, esta acción origina que los aerosoles expulsados de manera natural por cada individuo, aumente el riesgo de contagio no solamente en este tiempo de pandemia del COVID-19, sino en otros tipos virus que pueden ser de gravedad en la población. También es importante señalar que los centros de salud que se encuentran en las zonas geográficas sin vegetación, la concentración de partículas finas también son un problema donde la calidad de aire por partículas suspendidas, pueden ocasionar un adhesión y cohesión de los distintos virus que pueden transportarse y llegar hasta las vías respiratorias del ser humano el cual causa diferentes enfermedades. En el caso partículas el Centro de Salud de Cerro Rico, es uno de los más afectados por esta última condición donde las partículas finas son suspendidas por la fuerza del viento, además de que estos son minerales que pueden causar principalmente daños significativos en el organismo, como también daños en los instrumentos médicos de diagnóstico y tratamiento. Asimismo, los centros de salud que se encuentran en las áreas pobladas, también tienen un índice mayor de la mala ventilación por las estructuras mal diseñadas y/o donde los centros están en un sistema de arriendo que no cumplen con las normas mínimas de salud ocupacional ni la ergonomía para que el personal se desplace con facilidad en las horas de trabajo. Por esta situación, se evidencia que la gran mayoría del personal de salud (más del 50%), contrajo la enfermedad del virus COVID-19.

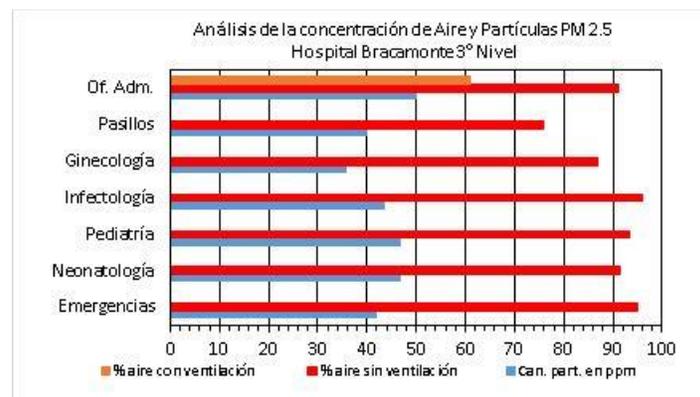
Figura 6. Diagnóstico en Hospital Segundo Nivel, H. Cubano y H. Calcuta



Fuente: Elaboración Propia

De la misma manera que los Centros de Salud de primer nivel, descritos anteriormente, en a figura 6 se demuestra que los hospitales de segundo nivel, también están con el riesgo de la mala ventilación y la acumulación de aerosoles que se generan los insumos de limpieza que se aplican en estos centros. Asimismo, se denota que la acción brusca de la apertura de las puertas y/o ventanas, generan transiciones de corriente de aire muy fuertes donde la fuerza de empuje transporta partículas de mayor tamaño que incrementan la concentración de la mala calidad de aire en estos recintos hospitalarios.

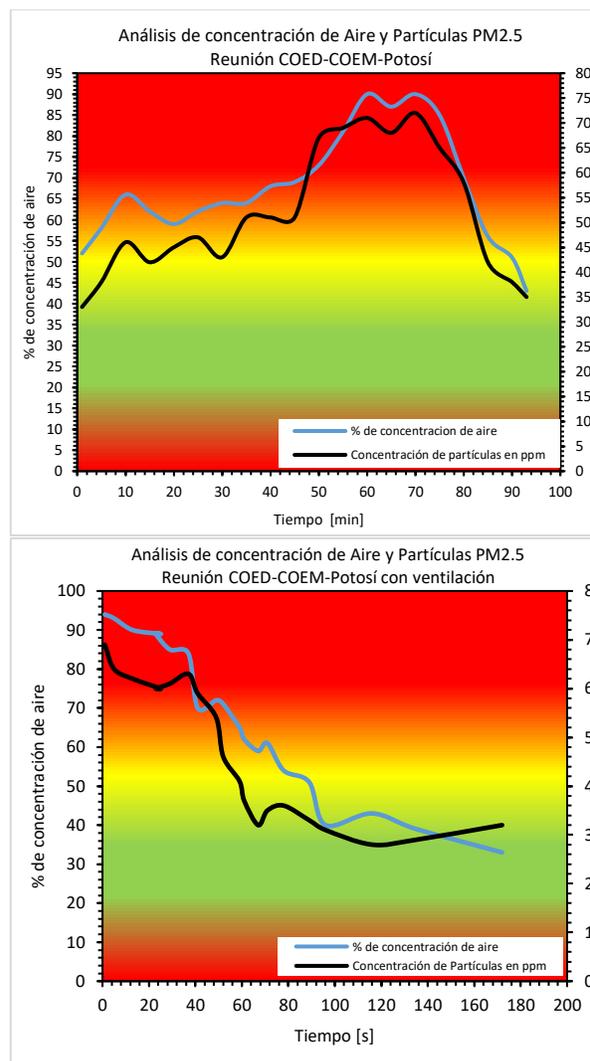
Figura 7. Diagnóstico en Hospital Daniel Bracamonte



Fuente: Elaboración Propia

La evidencia significativa que muestra la figura 7, detalla la celeridad o gravedad que está ocurriendo en el hospital Daniel Bracamonte que es de tercer nivel en la región de la ciudad de Potosí. La descripción cualitativa realizada por los galenos de este hospital, manifiestan que más del 60% del personal fue contagiado por el virus del COVID-19. Todo este personal antes de esta segunda ola y en estos tiempos actuales cumplen con las normas establecidas de bioseguridad, pero la falencia que describe en dicho nosocomio es que no existe un control en la ventilación de los ambientes lo que produce que el aire se concentre con mayor capacidad y los aerosoles realicen la acción bioeléctrica y biomecánica de transportar al virus del COVID-19, por las distintas áreas del hospital. También es importante describir que la acción de puertas colocadas en áreas de infectología producen mayor riesgo de contagio, este último crea diferencias de corrientes de aire como también diferentes microclimas aumentando la humedad y el porcentaje de riesgo de contagio.

Figura 8. Diagnóstico en ambientes de reuniones COED-Potosí sin ventilación y con ventilación



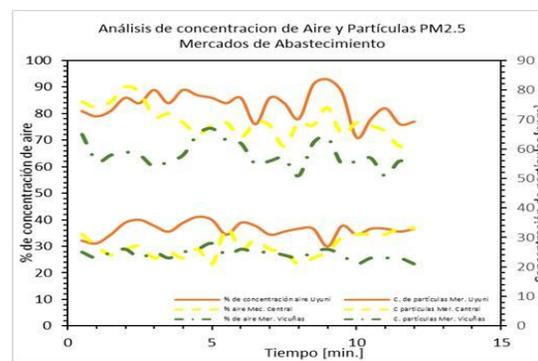
Fuente: Elaboración Propia

Si bien los centros de salud son uno de los factores más principales de riesgo en las matrices de salud ocupacional en este tiempo de pandemia del COVID-19, las reuniones masivas también tienen un elevado grado de vulnerabilidad para el contagio entre los individuos asistentes a reuniones u conferencias de gran magnitud y por tiempos prolongados. De acuerdo a este análisis de la figura 8, las condiciones para que incremente el nivel de saturación del aire y con ello los aerosoles, que son emitidos por cada individuo con distinta concentración. Esta acción natural, origina dentro de un recinto cerrado un estancamiento de flujo de aire, donde los factores

físicos como la humedad y la suspensión de aerosoles se concentran hasta llegar a los picos más elevados de riesgo (Ministerio de Trabajo y Economía Social-España, 2021), a pesar que las personas tienen factor del distanciamiento de seguridad en estos tiempos de pandemia del COVID-19. Entonces a medida que las personas se incrementen en un recinto cerrado, las acciones mecánicas del aire por la ganancia de temperatura y humedad origina que los aerosoles generen una determinada energía de movimiento en las partículas finas. Si bien estas acciones que ocurren son por las diferentes propiedades del modelo de evaporación, se asumen el efecto del flujo de la transferencia de calor y masa entre la nube de gas generado al interior circundantemente, estos aspectos también evidencian los experimentos realizados por de Oliveira y colaboradores, mencionando que la pulverización diluida (es decir, fracción de volumen de las gotas por debajo del 0,1%; nos permite usar para cada partícula los modelos desarrollados para gotitas aisladas) en un dominio infinitamente grande (de Oliveira, et al. 2020).

En base a estas evidencias la interrogante es de observar cual es el mecanismo de que ocurre en las diferentes arterias de la ciudad capital especialmente en los centros de abastecimiento más principales, para ello en la siguiente figura 9, se muestra el comportamiento del mismo.

Figura 9. Diagnóstico en los centros de abastecimiento mercados populares más densamente concurridos.



Fuente: Elaboración Propia

Dada la elevada complejidad de los procesos que influyen en la evolución y el muestreo de los brotes infecciosos por el tema de la pandemia del COVID-19 en las diferentes arterias de la ciudad

de Potosí, la figura 9 muestra el análisis estadístico desarrollado por un monitoreo de la concentración de flujos de aire saturados en los mercados de abastecimiento. Estos datos de vigilancia pueden ser muy beneficiosos para observar el riesgo de los vínculos entre la salud y el lugar de tránsito de las personas. El hacinamiento, de las personas en estas áreas impulsado por los patrones dinámicos de tránsito vehicular, puede cambiar la tasa de emisión de las partículas finas y con ello elevar la concentración de los niveles de los aerosoles, donde la vulnerabilidad de riesgo en el contagio y/o los brotes infecciosos pueden ser un factor determinante que no se controla. Además, es importante considerar que epidemiológicamente estas áreas presentan picos elevados en función de la temperatura ambiente y la aglomeración de las personas en sitios de mayor demanda de víveres, donde estas regiones consideradas como focos de calor de transmisión pueden tener en tránsito a las personas susceptibles, infectados y recuperados. Por lo tanto, dentro de estas áreas es importante inferir los patrones meteorológicos, donde se evidencie el transporte de las masas de aire y representar la propagación de enfermedades como un proceso dinámico causal con el fin de tomar acciones de mitigación o protocolos de seguridad urbana en estos mercados de abastecimiento.

Discusión

A partir del objetivo propuesto en este trabajo, evidencia que; los datos monitoreados cuantitativamente, indican la celeridad del riesgo agudo de contagio del virus COVID-19, en los diferentes ambientes del sistema de salud en los distintos niveles que existe en la región. Tomando en cuenta que, el personal de salud entra en contacto cercano como la vía principal de transmisión del virus, con los diferentes individuos que asisten a los diferentes centros de salud de la ciudad de Potosí. También se evidencia que la acción de transmisión por la nube de aire compuesta por distintos aerosoles, pueden permanecer en el aire durante más tiempo especialmente cuando el ambiente está saturado con un porcentaje agudo de concentración de aire estático. La razón de esta situación, produce un mayor nivel de riesgo de infección y/o contagio entre las personas, estas se agudizan normalmente en espacios cerrados y/o en la aglomeración de personas dentro de los ambientes de los consultorios, además se verifico que existe una mala ventilación y/o inadecuado uso de los

sistemas de extractores de aire, que incrementan los riesgos virales dentro de estos ambientes de salud.

Otro aspecto predeterminante en esta situación de análisis, son las variables meteorológicas de la región, asumiendo que los días de cambios bruscos en la temperatura (de frío a calor o viceversa), vulneran al individuo, que desarrolla sus actividades en la intemperie, el mismo que se convierte en un vector de propagación del virus COVID-19, por ello tomando en cuenta las recomendaciones internacionales, las personas deben procurar tener un tiempo mínimo de contacto entre ellas. Esta situación de las aglomeraciones son las causantes de que los niveles de los aerosoles se eleven y exista la saturación con vulnerabilidad para el contagio del virus.

En los lugares de reunión con la aglomeración de personas se debe tener en cuenta un parámetro indispensable de cálculo de volumen del recinto en el cual se llevará la reunión, de acuerdo a las recomendaciones de la OMS, se interpreta que la tasa de ventilación debe ser continua sin reciclar el aire, en caso de que no pueda renovarse el aire, es preciso limpiar los filtros con frecuencia, sobre todo en los puestos donde hay un riesgo medio o alto de exposición a la COVID-19 (OMS, 2020). Por esta recomendación es importante controlar de manera permanente las áreas de los trabajadores y empleadores, como también se debe priorizar el control en las unidades educativas de los distintos niveles académicos tanto en la zona rural como en la zona urbana. Asimismo, se debe considerar que los espacios laborales deben tener una cantidad mínima de oxigenación de 7 a 10 litros por minuto por cada persona, en cambio para salas de reuniones debe estar entre los 12 a 18 litros por minuto por cada persona. esto es según las normas establecidas de Salud Ocupacional. Tome en cuenta que estas son exigencias ambientales para la confortabilidad considerando las variables de temperatura, humedad, velocidad del aire, ruido y vibraciones, contaminación ambiental interior y exterior.

Finalmente es importante considerar que las nubes de aire concentradas densamente o saturadas son un vector principal que tiene una alta probabilidad de transportar y alojar al virus por esta vía aérea. Dentro de los recintos sanitarios el de más riesgo son los ambientes de odontología y de emergencia, en dichas áreas la falta de extractores y mecanismos de ventilación son muy bajos. La experiencia descrita por el personal resalta que los

brotos epidémicos son mucho más vulnerables donde el hacinamiento de personas es denso en horas picos, lo que origina un mayor riesgo para que el virus se transmita mediante los aerosoles que se generan en estos ambientes. También, se debe recordar que las personas sintomáticas son quienes, principalmente, transmiten el COVID-19, pero por otro lado las personas quienes están a punto de presentar síntomas también son vectores de propagación del virus. Sin embargo, la evidencia de este estudio muestra que las personas que nunca presentan síntomas también pueden contagiar el virus a otros, esto es debido a que el transporte de nubes de aire puede adherirse a las prendas y/o al sistema biológico para luego ser expulsadas con la diferencia de temperatura a otras áreas donde las personas son vulnerables para contraer la sintomatología del COVID-19.

Conclusiones:

Las nubes de aire concentradas densamente o saturadas son un vector principal que tiene una alta probabilidad de transportar y alojar al virus SARS Cov 2 por esta vía aérea. Dentro de los recintos sanitarios el de más riesgo son los ambientes de odontología y de emergencia, en dichas áreas la falta de extractores y mecanismos de ventilación son muy bajos. Los brotes epidémicos son mucho más vulnerables donde el hacinamiento de personas es denso en horas picos, lo que origina un mayor riesgo para que el virus se transmita mediante los aerosoles que se generan en estos ambientes. Las personas sintomáticas son quienes, principalmente, transmiten la enfermedad COVID-19, pero por otro lado, quienes están a punto de presentar síntomas también son vectores de propagación del virus. La evidencia de este estudio muestra que las personas que nunca presentan síntomas también pueden contagiar el virus a otros, esto es debido a que el transporte de nubes de aire puede adherirse a las prendas y/o al sistema biológico para luego ser expulsadas con la diferencia de temperatura a otras áreas donde las personas son vulnerables para contraer la sintomatología del COVID-19.

Referencias bibliográficas:

1. Brizuela, N., García-Chan, N., Gutiérrez Pulido, H., & Chowell, G. (2021). Understanding the role of urban design in disease spreading. The Royal Society, 447–451. doi:10.1098/rspa.2020.0524
2. CDC. (28 de Octubre de 2020). How COVID-19 Spreads. Obtenido de <https://www.cdc.gov/coronavirus/about/index.html>
3. Comunian, S., Dongo, D., Milani, C., & Palestini, P. (2020). Air Pollution and Covid-19: The Role of Particulate Matter in the Spread and Increase of Covid-19's Morbidity and Mortality. *Environmental Research and Public Health*, 17(12), 4487. doi:10.3390/ijerph17124487
4. de Oliveira, P., Mesquita, L., Gkantonas, S., Giusti, A., & Mastorakos, E. (2020). Evolution of spray and aerosol from respiratory releases: theoretical estimates for insight on viral transmission. *The Royal Society*, 1-23. doi:10.1098/rspa.2020.0584
5. DW. (13 de Octubre de 2020). Nuevo estudio: lo que sabemos sobre la reinfección de COVID-19. Obtenido de <https://www.dw.com/es/nuevo-estudio-lo-que-sabemos-sobre-la-reinfecci%C3%B3n-de-covid-19/a-55265630>
6. Horton, R. (26 de Octubre de 2020). COVID-19 is not a pandemic. doi:10.1016/S0140-6736(20)32000-6
7. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (Septiembre de 2005). NTP 742: Ventilación general de edificios. Obtenido de https://www.insst.es/documents/94886/327446/ntp_742.pdf/08383321-e605-4355-b830-c783a7d50b9c
8. Ministerio de Salud y Deportes-Bolivia. (29 de Septiembre de 2020). Guía operativa de aplicación del comité de análisis de información para establecimientos de primer, segundo nivel de atención y nivel municipal. Obtenido de <https://www.minsalud.gob.bo/4694-snis-ve-lanza-guia-operativa-para-la-identificacion-de-problemas-y-factores-que-afectan-a-la-salud>
- Ministerio de Sanidad-España. (8 de Febrero de 2021). Medida de Prevención, Higiene y Promoción de la Salud frente al COVID-19 para Centros Educativos para el 2021. Obtenido de <https://www.msbs.gob.es/profesionales/saludPub>

- lica/ccayes/alertasActual/nCov/documentos/COVID19_Medidas_centros_educativos_Curso_2020_2021.pdf
9. Ministerio de Sanidad-España. (15 de Febrero de 2021). Procedimientos de Actuación para los Servicios de Prevención de Riesgos Laborales frente a la Exposición del SARS-CoV-2. Obtenido de https://www.msbs.gob.es/profesionales/saludPublica/ccayes/alertasActual/nCov/documentos/Proteccion_Trabajadores_SARS-CoV-2.pdf
10. Ministerio de Trabajo y Economía Social-España. (26 de Enero de 2021). La ventilación como medida frente al coronavirus SARS-CoV-2. Obtenido de [https://www.insst.es/documents/94886/712877/La+ventilaci% c3% b3n+como+medida+preventiva+frente+al+coronavirus+SARS-CoV-2.pdf](https://www.insst.es/documents/94886/712877/La+ventilaci%c3%b3n+como+medida+preventiva+frente+al+coronavirus+SARS-CoV-2.pdf)
11. OMS. (29 de Julio de 2020). Preguntas y respuestas sobre la COVID-19 y la ventilación y el aire acondicionado en espacios y edificios públicos. Obtenido de <https://www.who.int/es/news-room/q-a-detail/q-a-ventilation-and-air-conditioning-in-public-spaces-and-buildings-and-covid-19#>
12. OPS. (26 de Enero de 2021). Actualización epidemiológica: Variantes del SARS-CoV-2 en las Américas. Obtenido de <https://www.paho.org/es/file/81083/download?token=TiS4tiRi>
13. OPS. (3 de Febrero de 2021). Variantes del virus y actualización epidemiológica. Obtenido de <https://www.paho.org/es/noticias/3-2-2021-directora-ops-advierde-que-actualidad-covid-19-impacta-manera-desproporcionada>
14. Rosas Arango, S., Del Ángel-Caraza, J., & Soriano-Varga, E. (2020). Infección por COVID-19, una mirada a los factores ambientales relacionados con la pandemia. *NOVA*, 18(35), 99-103. doi:10.22490/24629448.4193
15. Sánchez-Zúñiga, M., & Carrillo-Esper, R. (2020). Coronavirus-2019; Consideraciones Generales. *Revista mexicana Anestesiología*, 43(2), 83-91. doi:10.35366/92866
16. Segovia-Juarez, J., M. Castagnetto, J., & F. Gonzales, G. (2020). La gran altitud reduce la tasa de infección por COVID-19 pero no la tasa de letalidad. *Fisiología respiratoria y neurobiología*, 281. doi:10.1016/j.resp.2020.103494
17. van Doremalen, N., Bushmaker, T., Morris, D., Holbrook, M., Williamson, B., Tamin, A., . . . Gerber, S. (2020). Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1. *PubMed*, 382(16), 1564-1567. doi:10.1056/NEJMc2004973
18. WHO. (9 de Julio de 2020). Preguntas y respuestas sobre la transmisión de la COVID-19. Obtenido de <https://www.who.int/es/news-room/q-a-detail/coronavirus-disease-covid-19-how-is-it-transmitted>
19. Zhou, P., Xing-lou, Y., Xian-Guang, W., Ben, H., Lei, Z., Wei, Z., . . . Ren-Di, J. (2020). A pneumonia outbreak associated with a new coronavirus of probable bat origin. *PubMed*, 579((7798)), 270-273. doi:10.1038/s41586-020-2012-7
20. Zubieta-Calleja, G., & Zubieta-DeUrioste, N. (2021). Acute Mountain Sickness, High Altitude Pulmonary Edema, and High Altitude Cerebral Edema: A view from the High Andes. *Respiratory Physiology & Neurobiology*, 287, 103628. doi:10.1016/j.resp.2021.103628