

Monitoreo en el nivel de concentración de aerosoles en ambientes académicos para evitar el contagio del COVID-19 en la Ciudad de Potosí, Bolivia

Monitoring of the concentration level of aerosols in academic environments to prevent the spread of COVID-19 in the city of Potosí, Bolivia

Fecha de presentación: 03/01/2022, Fecha de Aceptación: 30/03/2022, Fecha de publicación: 01/05/2022



Roberto Carlos Vera

E-Mail: robertormc@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/000-0002-3335-9832>

Holger Chirveches Salguero

E-Mail: chirvechesalfonso@hotmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6702-5144>

Ariel Veizaga Valencia

E-Mail: gts4622@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3114-4261>

Gabriela Reynaga Marín

E-Mail: gabureynagam@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2857-4319>

Universidad Autónoma Tomás Frías. Potosí, Bolivia.

Cita sugerida (APA, séptima edición)

Vera, R.C., Chirveches-Salguero, H.A., Veizaga-Valencia, A. & Reynaga-Marín, G. (2022). Monitoreo en el nivel de concentración de aerosoles en ambientes académicos para evitar el contagio del COVID-19 en la Ciudad de Potosí, Bolivia. *Revista Ciencia & Sociedad*, 2(2), 95-110.

RESUMEN

La pandemia sigue teniendo una incertidumbre en el hecho de poder retornar a clases presenciales para mejorar resultados en el PEA. Por esta razón, se tiene el objetivo de evaluar y monitorear los niveles de aerosoles en las condiciones reales del aforo, para estimar el tiempo de prudencia y/o riesgo del contagio que se desarrolla en los ambientes académicos de la Universidad Autónoma Tomás Frías UATF, por causa de la propagación del COVID-19 en la ciudad de Potosí. Para este, se emplea un enfoque cuantitativo, aplicando un método descriptivo que evidencia el nivel de concentración de aerosol dentro de un aula, con las medidas precaución, analizando por un corte longitudinal, que identifica los tiempos de prudencia en los diferentes ambientes. Los resultados, se muestran la evidencia significativa en el análisis del tiempo para prevenir el riesgo que tiene una clase académica de nivel superior analizando la situación de la interacción del CO₂ con las variables de meteorológicas

Monitoreo en el nivel de concentración de aerosoles en ambientes académicos para evitar el contagio del COVID-19 en la Ciudad de Potosí, Bolivia

de la región. Finalmente, se recomienda los principales aspectos de ventilación y/o mecanismos que sean factibles para los ambientes de las clases presenciales.

Palabras claves: Aerosoles en aulas, CO2 en aula, riesgo del COVID-19, recombinación del flujo aire, tiempo de clases presenciales.

ABSTRACT

The pandemic continues to have an uncertainty in the fact of being able to return to face-to-face classes to improve the results in the PEA. For this reason, the objective is to evaluate and monitor the levels of aerosols in the real conditions of capacity, to estimate the time of prudence and / or risk of contagion that develops in the academic environments of the Tomás Frías Autonomous University UATF, due to the spread of COVID-19 in the city of Potosi. For this, a quantitative approach is used, applying a descriptive method that shows the level of aerosol concentration within a classroom, the precautionary measures, analyzing by a longitudinal section, which identifies the times of prudence in the different environments. The results significant evidence is shown in the analysis of time to prevent the risk that a higher level academic class has, analyzing the situation of the interaction of CO2 with the meteorological variables of the region. Finally, the main aspects of ventilation and/or or mechanisms that are feasible for face-to-face classroom environments

Keywords: Aerosols in classrooms, CO2 in the classrooms, risk of COVID-19, recombination of air flow, face-to-face class time.

INTRODUCCIÓN

Por Si bien hasta fines del 2021, se han atravesado 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 con sus nuevas variantes (Cieza Zevallos & Uriol Lescano, 2020), 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 de nuestra ciudad capital de Potosí, 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 et al., 2020). Sin embargo, los análisis de riesgo sanitarios que fueron elaborados hasta la actualidad, tienen un criterio técnico y científico, enfatizando el problema de la acción con referencia a la toma de decisiones frente al retorno a clases presenciales, donde se considera varios factores sociales y económicos para la reapertura o regreso a clases presenciales (OMS, 2020).

Si consideramos las nuevas variantes del COVID-19 y otras enfermedades que son intrínsecas en el contagio que se suscitan dentro de estos ambientes escolares y/o académicos de nivel superior, además de la propagación vertiginosamente de esta pandemia en lugares cerrados por los diferentes aspectos de transmisión, en función de las variables climatológicas y/o los aerosoles que se generan, por las personas infectadas, transmitidas directamente mediante el contacto de manos y/o en contacto con las mucosas del receptor, siendo esta el principal factor de contagio en una actividad académica.

A partir de ello, se debe considerar la situación fundamental que se desarrolla en la educación a distancia donde según la UNICEF indica que muchos hogares no cuentan con acceso fijo a Internet de buena calidad y pocos tienen una computadora, además se ha demostrado que el

Monitoreo en el nivel de concentración de aerosoles en ambientes académicos para evitar el contagio del COVID-19 en la Ciudad de Potosí, Bolivia

nivel educativo a disminuye en su rendimiento del escolar o universitario, lo que coloca en severo riesgo en su formación académica (UNICEF, 2021).

Por esta razón, muchos estudios demuestran las acciones de contagio que se pueden desarrollar por el contacto y/o deposición del virus, en los diferentes materiales que se encuentra en la infraestructura académica, tomando en cuenta 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 en nuestras condiciones climáticas de la región hasta tres horas en aerosoles, hasta cuatro en cobre, hasta 24 en cartón, donde la vida media estimada en el acero inoxidable y en plástico es de 5,6 y 6,8 horas, respectivamente (Van Doremalen et al., 2020).

Las condiciones establecidas anteriormente, demuestran que el virus puede tener mayor riesgo en áreas donde los aerosoles se concentran más, es decir; que las condiciones medioambientales de la región del altiplano boliviano en la época de otoño e invierno pueden presentar diferentes condiciones fisiológicas, agudizando las enfermedades respiratorias. Asimismo, los aspectos de la incidencia de radiación solar y ultravioleta, dentro de nuestra región puede tener un gran aporte para el cuidado y protección del individuo (Salazar, 2021; Barrionuevo, 2021), ya que existen parámetros significativos de los estudios realizados a gran altura por la generación de vitamina D (Zubieta-Calleja & Zubieta-DeUrioste, 2021).

Por lo tanto, esta emergencia sanitaria, ha producido muchas dificultades en el desarrollo del aprendizaje significativo de cada estudiante, es por ello que el retorno a las actividades académicas debe ser considerado un tema principal para las autoridades gubernamentales.

Es así que muchos países, se han involucrado en la tarea de realizar los estudios pertinentes de forma eficaz y fluida, que permitiendo incluir a los actores desde las autoridades educativas locales, dirección de las escuelas conformada por los docentes, y las asociaciones de madres y padres de familia (Chica & Pangol, 2021). Por ello, varios países han activado o establecido, las medidas y planes de seguridad para los centros educativos ante el supuesto nivel de contagio y teniendo en cuenta la estrategia de vigilancia del COVID-19, tal como se recomienda en las últimas orientaciones de la OMS (OMS, 2020). Es así que el debate de retorno a clases permite analizar: Las diferencias en las condiciones de vida de las personas y la desigualdad de oportunidades se han vuelto más visibles que antes y generan una oportunidad de cambios que juntos debemos afrontar en todas las regiones especialmente en aquellas donde el COVID-19 afecto muy fuertemente (Correa et al., 2021).

Por lo anterior, esta situación nos permite analizar profundamente las medidas de contingencia que se deben profundizar, especialmente en la recirculación del aire del recinto donde estará el sujeto y las capacidades de emisión del dióxido de carbono (CO₂) que se exhala en cada ciclo respiratorio, siendo esta una evidencia de la influencia del contagio por aerosol (Félix Arellano et al., 2020).

Entonces, si bien es conocido que el riesgo del contagio del COVID-19 se producen en ambientes ocupacionales con una mala ventilación. Las acciones de este riesgo que se producen por un proceso físico en donde las partículas son suspendidas y concentradas en el ambiente, originando un elevado nivel de aerosol que pueden ser vulnerables para las personas que se encuentran dentro de un determinado ambiente, por tal razón; es importante conocer los mecanismos y/o diagramas de flujo de aire que permitan descongestionar el aerosol concentrado en cada recinto académico (CSIC, 2020).

Para ello, es importante tomar en cuenta las acciones correctivas o mecanismos de procedimientos, que permitan tener un flujo de aire recombinado del ambiente en el cual se sitúan las personas, considerando que estos deben tener una guía intrínseca para un adecuado reflujo de aire combinado entre el aire puro y los niveles de aerosoles producidos por la exhalación de cada sujeto (Harvad T.H. Chan, 2020), asumiendo que las variables

Monitoreo en el nivel de concentración de aerosoles en ambientes académicos para evitar el contagio del COVID-19 en la Ciudad de Potosí, Bolivia

meteorológicas o del clima de la región pueden ser un factor predeterminante al tiempo de la valoración cuantitativa del nivel de riesgo. En evidencia a este también se considera estudios realizados en el estado plurinacional de Bolivia, los que consideran factores ambientales y geográficos, permitiendo analizar el balance de masa para un ambiente en el que los aerosoles se distribuyen homogéneamente, por esta razón la aplicación de metodología en ciudad de altura (>3500m.s.n.m.) permitiendo adecuar los formalismos matemáticos es por ello que Velarde y colaboradores (Velarde et al., 2020) plantean que:

En relación a la concentración quanta (C , quanta m^3) con la tasa de emisión quanta (E_q , quanta hora⁻¹) y la tasa total de pérdida de quanta (A , hora⁻¹) mediante la ecuación 1:

$$\frac{dC}{dt} = \frac{E_q}{V} - \lambda C \quad (1)$$

Donde, V es el volumen del ambiente cerrado (m^3), y λ , es la tasa total de pérdida de los que cuenta por ventilación, deposición y decaimiento de infectividad. La solución de la ecuación 1 viene dada por la ecuación 2. En ella se supone que C a tiempo cero es también cero.

$$C_{(t)} = \frac{E_q}{\lambda V} [1 - e^{-\lambda t}] \quad (2)$$

La probabilidad de contagio P (en %) en función implícita al tiempo (i) de exposición y la cantidad de quanta inhalada por la persona susceptible n , viene dada por la ecuación de Wells-Riley

$$P = 1 - e^{-n} \quad \text{con} \quad n = Q_{br} \int_0^D C_t dt$$

Aquí Q_{br} es la tasa de inhalación de la persona expuesta, y D es el tiempo total de exposición.

En base a estas relaciones se calculó la probabilidad de contagio para diferentes escenarios de exposición tales como un aula de clases o una oficina de ambiente cerrado.

A partir de este contexto, también es importante considerar la fisiología presentada por cada individuo en estas ciudades de gran altura, como es el altiplano boliviano, donde en la conferencia internacional de biofísica realizada en marzo del 2021 por el instituto de bioquímica y biofísica de la India, describieron que los factores aerodinámicos de los aerosoles pueden generar un mayor riesgo respiratorio, considerando que las acciones de inhalación y exhalación del CO₂, pueden generar un ambiente crítico en el entorno por el tiempo de permanencia de suspensión de las partículas finas y muy finas en los que se encuentran los aerosoles (USERN, 2021).

Ante esta evidencia, la situación del conflicto por el retorno a clases presenciales o híbridas, parten de situaciones reales de cada punto geográfico, donde Contreras y sus colaboradores sugieren que: debe existir una planificación detallada para el regreso a clases tomando en cuenta las medidas preventivas para frenar los contagios de COVID-19, que son necesarias para poder migrar hacia la educación presencial (Contreras et al., 2022).

Del mismo modo, es evidente que el aprovechamiento académico por medios virtuales tiene muchas dificultades principalmente en el cumplimiento de los contenidos curriculares propios de cada curso y nivel educativo, demostrando falencias en el conocimiento (Peredo Videá, 2020). Estos aspectos llevan a las autoridades a tener un plan de contingencia por ello el

Monitoreo en el nivel de concentración de aerosoles en ambientes académicos para evitar el contagio del COVID-19 en la Ciudad de Potosí, Bolivia

ministerio de educación de estado plurinacional promulgo la resolución ministerial 001/2022 (Ministerio de Educación Bolivia, 2022), en la cual describe los aspectos prioritarios de control para un buen desempeño de las actividades académicas.

Sin embargo, todas estas acciones no contemplan profundamente la situación de los aerosoles que son un medio de transporte para el virus del COVID-19 y otros, por ello que a principios de este texto se analiza la situación en la cual este fenómeno físico puede traerá algunas consecuencias si no se analiza bien la situación.

Es evidente que los antecedentes como es el caso de la Facultad Mexicana de Medicina (FMM) realizó un estudio prospectivo donde se estimó la transmisión de aerosoles de SARS-COV-2 en las aulas de la FMM al regreso a clases presenciales utilizando una aproximación en base al análisis de las cuantas que también dentro de este estudio se realizó, evidenciando que los salones deben ser de dimensiones de un mínimo 200 m³ (metros cúbicos) y se mantenga una tasa de ventilación mínima de 4-5 ACH, la duración de clases menor a 60 minutos (Gama-Reyes et al., 2021).

Es en este sentido y la necesidad del retorno seguro a clases presenciales es necesario evaluar el riesgo de infección por aerosoles dentro de las aulas durante la etapa de regreso a clases presenciales con un objetivo de evaluar los niveles de aerosoles en las condiciones reales del aforo, para estimar el tiempo de prudencia y/o riesgo del contagio que se desarrollan en los ambientes académicos de la Universidad Autónoma Tomás Frías UATF de la ciudad de Potosí, misma que se encuentra a una altura media de 4000 m.s.n.m. En evidencia a este aspecto concreta los hechos reales y tangibles que se deben priorizan al tiempo de tomar una decisión de un retorno seguro a clases presenciales.

MATERIALES Y MÉTODOS

En base al contexto situacional que se atraviesa, el interés se concentra en evidenciar las condiciones necesarias de los ambientes académicos para el retorno a clases presenciales contemplando principalmente el aforo que debe ser el principal factor para organizar el hacinamiento de los estudiantes y docentes dentro de una unidad académica o ambiente en el cual se desarrolle las actividades del Proceso Enseñanza Aprendizaje (PEA), considerando que la región de la ciudad de Potosí, está a una altura promedio de 4000 m.s.n.m. mismo que presenta un clima frío y seco. Estos factores permiten tomar en cuenta la base del conocimiento desarrollada en la Metodología para la investigación y redacción descrita por Roger Ricardo Ríos Ramírez (Ríos Ramírez, 2017), aplicando un enfoque cuantitativo, el cual permitió explicar el modelo biofísico aplicado a este campo de acción y diagnosticar una evaluación concreta con el uso metodológica *descriptiva* misma que caracteriza el comportamiento y propiedades del objeto de estudio que permite caracterizar la variables físicas de la evaporación y sedimentación de las nubes de aire y partículas concentradas que son emitidas por las vías respiratorias, transportadas por el sujeto desde y hacia diferentes áreas de concentración masiva.

Para esta causalidad, los instrumentos utilizados, proporcionan una información valiosa donde se aplica una valoración *cuasi experimental* que permite dar criterios de valoración sobre el tiempo en el cual el aire llega y/o detecta el punto máximo o nivel del aerosol (CO₂) en llegar a su límite permisible en función del tiempo y área establecida, cuya información metódica *longitudinal* permite observar y establecer el tiempo de la celeridad o gravedad de la transmisión de aerosoles a escala de peligro basados en las normas establecidas internacionalmente de la Seguridad, Higiene Ocupacional en el Trabajo.

Es así que estos materiales e instrumentos de medición que permitieron cuantificar los valores de concentración de partículas finas de los aerosoles, en función de la temperatura de los ambientes, la humedad relativa, cantidad de la ventilación forzada y/o natural, la inercia del

Monitoreo en el nivel de concentración de aerosoles en ambientes académicos para evitar el contagio del COVID-19 en la Ciudad de Potosí, Bolivia

flujo de aire, la energía solar incidente al área además de otros parámetros meteorológicos predeterminantes, para determinar el ambiente se encuentre en los mecanismos de combinación de aire aceptables, dentro de los ambientes educativos en base a la cantidad de personas que se encuentra en cada ambiente u oficina. Asimismo, estas métricas planteadas son importantes para el distanciamiento físico/ventilación, considerando los aspectos de análisis de los fluidos, con los comportamientos que se tiene en la región de Potosí, la desintegración y/o transmisión del aerosol que atraviesa el mecanismo de protección (barbijo y/o mascarillas faciales) que conlleva al riesgo de infección y/o contagio masivo. Toda esta situación permite evidenciar el nivel de riesgo que existe en los ambientes de formación académica de nivel superior, en donde coyuntura social exige una evidencia científica significativa, tangible y cuantitativa que permita tomar decisiones para un retorno a las clases de forma segura y con prudencia.

RESULTADOS Y DISCUSIONES DE LA INVESTIGACIÓN

En base al análisis desarrollado por el presente trabajo, se toma en cuenta los conocimientos científicos, que hoy nos afectan en la epidemiología y la seguridad ocupacional frente a la pandemia que hasta la fecha se sigue encontrando mutaciones, considerando que cualquier virus son esperadas como parte de su propagación genómica (OPS, 2021). Por esta razón, la contribución de las diferentes vacunas que se han desarrollado permiten una protección en un determinado porcentaje, donde la recomendación de la OMS menciona que: "...Si las vacunas fueran menos eficaces contra una o más variantes, probablemente se podría modificar su composición para que protegieran contra ellas" (OMS, 2021).

Sin embargo, se conoce que las variantes del COVID-19 siguen presentando problemas donde hasta la culminación de este trabajo, los resultados muestran que los virus cambian constantemente a través de la mutación debido a los diferentes factores demográficos y climáticos de la región, teniendo las siguientes características, de acuerdo al centro de control y prevención de enfermedades (CDC, 2021):

- **Alfa (B.1.1.7).** Esta variante de la COVID-19 parece transmitirse con mayor facilidad y podría suponer un mayor riesgo de hospitalización y de muerte.
- **Beta (B.1.351).** La variante parece transmitirse con mayor facilidad. Además, disminuye la eficacia de algunos medicamentos con anticuerpos monoclonales y de los anticuerpos generados por una infección previa de la COVID-19 o por la vacuna contra la COVID-19.
- **Gamma (P.1).** Disminuye la eficacia de algunos medicamentos con anticuerpos monoclonales y de los anticuerpos generados por una infección previa de la COVID-19 o por la vacuna contra la COVID-19.
- **Épsilon (B.1.427).** Se transmite con mayor facilidad. Disminuye la eficacia de los anticuerpos generados por una infección previa de la COVID-19 o por la vacuna contra la COVID-19.
- **Épsilon (B.1.429).** Disminuye la eficacia de los anticuerpos generados por una infección previa de la COVID-19 o por la vacuna contra la COVID-19.
- **Delta (B.1.617.2).** Una de las variantes más peligrosas que se transmite con mayor facilidad, la misma puede disminuir la eficacia de algunos tratamientos con anticuerpos monoclonales y de los anticuerpos generados por alguna de las vacunas contra la COVID-19.

Monitoreo en el nivel de concentración de aerosoles en ambientes académicos para evitar el contagio del COVID-19 en la Ciudad de Potosí, Bolivia

- **Ómicron (B.1.1.529).** Esta variante podría propagarse con más facilidad que otras variantes, incluso la delta. Sin embargo, aún no está claro si la variante ómicron causa una enfermedad más grave. Se espera que las personas que tienen el esquema completo de vacunación puedan contraer infecciones posvacunación y transmitir el virus a otras personas.

Estas características descritas por el CDC, muestran una realidad global en la cual nos encontramos, es por esta razón que la importancia de la vacuna en el individuo debe ser una prioridad. Sin embargo, estos aspectos de evidencia científica, deben ser considerados por las autoridades gubernamentales y no gubernamentales, tomando en cuenta una planificación por no cometer errores que demuestren un manejo verosímilmente precario con vacíos de por medio al momento de aplicar las leyes, normativas enfocadas al plan de contingencia sanitaria que atravesamos en este tiempo. En este sentido esta descripción de las variantes del COVID-19, permiten establecer un análisis situacional, para evitar los rebrotes del virus entre la población por falta de concientización y capacitación principalmente a los estudiantes, docentes y sociedad complementaria de la ciudad de Potosí.

En esta situación, nos enmarcamos en aspectos prioritarios del nivel de contagio y/o propagación del virus por medio de los aerosoles que se generan en los puntos de aglomeración, principalmente en los ambientes académicos donde las personas menores, adolescentes y mayores, acuden de manera continua para su proceso de enseñanza y aprendizaje. Dado que este patrón físico (aerosol), es un mecanismo principal de contagio que hasta la fecha se sigue contemplando como un parámetro fundamental de estudio, donde las recomendaciones muestran una evidencia significativa que esta condición de incremento del CO₂ (monóxido de carbono, aerosol principal) incrementa los niveles de contagio de COVID-19, causando un compromiso fisiológico que pueda suscitarse ante un nuevo contagio masivo del mencionado virus, en ambientes laborales de educación y otros, los cuales son una prioridad de análisis en la toma de decisiones en el aspecto epidemiológico para la región.

Ante esta situación el primer factor de análisis que se desarrolló, es la capacidad de caudal de circulación de aire pulmonar, a fin de analizar el intercambio gaseoso de O₂ y CO₂ entre el aire y la sangre, tomando en cuenta que la sangre se realiza un contacto de interfase alveolocapilar, en función de la presión barométrica de la ciudad de Potosí que se encuentra a una altura de 4000 metros sobre el nivel del mar por lo que se tiene el siguiente comportamiento.

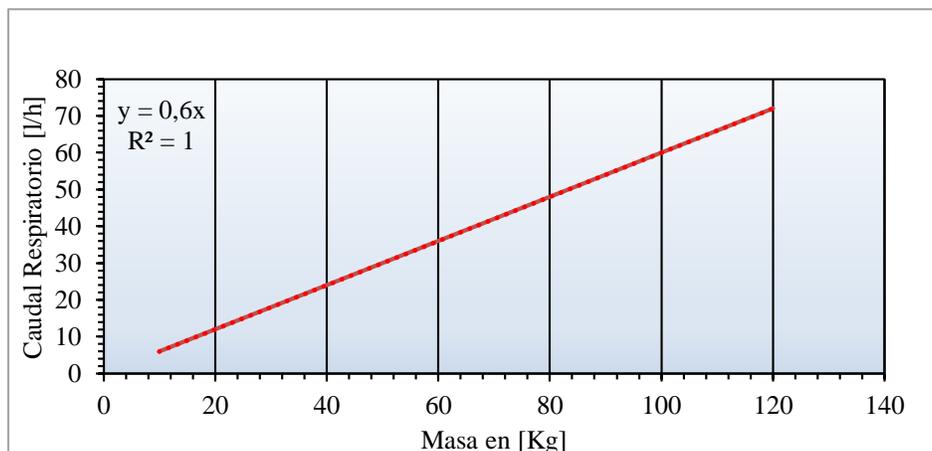


Figura 1. Análisis de respiración de personas a una altura de 4000 m.s.n.m.
Fuente: Base de datos de la investigación

Monitoreo en el nivel de concentración de aerosoles en ambientes académicos para evitar el contagio del COVID-19 en la Ciudad de Potosí, Bolivia

De esta manera esta figura 1, describe el fenómeno fisiológico respiratorio, donde muestra la circulación pulmonar del sistema respiratorio a las condiciones atmosféricas de baja presión. Estas características del análisis son correlativas y explican la marcada influencia de las presiones intratorácicas, que ocurre a este nivel de altura sobre la hemodinámica pulmonar. Este análisis nos permite evidenciar el intercambio gaseoso que ocurre en la circulación aire pulmonar, las misma que tiene cuatro funciones que explican la respiración, esta acción produce un filtro de partículas en la sangre venosa, contemplando la actividad metabólica en los mecanismos de defensa celular y humoral pulmonar, que tiene cada ser humano. En este entendido, cada persona tiene un volumen requerido, sin embargo; en base a los conocimientos básico fundamentales el volumen total de sangre de toda la circulación respiratoria es aproximadamente de 500 ml., es decir, el 10% del volumen total de sangre circulante (Fernández-Tresguerres, 2010). Es así que los factores primordiales para la óptima circulación de aire pulmonar, están en función de una buena calidad de aire, considerando que los aerosoles como el CO y CO₂, son un factor predeterminante que puede influir de manera negativa en el árbol vascular de las zonas superiores pulmonares desarrollado en el pulmón. Por esta razón, es importante observar las condiciones de los diferentes ambientes en el cual las personas desarrollan sus operaciones cotidianas, para esta situación existen parámetros en los cuales se denomina como aforo, mismo que depende del área, volumen y número de personas del ambiente.

Estas variables permiten calcular el volumen de aire requerido en función del tiempo empleado para evitar una concentración de una mala calidad de aire y ello evidencia una elevada carga viral, situación por la que cada persona debe conocer las condiciones de reales de ambiente y evitar estas acciones descritas anteriormente. Por esta razón, en la siguientes graficas se analiza las condiciones de aforo en los ambientes donde se encuentra el individuo para las condiciones climáticas que tiene la región de Potosí.

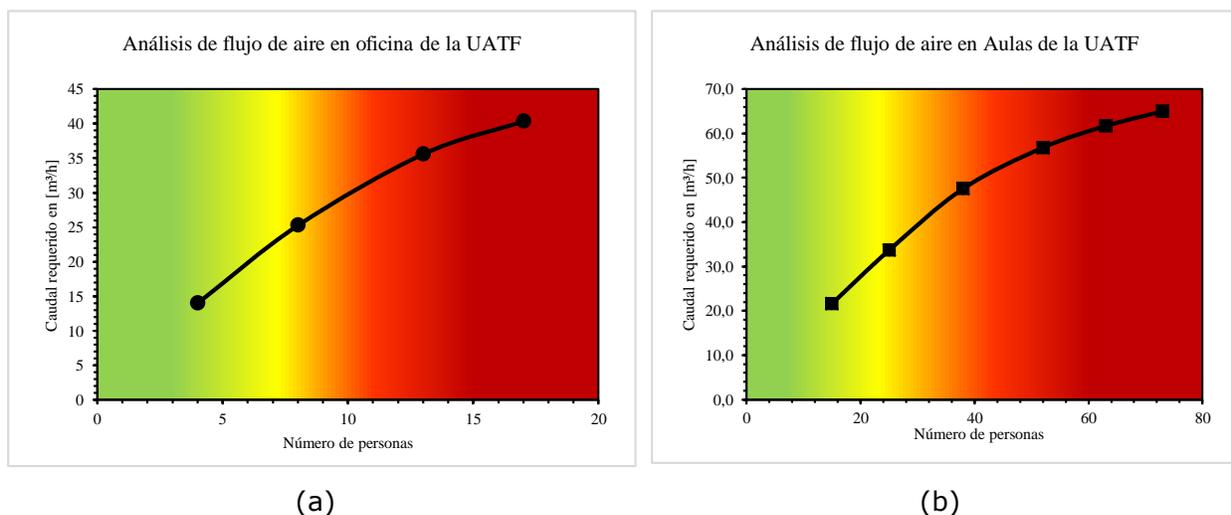


Figura 2. Análisis de riesgo del flujo de caudal de aire (a) en oficinas (b) en aulas de la Universidad Autónoma Tomás Frías
Fuente: Base de datos de la investigación

La evidencia parten del análisis desarrollado en los ambientes académicos de la Universidad Autónoma Tomas Frías (UATF), en base a los parámetros de las recomendaciones internacionales, las gráficas de la figura 2, permiten describir las regiones permisibles (color

Monitoreo en el nivel de concentración de aerosoles en ambientes académicos para evitar el contagio del COVID-19 en la Ciudad de Potosí, Bolivia

verde hasta al amarillo) y la región de peligro (color naranja a rojo), por la concentración o aglomeración de las personas en recintos cerrados como son los ambientes y oficinas de la UATF, donde de acuerdo a las normas establecidas del aforo, estas tienen un peligro cuando el personal se incrementa, especialmente en las oficinas administrativas, esto sucede porque en estos ambientes no existe mecanismos de ventilación, lo que genera una gran concentración de aerosol (CO₂) y se convierte en un riesgo vulnerable para la salud de las personas en el contagio del COVID-19.

Es por ello, que las acciones se concentran en explicar las condiciones de una adecuada ventilación natural o forzada, que deben realizarse de manera apropiada evitando así una acumulación de aire con alto índice de aerosol (Ministerio de Sanidad-España, 2021). De esta manera, es importante considerar que la respiración que se realiza en estos ambientes, genera el intercambio de gases entre los alveolos y la sangre capilar que fluye a su alrededor dentro de un ambiente, si esta concentración de aire no es renovada o no tiene una circulación adecuada, se evidencia (figura 2) que esto llega aún máximo pico que supera la recomendación de aforo, por lo tanto esta concentración de aire no ventilado tiene la dificultad de eliminar el volumen equivalente del CO₂, lo que genera una carga viral de alto riesgo y una probabilidad elevada del nivel de contagio del COVID-19 y otras enfermedades epidemiológicamente transmisibles como son los resfríos.

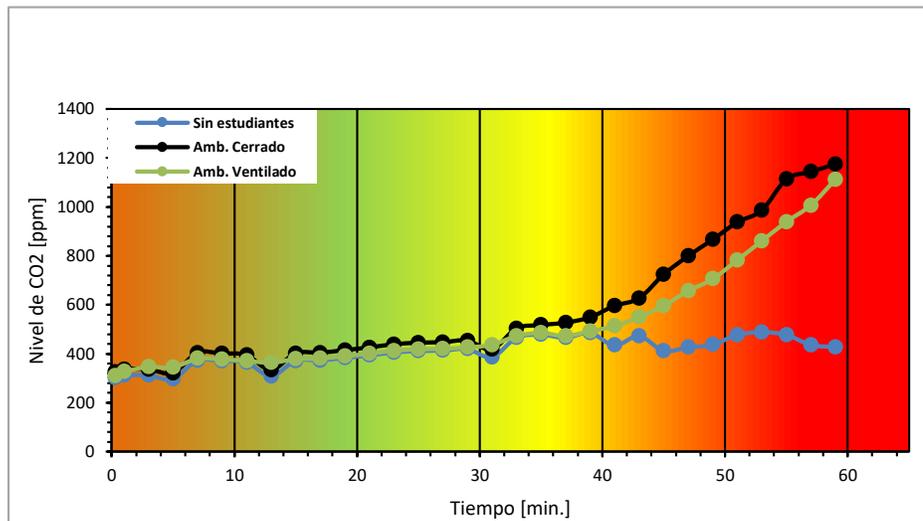
Del mismo modo los resultados anteriores, graficas de la figura 2, permiten analizar la capacidad del número de personas hacinadas en los ambientes cerrados y/o poco ventilados de la Universidad Autónoma Tomás Frías de la Ciudad de Potosí, Bolivia, la misma que está en proporción del volumen del recinto de una oficina (a) con capacidad 5 personas y de un ambiente de clases (b) que tiene una capacidad máxima promedio de 75 personas, donde para estos tiempos de COVID-19, es necesario que se mejore la del caudal de aire que llega a los niveles no aceptables cuando estos ambientes aglomeran muchas personas, ocasionando que los niveles del CO₂ sean elevados, volviéndose una carga viral con la capacidad de desplazar las infecciones virulentas que se puedan generar en estos recintos y con ello desarrollar consecuencias adversas de la fisiología en función del tiempo.

Si estas condiciones de los aerosoles son extremadamente elevadas, el aparato respiratorio puede verse afectado o maltratado por las agresiones graves de la propagación del COVID-19 y sus nuevas mutaciones, mismas que atacan y destruyen los mecanismos de las defensas (Sandoval Almeida, 2021), situación en la que está poco analizado por los gobernantes de Bolivia. Si esta situación en el cálculo del nivel de aforo no es controlada, se tiene la mayor vulnerabilidad de que el personal académico, como son: estudiantes, docentes y administrativos se encuentren en una incertidumbre de la celeridad del contagio del COVID-19, especialmente cuando estos tengan la opción del retorno a clases presenciales y/o semipresenciales, donde este factor epidemiológico no se agudice para la población.

En vista a esta situación, es importante tomar en cuenta los antecedentes sobre el retorno a clases presenciales (Correa et al., 2021) y experiencias descritas en otras unidades académicas (Gama-Reyes et al., 2021), además de las principales condiciones de control de aerosoles desarrolladas por otros investigadores (de Oliveira et al., 2020) que permiten analizar la situación y evidencia real de las condiciones de los ambientes de la Facultad de Medicina de la Universidad Autónoma Tomás Frías UATF (FM-UATF), para un retorno seguro a las actividades académicas presenciales.

En base a estos aspectos, se desarrolló un plan estratégico que permita tomar en cuenta las acciones metódicas y de bioseguridad, para los docentes y estudiantes al tiempo de retornar a clases presenciales, basados en un protocolo, que garantice los mecanismos de protección del individuo, la capacidad del aforo de cada ambiente y así de esta manera determinar el tiempo de prudencia mínima necesaria para la ejecución de una clase, donde en la siguiente grafica se evidencia el mismo.

Monitoreo en el nivel de concentración de aerosoles en ambientes académicos para evitar el contagio del COVID-19 en la Ciudad de Potosí, Bolivia



(a)



(b)

Figura 3. Análisis de riesgo Edificio Facultad de Medicina Bloque 4 Planta Baja, Ambiente 01
FUENTE: Base de datos de la investigación

Para comprender esta valoración cuantitativa descrita en la figura 3 (a) es importante tomar en cuenta el siguiente aspecto:

- Materia impartida Fisiología, el desarrollo de clase fue al 100% de asistencia de estudiantes, número total asistentes en el aula incluido el docente 78 personas, el volumen total del ambiente 01 es de 474.3 m^3 y un flujo de aire natural de $3.49 \text{ m}^3/\text{s}$ (ventilación natural). Además, se considera el distanciamiento físico-social entre los estudiantes de 1.08 metros, donde el tiempo máximo cronometrado de la clase impartida fue de 55 minutos.

Esta evidencia cuantitativa mostrada en la figura 3 (a), evidencia el alcance de este trabajo tomando en cuenta los parámetros fundamentales de las variables meteorológicas de la región, dando énfasis en el análisis del comportamiento del aerosol (CO₂), mismo que proporciona objetivamente el nivel de riesgo acumulado en un ambiente cuando se desarrolla las clases presenciales.

Este comportamiento de la gráfica (ver figura 3a), demuestra que a medida que aumenta el volumen de corriente, la acción del flujo conectivo se desarrolla un intercambio de gases, con la interacción del aire respirado (inhalaado y exhalado), donde los niveles del aerosol (CO₂) son incrementados, esto por causa de que las personas generan el mismo al exhalar desde el nivel más profundo en los bronquios respiratorios, a pesar de utilizar los filtros (barbijos o cubre bocas), que se degradan en función del uso y del tiempo, lo que genera una

Monitoreo en el nivel de concentración de aerosoles en ambientes académicos para evitar el contagio del COVID-19 en la Ciudad de Potosí, Bolivia

vulnerabilidad en los tiempos de permanencia. En este entendido, la evidencia de este comportamiento dentro del aula 01, muestra una concentración del aerosol (CO₂) provenientes de la acción de respiración, la misma que se acumula en el recinto, a pesar que la distancia entre estudiantes es prudente. Considerando las propiedades físicas de las corrientes de aire conectivo, esta situación desarrolla una ganancia de una cierta cantidad de energía lo suficientemente como para que tenga a lugar un intercambio eficaz de CO₂ y el oxígeno (O₂) por la difusión molecular. Por esta razón, se evidencia que al evaluar la cantidad de los aerosoles en función de la Humedad Relativa (HR) del ambiente, mismo desarrollan un mecanismo de transporte y transmisión por el aire, con un coeficiente de difusión que origina la suspensión de las partículas y aerosoles en la corriente de aire que se genera en el aula, por lo que la evidencia experimental muestra las situaciones reales a las cuales se someten las personas dentro del aula evidenciando que: la línea de color negra es en una ambiente cerrado y sin ventilación donde la concentración del aerosol es mucho las elevada que cuando el ambiente esta ventilado (línea de color plomo), lo que hace una diferencia para la toma de decisiones.

Es así que la interacción de CO₂-O₂, generan el depósito de partículas en las vías aéreas respiratoria y durante una inhalación del flujo de corriente transporta partículas con un diámetro aerodinámico menor a los cinco micrómetros (5µm), considerando que el virus de acuerdo a los estudios tiene un tamaño aproximado de 0.1µm (Comunian, Dongo, Milani, & Palestini, 2020). Entonces, si bien estas interacciones nos muestran una acción directa en el riesgo, cuando se desarrolla una clase académica con el control de personal al 100%, se evidencia también que este tiene un límite de tiempo en la prudencia a la exposición que tienen una probabilidad baja de contagio hasta los 50 minutos posterior a este tiempo, pueden quedar retenidas un 15 al 20% del aire contaminado por CO₂ dependiendo de la condición climática, el mismo que se vuelve un riesgo para la acción del aire inspirado que se interactúa con el aire de exhalación pulmonar en cada ciclo inspirado por el volumen existente en el ambiente.

Si bien los mecanismos de protección son utilizados en las clases con medidas de seguridad, es importante analizar la contrastación con otros mecanismos reales en donde se desarrollan las actividades académicas presenciales.

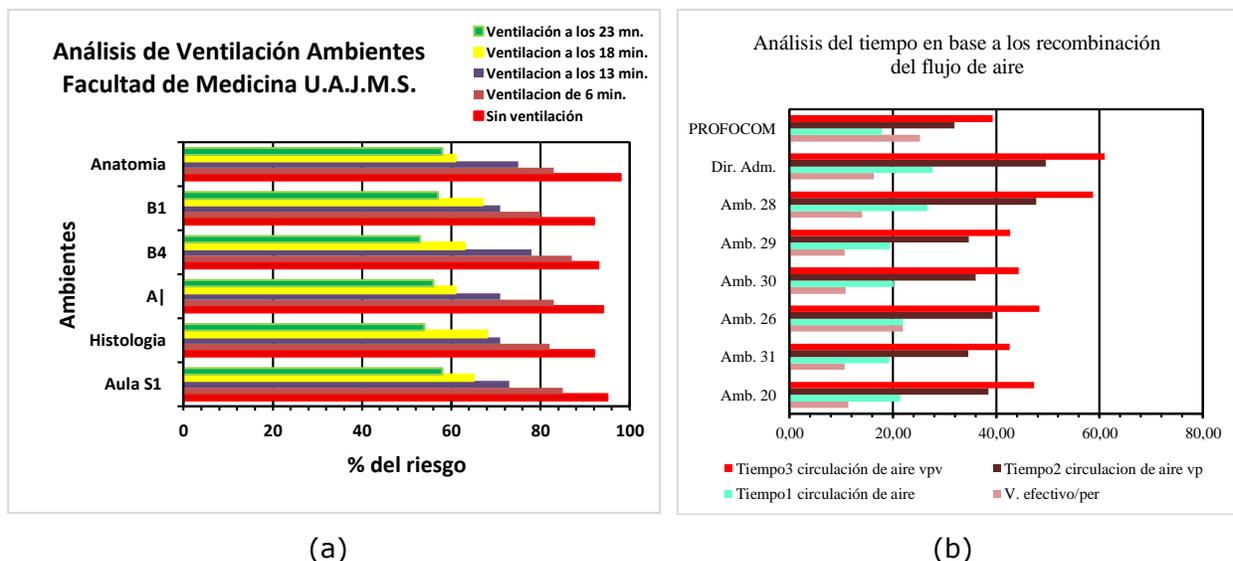


Figura 4. Analisis de riesgo del COVID-19, parámetros de ventilación natural (a) Facultad de Medicina Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, (b) Escuela Superior de Formación de Maestros Eduardo Abaroa

Monitoreo en el nivel de concentración de aerosoles en ambientes académicos para evitar el contagio del COVID-19 en la Ciudad de Potosí, Bolivia

Fuente: Base de datos de la investigación

En evidencia del análisis descrito en los ambientes de la Universidad Autónoma Tomás Frías-Potosí, los mecanismos metodológicos también se aplicaron a diferentes instituciones ya que la experiencia experimental mostro resultados concretos en la prevención, control y mitigación del COVID-19 para las clases presenciales, por lo cual se desarrollaron con un mismo procedimiento la valoración del nivel de riesgo que existe en otros ambientes donde se desarrollan las clases presenciales como son: la Escuela Superior de Formación de Maestros "Eduardo Avaroa" (ESFMEA) de la ciudad de Potosí, la Facultad de Medicina de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho de Tarija (FM-UAJMS), donde la evidencia por la concentración del nivel de los aerosoles que se muestran en la figura 4.

Para este fin también se parte del análisis del área y volumen de cada ambiente, el monitoreo para estas instituciones muestran que las condiciones físicas de la atmosfera son diferentes. Esto se debe, a las propiedades físicas donde la recirculación de aire que se encuentra en los ambientes de estos edificios tienen comportamientos, donde la densidad de aire es mayor en la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJMS) Tarija, a comparación de la Escuela Superior de Formación de Maestros (ESFMEA) Potosí, lo que origina un elevado nivel de aerosol (CO₂) en ambientes cerrados y sin ventilación.

También se evidencia que uno de los factores más principales dentro de los datos evaluados, es la cantidad de polvo en suspensión que transporta cada individuo lo que incrementa la mala calidad de aire. Además, se observó que la acción del pelo que no está cubierto, ocasiona que los niveles registrados se incrementan en un cierto porcentaje.

Por estos factores, las incidencias del elevado nivel de aerosol (color rojo) que se muestran en la figura 4 evidencia que es necesario la ventilación (recirculación) el cual mejora la calidad de aire, siendo este un factor predictor que disminuye la probabilidad de la propagación y/o contagio del COVID-19 y otros patógenos similares, los cuales aumentan su nivel de propagación viral.

Asimismo, la evaluación describe que la incidencia de la temperatura ambiente, también es un factor predeterminante para la transmisión incrementando la viscosidad del aire, el mismo que forma un vector de transmisión principal. Por lo tanto, cuando los ambientes se encuentran con las ventanas y puertas abiertas (vpa), se introduce la suficiente cantidad de aire al recinto, el mismo que realiza la ventilación necesaria reduciendo así el riesgo en un factor del 20% al 35%, dependiendo de la ubicación del ambiente.

Es importante también soslayar que la acción de la diferencia o cambios de clima ocasionan la ganancia y/o pérdida de calor, donde el análisis de psicrometría permite relacionar las variables físicas con la acción al comportamiento fisiológico, psicológico y psiquiátrico de cada individuo que asiste a estos ambientes, esto permite desarrollar el análisis del tiempo mínimo de ventilación de cada ambiente tomando en cuenta los parámetros de los límites de riesgo permisibles en cada ambiente en función a la evidencia desarrollada en el monitoreo.

Finalmente, de acuerdo a esta evaluación, en base al análisis de las figuras 3 y 4, determinan el tiempo de permanencia limite en el aula llegando a un máximo de 55 minutos, mismo que depende las condiciones de aforo, tomando en cuenta el cumplimiento de los tiempos de recombinación de aire que deben cumplirse de acuerdo al clima que se tiene, por ejemplo: para los días con clima superior a los 16 °C, el tiempo de aire recombinado promedio debe ser cada 15 minutos con periodo de 5 a 6 minutos. Si el clima esta inferior a los 15 °C el tiempo de ventilación debe realizarse cada 20 minutos por un tiempo de 3 a 5 minutos. Estos factores permitirán una regulación en la recombinación del flujo de aire, estos mecanismos permitirán tener un mejor desempeño en la actividad académica que se desarrolla en las clases

Monitoreo en el nivel de concentración de aerosoles en ambientes académicos para evitar el contagio del COVID-19 en la Ciudad de Potosí, Bolivia

presenciales dentro de la Universidad Autónoma Tomás Frías (UATF) y otras instituciones académicas.

CONCLUSIONES

De acuerdo a los datos evaluados, se evidencia que los niveles de concentración de aerosoles (CO₂) en ambientes que no tengan calculado el nivel de aforo para la concentración de personas, pueden originar una mayor probabilidad de contagio epidemiológico, no solo en el aspecto del COVID-19, sino también en otros casos virales como de resfrío que comúnmente se evidencian en la ciudad de Potosí. Asimismo, es importante considerar que con el retorno a clases presenciales a nivel de grado (Licenciatura) y escolar, se deben realizar un monitoreo exhaustivo del nivel de aerosoles, mismo que determine el tiempo máximo de permanencia para una clase. Para el caso particular del edificio de la Facultad de Medicina de la Universidad Autónoma Tomás Frías (UATF), se establece un tiempo promedio máximo de 55 minutos, esto por la prudencia que se debe tener, tiempo en el cual el aerosol empieza a tomar un mayor nivel de concentración pudiendo crear nubes de aire contaminados que facilitarían el transporte de algún tipo de virus.

Es importante manifestar que la acción de ventilación natural para la ciudad de Potosí, contempla otro riesgo en el descenso de la temperatura, el mismo que puede influir en las personas ocasionando resfríos. También es necesario considerar, que las personas no deben manipular objetos personales dentro del ambiente principalmente bolsos deportivos, donde de acuerdo a las observaciones del proceso de cuantificación de los niveles de aerosoles estos se agudizan inmediatamente generando un ambiente con elevados niveles de HR y con ello producir una evaporación que degrada y minimiza el tiempo de la cantidad de aire limpio que se concentra en el ambiente donde se efectúan las clases presenciales.

Para la seguridad de los estudiantes y docentes, en las clases presenciales se debe evaluar de manera continua el nivel de aerosoles (CO₂) y las variables meteorológicas de los diferentes ambientes donde se efectúa la clase, con un medidor que permita advertir a los implicados el nivel de concentración y tiempo restante que tiene para impartir la clase y con ello evitar o minimizar las acciones de contagio del COVID-19 y otras variantes epidemiológicas.

Si bien está establecido las recomendaciones de la OMS (OMS, 2020) y de la OPS (OPS, 2021), que mencionan implementar a las instalaciones con sistemas de ventiladores y/o extractores de aire para una buena circulación y/o recombinación de aire. Por la situación en la cual se encuentran las unidades académicas como las escuelas, colegios e instituciones de formación académica, por el costo económico que asigna a estos se evidencia que en los lugares que se desarrollaron el monitoreo y evaluación de los niveles de aerosoles para las clases presenciales, los sistemas de ventilación deben ser de forma natural en donde las ventanas y puertas deben ser abiertas en un cierto porcentaje con referente al clima de la ciudad de Potosí, por ejemplo en climas con temperatura agradable de la región deben ser abiertas entre un 80% a un 100%}, en cambio para el clima frío que generalmente se da en el turno de la noche la apertura de ventanas y puerta principal debe estar entre un 55% a un 70%, porcentajes en el cual se da una circulación de aire óptima.

Finalmente es importante considerar que el personal administrativo de las unidades académicas de educación, realicen un acondicionamiento de sus ambientes para cumplir los estándares de aforo que permitan una adecuada ventilación en el lugar de trabajo. Asimismo, estas personas deben realizar una actividad recreativa después de 2.3 horas de trabajo por un lapso de tiempo de 10 a 15 minutos, esto con el fin realizar una ventilación del ambiente donde reduzca el nivel concentrado de aerosol donde el mismo precautele el nivel de riesgo con respecto a contagio que se puede desarrollar en el mismo.

Monitoreo en el nivel de concentración de aerosoles en ambientes académicos para evitar el contagio del COVID-19 en la Ciudad de Potosí, Bolivia

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barrionuevo Núñez, J. L. (2021). El efecto del teletrabajo en el empleo en Ecuador durante la crisis sanitaria 2019-2020. *Sociedad & Tecnología*, 4(2), 223-234. <https://doi.org/10.51247/st.v4i2.106>.
- CDC. (27 de junio de 2021). *Clasificaciones y definiciones de las variantes del SARS-CoV-2*. Obtenido de <https://espanol.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/variants/variant-info.html>.
- Cieza Zevallos, J., & Uriol Lescano, C. (2020). Letalidad y la mortalidad de Covid 19 en 60 países afectados y su impacto en los aspectos demográficos, económicos y de salud. *Revista Medica Herediana*, 31(4), 214-221. doi:10.20453/rmh.v31i4.3852
- 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.
- Contreras, C., Pérez P., M., Picazo, D., & Pérez P., D. (2022). En tiempos de pandemia: de la educación presencial al entorno virtual y de regreso. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(2), 1821-1834.
- Correa, A., González L., I., Sepúlveda M., M., Burón K., V., Salinas A., P., & Cavagnaro SM., F. (2021). Debate sobre el retorno a clases presenciales en Pandemia. *Andes Pediatría*, 92(2), 174-181.
- CSIC. (6 de Noviembre de 2020). *Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua*. Obtenido de Guía para la ventilación de Aulas: <http://bit.ly/3dStV92>
- Chica Ortiz, J. L., & Pangol Lascano, A. M. (2021). La Fuerza mayor como causal de terminación de la relación laboral en Ecuador, post COVID-19. *Sociedad & Tecnología*, 4(S2), 608-623. <https://doi.org/10.51247/st.v4iS2.173>.
- de Oliveira PM, Mesquita LCC, Gkantonas S, Giusti A, Mastorakos E. (2021). Evolution of spray and aerosol from respiratory releases: theoretical estimates for insight on viral transmission. *Proc. R. Soc. A* 477: 20200584. <https://doi.org/10.1098/rspa.2020.0584>
- Félix-Arellano, E., Schilman, A., Hurtado-Díaz, M., Texcalac-Sangrador, J., & Riojas-Rodríguez, H. (2020). Revisión rápida: contaminación del aire y morbimortalidad por Covid-19. *Salud Pública De México*, 65(5), 582-289. doi:10.21149/11481
- Fernández-Tresguerres, J. (2010). *Fisiología Humana 4e*. México D.F.: McGRAW-HILL.
- Gama-Reyes, E., Sandoval-Nava, S., Sánchez-Farías, A., & Domínguez G., A. (2021). Estimación del riesgo de infección por aerosoles de SARS-CoV-2 al regreso a clases presenciales en la Facultad Mexicana de Medicina. Un estudio piloto. *Memorias del Concurso Lasallista de Investigación, Desarrollo e innovación*, 8(3), 40-43. doi:10.26457/mclidi.v8i2.3215
- Harvad T.H. Chan. (30 de Agosto de 2020). *Guía en 5 pasos para medir la tasa de renovación de aire en aulas*. Obtenido de <http://ForHealth.org>
- Ministerio de Educación Bolivia. (Enero de 2022). *Normas para la Gestión Educativa*. Obtenido de https://www.minedu.gob.bo/files/documentos-normativos/resoluciones-ministeriales/001-REGULAR_2022_MOD.pdf
- 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*.

Monitoreo en el nivel de concentración de aerosoles en ambientes académicos para evitar el contagio del COVID-19 en la Ciudad de Potosí, Bolivia

- Obtenido de https://www.mscbs.gob.es/profesionales/saludPublica/ccayes/alertasActual/nCov/documentos/Proteccion_Trabajadores_SARS-CoV-2.pdf
- OMS. (18 de Septiembre de 2020). *¿Qué beneficios proporcionaria la reapertura de las escuelas?* Obtenido de https://www.who.int/es/emergencias/diseases/novel-coronavirus-2019/question-and-answers-hub/q-a-detail/q-a-schools-and-covid-19?gclid=CjwKCAjwyvaJBhBpEiwA8d38vMgp4xepQ0pptAbpNq6jjFlpvWRfwd3bnUF7kn53p_uQm2ZcUz-_kRoCTm8QAvD_BwE
- OMS. (30 de Septiembre de 2020). *Protocolo de investigación de la transmisión de la enfermedad por el coronavirus de 2019 (COVID-19) en las escuelas y otros centros educativos*. Obtenido de <https://www.who.int/emergencias/diseases/novel-coronavirus-2019/technical-guidance/early-investigations>
- OMS. (22 de junio de 2021). *Enfermedad por el coronavirus (COVID-19): Vacunas*. Obtenido de [https://www.who.int/es/news-room/q-a-detail/coronavirus-disease-\(covid-19\)-vaccines?adgroupsurvey={adgroupsurvey}&gclid=Cj0KCQjw1dGJBhD4ARIsANb6OdnDnDO5RkV_lhVXrknjunxf8kKcs9hoaszDPSRWxjI4cIa01wIUUewaA0qBEALw_wcB](https://www.who.int/es/news-room/q-a-detail/coronavirus-disease-(covid-19)-vaccines?adgroupsurvey={adgroupsurvey}&gclid=Cj0KCQjw1dGJBhD4ARIsANb6OdnDnDO5RkV_lhVXrknjunxf8kKcs9hoaszDPSRWxjI4cIa01wIUUewaA0qBEALw_wcB)
- 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>
- Peredo Videa, R. (2020). *¿Volvemos a clases? Análisis desde la Psicología Educativa ante los efectos de la pandemia por Covid-19*. *Revista de Investigacion Psicologica*, 42-52. Obtenido de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-30322020000300007&lang=es
- Ríos Ramírez, R. (2017). *Metodología para la Investigación y redacción*. Malaga: Servicios Académicos Intercontinentales S.L.
- 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
- Salazar Orozco, R. H. (2021). *Medidas administrativas de protección en favor de niños y adolescentes en tiempos de pandemia*. *Sociedad & Tecnología*, 4(S1), 144-158. <https://doi.org/10.51247/st.v4iS1.120>
- Sandoval Almeida, S. (2021). *Opinión de los representantes del primer grado sobre las estrategias a distancia debido al COVID-19*. Santa Elena, Ecuador. *EduSol*, 21(77), 122-133. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1729-80912021000400122&lang=es.
- UNICEF. (15 de Enero de 2021). *Posición frente al regreso de clases presenciales en 2021*. Obtenido de <https://www.unicef.org/argentina/articulos/posici%C3%B3n-frente-al-regreso-de-clases-presenciales-en-2021>
- USERN. (14-16 de Marzo de 2021). *International virtual conference on Biophysics of life on earth and the COVID-19 pandemic*. *Conferencia*. India. Obtenido de <https://www.biophysics.org>
- 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
- Velarde, F., Mamani Paco, R., & Andrade, M. (2020). *Estimación de la probabilidad de contagio de covid-19 por aerosoles en ambientes cerrados: Aplicaciones a casos en la ciudad de La Paz, Bolivia*. *Revista Boliviana de Física*, 37(37), 20-30.

**Monitoreo en el nivel de concentración de aerosoles en
ambientes académicos para evitar el contagio del
COVID-19 en la Ciudad de Potosí, Bolivia**

- 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
- Zubieta-Calleja, G., Zubieta-DeUrios, N., Venkatesh, T., Das, K., & Soliz, J. (2020). COVID-19 and Pneumolysis Simulating Extreme High-altitude Exposure with Altered Oxygen Transport Physiology; Multiple Diseases, and Scarce Need of Ventilators: Andean Condor's-eye-view. *Reviews on Recent Clinical Trials*, 15(1). doi:10.2174/1574887115666200925141108.