



LA IMPORTANCIA DE UNA BUENA VENTILACIÓN

Antes, durante y después de una pandemia global.

MODELO DE ANÁLISIS DE RIESGO DE CONTAGIO POR AEROSOL.



1. RESUMEN

Desde el comienzo de la pandemia mundial por la COVID-19, ha existido un consenso internacional en cuanto a las medidas para reducir la transmisión del virus: distanciamiento social, higiene de manos y uso de mascarilla. Estas medidas son consecuencia de las vías aceptadas de contagio: contaminación por inhalación de gotículas y por contacto directo con superficies contaminadas. Sin embargo, existe un creciente número de escenarios de contagio donde la transmisión no puede explicarse por los mecanismos mencionados anteriormente pero sí mediante la transmisión por aerosoles. En ese sentido, las diferentes autoridades sanitarias han comenzado a aceptar dicha transmisión como una vía de contagio muy probable –según recoge la bibliografía más reciente–, y por consiguiente, se ha incluido también la ventilación como medida fundamental de reducción de la transmisión. Este hecho ha introducido en la sociedad un intenso debate respecto a la mayor conveniencia de la ventilación natural o de la ventilación mecánica. La ventilación natural (considerada en este estudio como ventanas abiertas) presenta la aparente ventaja de un supuesto coste cero, a expensas de sacrificar el impacto en la eficiencia energética (y de olvidar los compromisos internacionales de lucha contra el cambio climático), el confort térmico de las personas, la presencia elevada de contaminantes en el aire en entornos urbanos y la falta de control de su funcionamiento real.

A pesar de ello, el presente estudio se centra en comparar ambos tipos de ventilación únicamente en cuanto a su eficacia para reducir la probabilidad de contagio por aerosoles. A nivel de ventilación natural se simula el caudal de renovación generado abriendo ventanas y a nivel de ventilación mecánica el caudal de renovación estipulado por el Reglamento para Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE).

En este estudio se analizan tres posibles escenarios de contagio: una escuela, un bar/restaurante y una oficina, con sendas densidades de ocupación y características del evento (tiempo de exposición, caudales respiratorios, etc.) similares a situaciones reales. Para relacionar la concentración de aerosoles en el ambiente con las probabilidades de infección se emplea el modelo de Wells-Riley. Se analizan las concentraciones de partículas infecciosas, así como las probabilidades de infección en función de los caudales de renovación para diferentes tiempos de exposición.

Si bien es cierto que para obtener una probabilidad de infección inferior habría que aumentar los caudales por encima de lo indicado por el RITE (una normativa que no se calculó teniendo en cuenta un evento de contagio por aerosoles), se concluye que el caudal de renovación asociado a la ventilación mecánica cumpliendo el RITE logra reducir hasta más de tres veces el riesgo de infección respecto al caso de la ventilación natural (abrir ventanas).



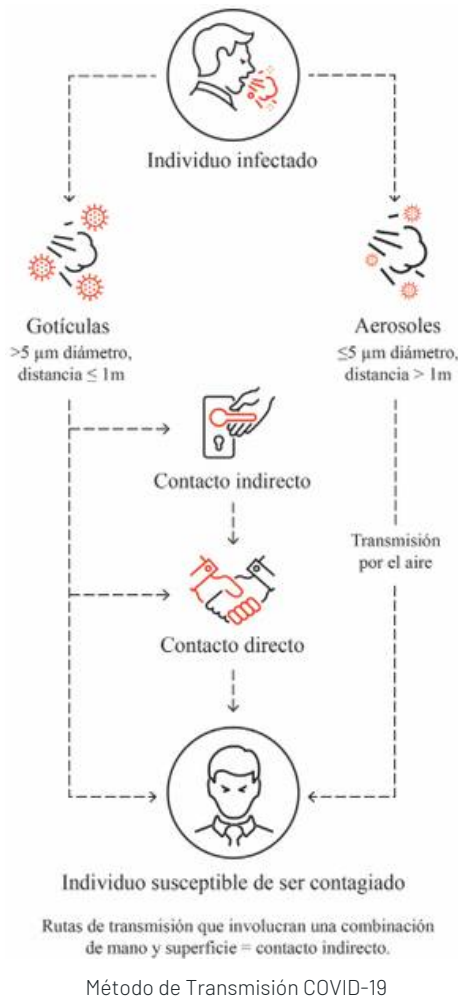


2. INTRODUCCIÓN

El 31 de diciembre del 2019 se notificó a la Organización Mundial de la Salud (OMS) sobre una serie de casos de neumonía vírica en Wuhan. El 9 de enero de 2020 se determina que el brote está provocado por un nuevo coronavirus (SARS-CoV-2). Rápidamente se convocaron las primeras reuniones para analizar este nuevo virus y el 11 de enero se obtiene la secuencia genética de este. Primero se dudó sobre la posible transmisión del virus entre humanos, pero el día 21 de enero se pudo confirmar. Sin embargo, no es hasta el 11 de marzo que la OMS declaró el inicio de la pandemia.

En un principio la OMS sugiere el distanciamiento social, el uso de mascarillas y el lavado de manos como las mejores herramientas para combatir el virus, dado que el mecanismo considerado por la OMS como el método de transmisión del virus es el contacto directo de las mucosas de la nariz, ojos o boca con las gotas/partículas infectadas. Estas partículas pueden provenir de:

1. Partículas que se emiten al hablar, respirar o estornudar. De esta manera parece poco probable la transmisión a través de estas gotas a distancias mayores de dos metros.
2. Superficies contaminadas por estas gotas, que terminan en nuestras mucosas por contacto directo. Para este caso, se estudia el tiempo que el virus puede sobrevivir sobre diferentes materiales.



Por tanto, en un principio, todos los Estados apostaron por estas medidas para paliar la alta transmisibilidad del virus. Sin embargo, al poco tiempo, muchos científicos empiezan a alertar de la posibilidad de la transmisión del virus mediante aerosoles. Los aerosoles son partículas más pequeñas que las mencionadas anteriormente que no caen tan rápidamente y se quedan flotando en el ambiente durante un tiempo elevado.

Estos aerosoles se distribuyen rápidamente por las salas y, al igual que las gotículas ya mencionadas, los aerosoles también pueden tener carga viral. Diferentes estudios han detectado la presencia de SARS-CoV-2 en aerosoles. La importancia de este método de transmisión se visualiza al considerar que una persona adulta respira de media entre 18.000 y 20.000 veces al día, respirando (y filtrando) unos 8.000 litros de aire cada día, por lo que se inhalan una gran cantidad de aerosoles presentes en el ambiente.

La importancia de la transmisión por aerosoles adquiere mayor relevancia a partir del estudio de varios eventos donde los mecanismos de transmisión descritos y aceptados por la OMS no permitían explicar el alto número de contagios derivados de dichos eventos.

A partir de este tipo de eventos, el Prof. José L. Jiménez de la Universidad de Colorado desarrolló un modelo para estimar la transmisión de la COVID-19 por aerosoles. El Prof. Jiménez y otros muchos científicos llevan ya mucho tiempo tratando de concienciar a las autoridades de la importancia de la transmisión del virus por aerosoles. Finalmente, la OMS incluyó los aerosoles como método de transmisión del COVID-19 en situaciones específicas el pasado octubre.

Queda fuera del alcance de este artículo profundizar en todos los métodos de transmisión, centrándose únicamente en la importancia de los aerosoles como método de transmisión que ni la distancia social ni el lavado de manos puede evitar.

Este artículo parte del análisis del modelo expuesto en la herramienta *Aerosol Transmission Estimator* del Prof. Jiménez, sobre el que se añaden nuevas funcionalidades y que se implementa en Python para obtener la máxima flexibilidad en cuanto a los casos de estudio y a la visualización de los resultados. El objetivo es doble: primero, analizar el riesgo de contagio si hay una persona infectada en una sala conocida (volumen, cantidad de renovaciones de aire, número de personas...); segundo, poder dimensionar correctamente la ventilación de las salas dependiendo del tipo de evento que acojan y la duración.

De esta manera, se tratará de responder a la pregunta ¿es suficiente la ventilación natural (entendida como abrir ventanas)? ¿O es necesario forzar la ventilación con la ayuda de un sistema de ventilación? Por otro lado, ¿es suficiente ventilar siguiendo los requisitos normativos vigentes? Para ello, se analizarán tres ejemplos diferentes (un aula de un colegio, un bar/restaurante pequeño y una sala de oficinas).

El presente trabajo pretende, por un lado, concienciar a todos los usuarios y a las administraciones públicas de la importancia de una correcta ventilación siempre: antes, durante y después de una pandemia global, y, por otro, validar si el marco normativo vigente, bien aplicado, es suficiente para reducir hasta niveles aceptables la posibilidad de contagio por aerosoles.





3. CASOS DE ESTUDIO

Se van a analizar varias configuraciones diferentes para cada caso (aula, bar/restaurante y oficina). Pero fijándose en las renovaciones de aire se harán:

1. Ventilación natural: se asume un caudal de ventilación natural equivalente a 0,75 renovaciones de aire por hora. La ventilación natural puede variar mucho dependiendo de las condiciones exteriores. Por tanto, el valor escogido es solo una referencia para poder analizar una configuración con ventilación natural. Se ha considerado ventilación natural a las recomendaciones oficiales de abrir ventanas.
2. Ventilación definida por el RITE.
3. Ventilación necesaria para reducir al 1% de probabilidad de infección.

Los casos expuestos a continuación son un resumen de los presentados en el estudio "La importancia de una buena ventilación: antes, durante y después de una pandemia global", escrito por Albert J. Diaz Carrasquer y Jordi Lanuza Fabregat, Ingenieros CFD del Laboratorio de aerodinámica y acústica de S&P Ventilation Group.

Para consultar el estudio completo, se puede visitar este [enlace](#).



3.1. Aula

Uno de los casos interesantes a estudiar es el de una escuela. Para ello se toma un aula de dimensiones $8 \times 8 \times 3\text{m}$ con 24 alumnos y un profesor, al que se considera infectado, donde todos ellos llevan mascarilla. Para recrear los tiempos de ocupación de las aulas, se asume que se realizan 2 horas de clase por la mañana seguidas de 30 minutos de recreo y otras 2 horas de clase. A continuación, se realiza una pausa de 2 horas para el almuerzo tras el cual se retoman las clases durante otras 2 horas. Cabe mencionar que, para los intervalos donde se vacía el aula, la concentración de dosis infecciosas en el ambiente se reduce progresivamente al no existir nuevas aportaciones.

Se puede concluir también que, cumpliendo como mínimo con las renovaciones por hora (ACH) recomendadas por el RITE, se consigue eliminar prácticamente la totalidad del virus en las pausas establecidas mientras que esto no es posible solo con ventilación natural.

Una vez analizada la concentración de dosis infecciosas en el ambiente, se procede a calcular la probabilidad acumulada de infección en función de las renovaciones por hora disponibles.

Para el caso de ventilación natural, la probabilidad de infección es de aproximadamente un 6%, lo que significa que se contagiaría un alumno al final de la jornada escolar. Para el caso de las renovaciones por hora indicadas en el RITE, con las que se obtiene una probabilidad de contagio tres veces menor que con ventilación natural (abriendo ventanas), y para las correspondientes a una probabilidad del 1%, no se produciría ningún contagio entre el alumnado.

Sin embargo, con la hipótesis de que el profesor acudiera al aula durante 4 días siendo infeccioso (hipótesis razonable dado el tiempo que se tarda en manifestar síntomas): con ventilación natural, la probabilidad acumulada se situaría en el 21%; con las renovaciones por hora establecidas por el RITE, la probabilidad se sitúa en aproximadamente un 7%, mientras que para la cantidad de renovaciones por hora correspondientes a la probabilidad del 1% se situaría en el 4%. Si se calcula de nuevo el número de alumnos contagiados al cabo de 4 días se desarrollarían 5, 2 y 1 contagios, respectivamente.

Si se considera el caso sin ventilación, solo considerando las posibles fugas (se ha contado como 0,2 ACH), se ve que el riesgo de infección diario aumenta hasta el 7,8%. Esto implica que al final de la jornada se contagiarían 2 alumnos y, pasados 4 días, 7 alumnos.

Otro caso interesante de estudiar es el de un alumno infectado. En este caso, debido a que la cantidad de quanta exhalado por el alumno será del orden de la mitad, las probabilidades de infección también lo serán. Si se considera el número de alumnos infectados al final del día, se acabarán contagiando 1 y 0 alumnos respectivamente para el caso con ventilación natural y con la ventilación marcada por el RITE. Si se considera la cantidad de contagios antes de que el alumno manifieste síntomas (4 días) serían 2 y 1.

Por último, se ha considerado añadir un caso replicando las recomendaciones institucionales publicadas tras la ola de frío. Se aconseja aplicar una estrategia de “ventilación intermitente”, por la que se abren las ventanas durante 10 minutos al final de cada hora. Así, se han modificado los tramos definidos para este caso para satisfacer la secuencia de 50 minutos de ventanas cerradas y 10 minutos de ventanas abiertas, considerando que en los tramos en que el aula está desocupada (desayuno y almuerzo), se mantienen las ventanas abiertas todo el tiempo. En el caso de las ventanas cerradas, se ha considerado un caudal de renovación equivalente a las posibles fugas en el aula de 0,2 ACH, mientras que, con las ventanas abiertas, se ha considerado un caudal de 8 ACH. Se ha escogido este caudal ya que fue el caudal máximo conseguido en un aula con la ayuda de un sistema de climatización y ventiladores. Por tanto, el resultado obtenido será la probabilidad de infección en un caso muy favorable en términos de renovación del aire. La variabilidad de los caudales de renovación a la que está sujeta la ventilación natural es muy alto y no controlado.

Se comprueba que las concentraciones máximas alcanzadas, aplicando lo estipulado en el RITE para este caso (entre 5 y 6 renovaciones por hora), son aproximadamente tres veces inferiores a las alcanzadas por la “ventilación intermitente”. Adicionalmente, las probabilidades de infección para este nuevo escenario se sitúan en el 4,8%. Así, se produciría 1 contagio al final del día y 4 al cabo de 4 días, frente a los 0 y 2 que se producirían con la ventilación estipulada por el RITE.



3.2. Bar/Restaurante

Se analizan ahora dos casos plausibles en un bar/restaurante. Se asume un local de 90 m^2 de superficie, con un volumen total de 270 m^3 , un aforo de 35 clientes, todos sin mascarilla, y un camarero, con mascarilla. El servicio del restaurante se divide en dos turnos de 2 horas cada uno tras cada uno de los cuales se renueva la clientela. En el primer caso se toma a uno de los camareros como infeccioso, portando mascarilla. En el segundo caso se considera que uno de los clientes del primer turno está infectado y que no hay ningún cliente infectado en el segundo turno.

Puesto que entre el primer y el segundo turno se renueva la clientela, se deben de considerar por separado las probabilidades de infección de cada uno, ya que al principio del primer turno el ambiente está libre de quanta (dosis del patógeno en aerosol, la inhalación de la cual conduce a una infección con una probabilidad del 63,3%) mientras que al inicio del segundo turno hay una concentración de quanta dependiente de la cantidad de renovaciones de aire.

Se puede concluir de forma cuantitativa que para el caso de clientes de un restaurante comiendo sin mascarilla, es fundamental disponer de un adecuado sistema de ventilación para asegurar que, en el caso de que un cliente infectado acudiera al local, su aportación de dosis infecciosas al ambiente se disipe lo más rápido posible y reducir considerablemente el riesgo para los clientes del turno posterior.

Se observa que, al igual que en el caso del aula, si se cumple con la cantidad de renovaciones hora marcada por el RITE, se reduce a más de la mitad el riesgo de infección. En cuanto a los contagios y considerando para cada caso los caudales de ventilación natural, renovaciones establecidas por el RITE y renovaciones necesarias para obtener una probabilidad equivalente del 1%, se obtienen los resultados presentados en la siguiente tabla:

Ventilación	Caso 1: Camarero infeccioso con mascarilla			Caso 2: Comensal del 1er turno infeccioso sin mascarilla		
	Natural	RITE	<1%	Natural	RITE	<1%
Primer Turno	2	1	0	2	1	0
Segundo Turno	2	1	0	1	0	0

Número de personas contagiadas en el caso del bar/restaurante



3.3. Oficinas

Se plantea ahora estudiar las probabilidades de infección en una oficina de 260 m^2 y 780 m^3 de volumen, ocupada por 40 trabajadores (uno de los cuales es infeccioso) durante una jornada intensiva de 7h para diferentes niveles de ventilación. Se distingue entre un caso donde todos los trabajadores llevan mascarilla y otro donde los trabajadores no llevan mascarilla.

Se observa que las concentraciones de equilibrio para los mismos niveles de ventilación son el doble de altas cuando los trabajadores no llevan mascarilla que cuando la llevan (para los casos donde las renovaciones están fijadas).

Así, con los trabajadores sin mascarilla se producirían 4, 2 y 0 contagios respectivamente para ventilación natural, las renovaciones estipuladas por el RITE y las necesarias para alcanzar una probabilidad inferior al 1%. En cambio, si los trabajadores llevaran la mascarilla se producirían 1 y 0 contagios para ventilación natural y las renovaciones estipuladas por el RITE (que en este caso equivalen aproximadamente al 1%).

Ahora, se retoma la hipótesis planteada en el estudio del aula y se asume que uno de los trabajadores acude 4 días seguidos a la oficina siendo infeccioso. En este caso, sin la mascarilla se producirían 13, 7 y 2 contagios respectivamente para ventilación natural, las renovaciones estipuladas por el RITE y las necesarias para alcanzar una probabilidad inferior al 1%. Con las mascarillas, sin embargo, las cifras de contagios se reducirían a 4 para la ventilación natural y 2 para las renovaciones estipuladas por el RITE.



4. CONCLUSIONES

Se demuestra que el modelo presentado en este artículo es una herramienta eficaz para el análisis y dimensionamiento de una instalación de ventilación mecánica (caudal de renovación necesario) en el actual contexto de pandemia, así como para evaluar el efecto relativo de diferentes medidas de prevención contra el virus (tiempo de exposición, uso de la mascarilla, renovaciones de aire por hora).

Los resultados confirman la importancia de una ventilación adecuada y refuerzan los argumentos a favor del uso de sistemas de ventilación mecánica. En concreto, la ventilación mecánica permite obtener caudales de renovación más elevados que la ventilación natural (en la mayoría de los casos), lo que resulta en menor probabilidad de infección. Además, evita la entrada de ruido y contaminantes del exterior, favorece el ahorro energético y permite mayor flexibilidad en cuanto a la ventilación de diferentes espacios. A pesar de que la literatura demuestra que, en condiciones específicas, los caudales de renovación natural, considerada en este artículo como abrir ventanas, pueden oscilar desde valores cercanos a cero hasta una decena de renovaciones por hora, queda también patente que se tiene un control muy limitado sobre dichas condiciones. Por ello, se enfatiza que la ventilación forzada es especialmente apropiada pues permite controlar con exactitud el caudal de renovación y mantenerlo acorde a las necesidades independientemente de factores externos (cantidad, tamaño y ubicación de las aberturas, gradiente térmico interior-exterior, etc.).

Se ha analizado también el impacto de cumplir los requisitos normativos (RITE) en cuanto a las probabilidades de infección. En los casos analizados, se comprueba que con los caudales de renovación del aire interior definidos por el RITE se logra reducir hasta más de tres veces la probabilidad de infección respecto al caso con las ventanas abiertas. En el caso de querer reducir más la probabilidad de infección, sería necesario dimensionar las instalaciones con un mayor caudal de renovación del aire interior que el marcado por la norma. Sin embargo, cabe destacar que el RITE no ha sido concebido en un contexto de pandemia y riesgo de contagio por aerosoles.

En el caso de las aulas, caso al que se le ha dedicado una importante atención mediática, una ventilación mecánica cumpliendo los caudales establecidos en el RITE consigue eliminar casi por completo la concentración de virus en el aula en el tiempo del recreo (30min) y por completo en la parada de dos horas para comer. Sin embargo, únicamente abriendo ventanas, no se consigue eliminar la concentración de virus presente en el ambiente en ninguno de los dos casos.



Todos los derechos de propiedad intelectual referidos al presente documento pertenecen en exclusiva a Soler & Palau Ventilation Group S.L.U., quedando totalmente prohibida la reproducción total o parcial del mismo en cualquier soporte sin su consentimiento expreso.

