



## Simulación numérica de la probabilidad de contagio de COVID-19 usando CFD

Norberto Fueyo | Ana Cubero | Guillermo Güemes  
Grupo de Fluidodinámica Numérica (UZ) e I3A

Análisis recientes parecen indicar que los aerosoles que emitimos al respirar y hablar son un mecanismo relevante en la transmisión del COVID-19, junto con la transmisión por gotas y por contacto. Los aerosoles son gotas muy pequeñas (de tamaño típicamente inferior a una centésima de milímetro) que, al contrario que las gotas más grandes, pueden permanecer mucho tiempo suspendidas en el aire, y ser transportadas por este.

Un grupo de investigadores del Grupo de Fluidodinámica Numérica, pertenecientes al Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A), han desarrollado una metodología para estimar la probabilidad de transmisión del COVID-19 en espacios cerrados usando técnicas de Fluidodinámica Computacional (CFD).

La metodología se basa en la solución de una ecuación de transporte para la concentración volumétrica de quanta en cada punto de dominio de interés. Un quantum es una cantidad de virus que, de ser inhalados por una persona susceptible, resulta en una probabilidad del 63% de contagio.

Los quanta en el modelo son emitidos por una persona contagiada, y su movimiento en el espacio y el tiempo es resuelto junto con las ecuaciones de conservación de la masa de aire y de su cantidad de movimiento. El resultado es una distribución espacial y temporal de los quanta, por ejemplo, en un aula, en un comercio, o en un medio de transporte. El postprocesado de esta cantidad de quanta a la que está expuesto una persona susceptible permite calcular la probabilidad de contagio.

La metodología es una alternativa a los modelos cero-dimensionales que se usan para una evaluación rápida de la probabilidad de contagio en espacios cerrados (ver por ejemplo JL Jiménez, <https://tinyurl.com/covid-estimator>). Los modelos propuestos por los investigadores del I3A proporcionan estimaciones más detalladas de la probabilidad de contagio, y pueden utilizarse para estudiar el efecto de estrategias alternativas de ventilación.

Por ejemplo, la aplicación a un aula universitaria indica que, con las precauciones adecuadas, la presencia de un contagiado no resulta en un episodio de supercontagio; al contrario, con estas precauciones es relativamente seguro asistir a una clase o a un examen. Las precauciones necesarias son: el uso de mascarillas, la distancia de separación y, críticamente, una suficiente ventilación.

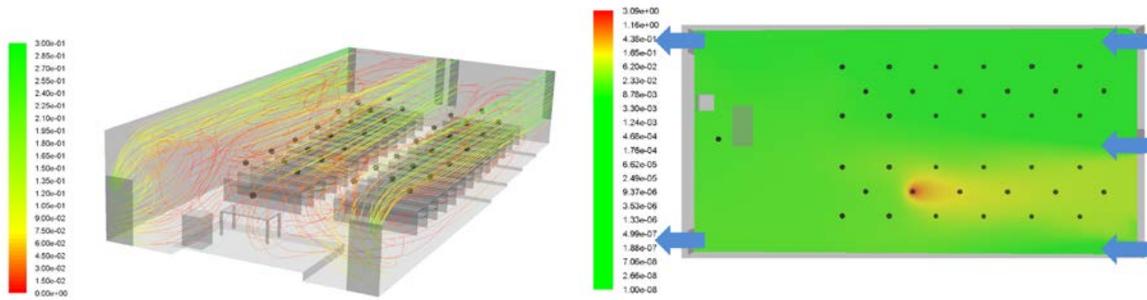


Figura 1: Izquierda: flujo de aire en aula bien ventilada (líneas de corriente coloreadas con velocidad). Derecha: distribución de quanta (quanta/m<sup>3</sup>)

La figura 1 muestra, a la izquierda, el patrón de flujo en un aula universitaria típica, bien ventilada de las ventanas (que tienen pequeñas aberturas para permitir la entrada de aire) a las dos puertas. La ventilación es equivalente a 4.85 renovaciones por hora, o aproximadamente 14 litros por ocupante y segundo. Los estudiantes se encuentran bien distanciados (el aula, con capacidad para 120 estudiantes, solo está ocupada por 36). La figura 1 (derecha) muestra la distribución de quanta en el aula. La ventilación induce una zona de recirculación en la bancada, y propaga hacia atrás los quanta emitidos por un estudiante contagiado.

La inhalación de quanta por los individuos susceptibles en los 50 minutos de clase determina la probabilidad de transmisión de la enfermedad. La figura 2 (izquierda) muestra esta probabilidad en el aula a la altura de la cabeza de los estudiantes. La probabilidad de transmisión en estas condiciones es muy baja. La alumna situada inmediatamente detrás es la más expuesta, y tiene una probabilidad de contagio de alrededor del 0,1% tras cincuenta minutos. (Sin embargo, un modelo cero-dimensional predeciría probabilidades típicamente diez veces menores en las mismas circunstancias.) Si nadie usa mascarilla, la probabilidad de contagio de la estudiante más expuesta se multiplica casi por cuatro.

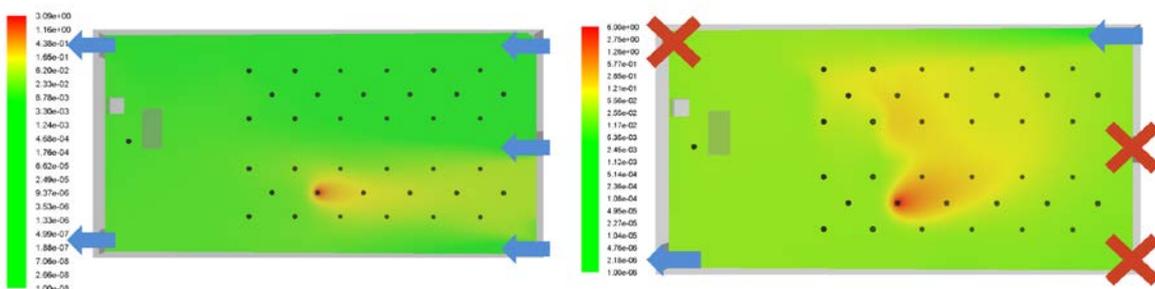
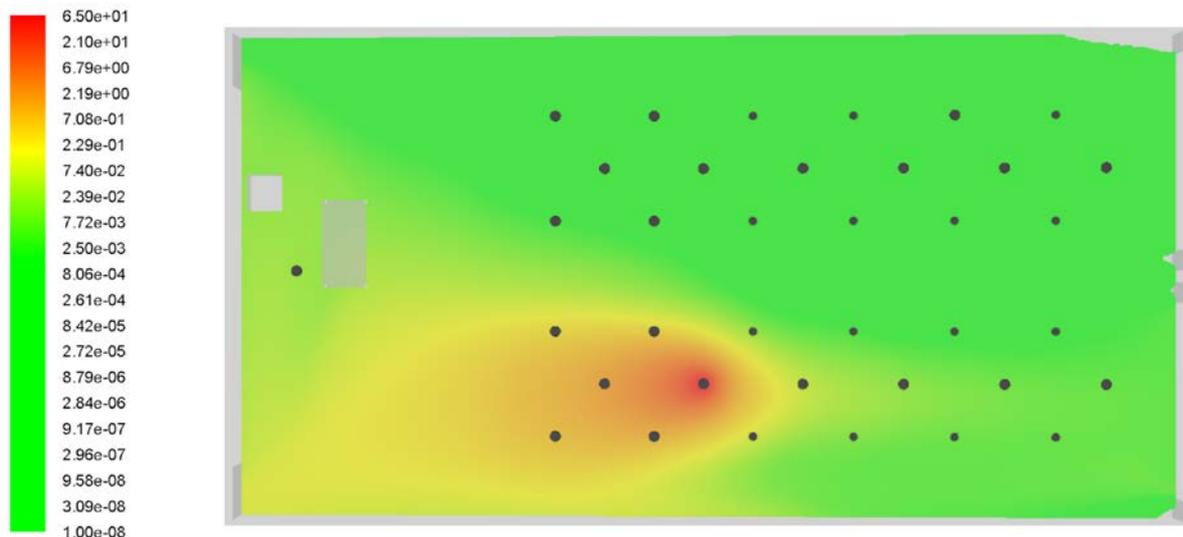


Figura 2: Probabilidad de contagio (%) con 4,85 renovaciones por hora (izquierda) y con 1,45 renovaciones por hora y ventilación en diagonal (derecha)

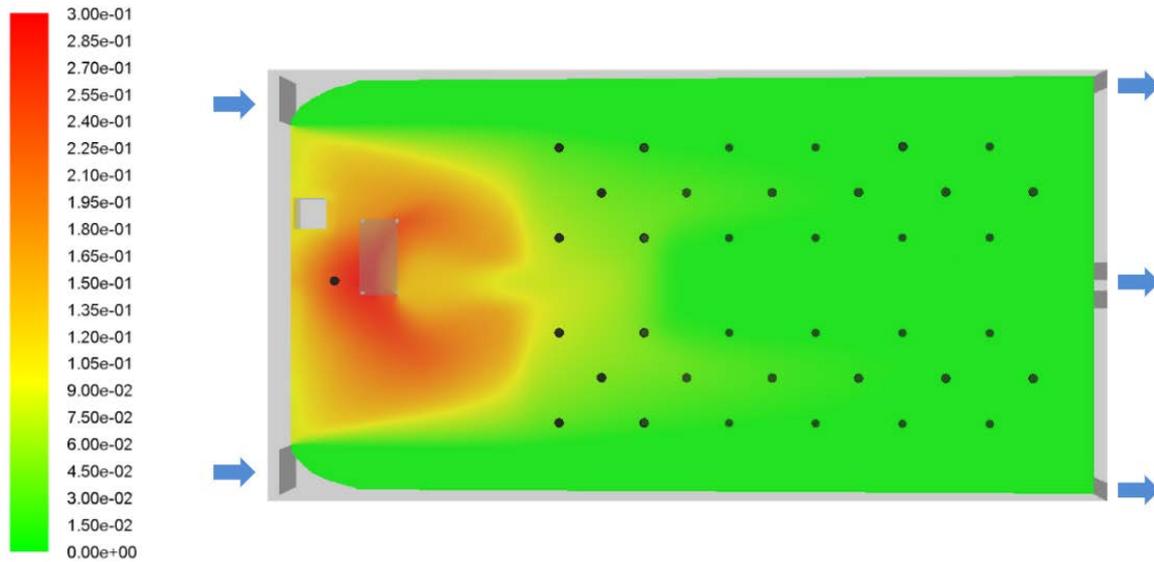
La ventilación tiene un efecto sustancial en la distribución de la probabilidad de contagio en el aula. Por ejemplo, si la ventilación en lugar de ser longitudinal, de ventanas a puertas, fuera en diagonal, con una sola ventana y una sola puerta abiertas en esquinas opuestas, la ventilación disminuiría, para las mismas condiciones ambientales fuera del aula, de unas 5 renovaciones de aire por hora a unas 1,5. Combinado con el peor patrón del flujo de aire en

el aula, esto resulta en probabilidades de contagio más elevadas en zonas más extensas del aula (figura 2, derecha).

Si la ventilación se reduce a 0,25 renovaciones por hora, que es la tasa típica en una habitación cerrada en la que la ventilación es debida solo a las infiltraciones de aire, la probabilidad de contagio es superior al 1% para varios alumnos (figura 3), a pesar de que la emisión de quanta por el contagiado es relativamente baja, correspondiente a su respiración en reposo y con mascarilla. El patrón de circulación de aire en el aula resulta ahora en que los estudiantes más expuestos son los sentados delante del contagiado.



Una profesora contagiada presenta un mayor riesgo de transmisión (figura 4), porque su emisión de quanta al hablar es más de diez veces superior a la de un alumno en reposo. Sin embargo, con el uso de mascarilla (tipo FFP), y con distancia y ventilación, la probabilidad de transmisión a los alumnos es muy pequeña, incluso en el caso más desfavorable en el que la corriente de ventilación mueve los quanta hacia los alumnos, como indica la figura 3.



*Figura 4: Probabilidad de transmisión (%) cuando la profesora está contagiada, y la ventilación (4,85 renovaciones por hora) es de puertas a ventanas*

El modelo utilizado discretiza el aula con unos 2 millones de celdas poliédricas (equivalentes a aproximadamente 9 millones de celdas tetraédricas). Los cuerpos de los ocupantes no están representados en el modelo, pero sí el mobiliario. La turbulencia se simula mediante un modelo de turbulencia RANS. Los cálculos son todos en estado estacionario, y por tanto las estimaciones de probabilidad de contagio son conservadoras, comparadas con la simulación del transitorio desde un aula limpia.

Más información:

<https://tinyurl.com/cfd-covid19>

Contacto:

Norberto Fueyo, [Norberto.Fueyo@unizar.es](mailto:Norberto.Fueyo@unizar.es)