

# Estimación del riesgo de contagio a partir de la concentración de CO<sub>2</sub>

Carlos Villanueva Mariz

- 1 Objetivo
- 2 Planteamiento
- 3 Resultados
- 4 Referencias

A partir de la concentración de  $\text{CO}_2$  medida por Nebula, y relacionándola con la calidad de la ventilación, ofrecer una estimación del riesgo de contagio en un microambiente.

En la última sección se estudia el caso particular del aula de un colegio para tres niveles de ocupación (20, 30 y 40 alumnos).

# Planteamiento

El modelo aplicado para valorar el riesgo de contagio por aerosoles fue planteado por Gammaioni y Nucci (1997). En [1] pueden consultarse detalles sobre su utilización durante el brote en Italia para comprobar en diversos microambientes la efectividad de las medidas impulsadas por el gobierno para frenar la expansión del virus.

Dicho modelo permite evaluar la carga viral en interiores a través de la expresión

$$n(t) = \frac{ER_q \cdot I}{IVRR \cdot V} + \left( n_0 + \frac{ER_q \cdot I}{IVRR} \right) \cdot \frac{e^{-IVRR \cdot t}}{V} \quad (\text{cuantos/m}^3) \quad (1)$$

Un cuanto se define como la cantidad de núcleos en suspensión necesaria para infectar a un 63% de los individuos susceptibles.

$$n(t) = \frac{ER_q \cdot I}{IVRR \cdot V} + \left( n_0 + \frac{ER_q \cdot I}{IVRR} \right) \cdot \frac{e^{-IVRR \cdot t}}{V} \quad (\text{cuantos/m}^3)$$

- $I$ : número de infectados (aproximados mediante un modelo SIR).
- $n_0$ : cantidad inicial de cuantos en el espacio.
- $ER_q$ : tasa de emisión de cuantos (cuantos/hora), específica para cada enfermedad, y dependiente del nivel de actividad física del individuo. Para que (1) sea válida, es necesario suponerla constante.
- $V$ : volumen del recinto considerado ( $\text{m}^3$ ).
- $IVRR$ : índice de eliminación del virus ( $\text{en horas}^{-1}$ ), que se obtiene como la suma de tres parámetros.

Concretamente,

$$IVRR = k + \lambda + AER \quad (2)$$

donde  $k$  representa la deposición de partículas sobre superficies,  $\lambda$  la inactivación viral, y  $AER$  (tasa de renovación de aire) está relacionada con la efectividad de la ventilación.

Los dos primeros valores son constantes;  $AER$  se determina empleando la concentración de  $CO_2$  medida como un indicador de la eficacia de la ventilación. Se propone para ello la siguiente tabla:

$CO_2$ (ppm)	250-400	400-1000	1000-2000	2000-5000
$AER$ ( $h^{-1}$ )	4	2.1	1.1	0.2

Así, a niveles elevados de  $CO_2$  corresponden valores de  $AER$  más bajos (peor ventilación).

Integrando en (1) la concentración de cuantos a lo largo del tiempo de exposición de cada individuo ( $T$ , en horas; en el caso del aula podemos suponerlo igual para todos los alumnos), se obtiene el riesgo de infección

$$R = \left(1 - e^{-IR \int_0^T n(t)dt}\right) (\%). \quad (3)$$

La constante  $IR$  es la tasa de inhalación (en  $\text{m}^3/\text{horas}$ ). A partir de  $R$  es posible calcular el número reproductivo básico,  $R_0$ , multiplicándolo por el número de personas expuestas.

El valor de  $R_0$  se usa entonces para juzgar si las condiciones del espacio son seguras o no.

En la ejecución del código se considera el caso de un aula en la que inicialmente hay un infectado; el tiempo de exposición ( $T$ ) es de tres horas. Se maneja una ligera variación del SIR expuesto en la asignatura de Métodos Numéricos, adaptado con la ayuda de [2]. Para las constantes, se tomaron (con [1] como referencia) los siguientes valores:

$ER_q$	110	$\lambda$	0.63
$V$	190	$T$	3
$k$	0.24	$IR$	0.54



# Resultados

Con estos datos, se obtuvieron los siguientes valores de  $R_0$ :

$\text{CO}_2$ (ppm) \ N° alumnos	250-400	400-1000	1000-2000	2000-5000
20	0.29	0.49	0.75	1.39
30	0.44	0.74	1.13	2.08
40	0.58	0.98	1.50	2.78

De este modo, si el número de alumnos es veinte, es necesario alcanzar una concentración muy elevada de  $\text{CO}_2$  (mala ventilación) para que el riesgo de contagio sea significativo.

Si es treinta,  $R_0$  sobrepasa antes el valor uno, y en la franja más elevada se observa un riesgo considerable.

Lo mismo sucede de nuevo al pasar a cuarenta alumnos, alcanzándose un nivel de riesgo más elevado para concentraciones bajas.



Buonanno, G., Stabile, L., Morawska, L. (2020). *Estimation of airborne viral emission: Quanta emission rate of SARS-CoV-2 for infection risk assessment*, Environment International, Volume 141, 105794, ISSN 0160-4120, <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105794>.



Cooper, I., Mondal, A., Antonopoulos, C. G. (2020). *A SIR model assumption for the spread of COVID-19 in different communities*. Chaos, solitons, and fractals, 139, 110057. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2020.110057>.