

## Análisis

### COVID-19: más allá de su alta infectividad...

#### *¿Por-qué nos contagiamos tanto?*

### Integrando los nuevos conceptos de aero-biología, dinámica de fluidos respiratorios y carga viral.

Dr. Martin Lombardero

20 de abril 2020

En términos de aero-biología (ciencia que estudia la dinámica de fluidos respiratorios), los humanos generamos en cada exhalación, al hablar, expectorar, suspirar, toser y estornudar, microgotas que varían en un rango menor a 10 micras, y que históricamente se las ha dividido por tamaño: <10 micras microgotas “grandes” y < 5 micras microgotas “chicas”. Las microgotas están compuestas por filamentos y gotitas mucosales además de células del sistema inmune, electrolitos y residuos (núcleos) que quedan después de su evaporación. Y virus... en casos de infección (con y sin síntomas)

La microgota también se las clasificó de acuerdo a la distancia que puedan recorrer (que a su vez dependerá de factores físicos como humedad, densidad del aire, evaporación, temperatura según tamaño). Es decir, las microgotas “grandes” (<10 micras) caerán más rápidamente en cortas distancias; y las más livianas (y también por efecto de evaporación), recorrerán más distancia... Esto ya fue descrito en 1930<sup>1</sup> (en casos de TBC), donde las pequeñas gotas deshidratadas se transformaban en residuos “secos” denominados núcleos. Durante años se aceptó el término de gotas grandes y pequeñas. Conceptos a su vez tomados de la primera descripción de Carl Flugge (1897). Y de ahí el término transmisión por gotitas de “flugge” usado hasta el día de hoy, donde la transmisión de enfermedades respiratorias era por microgotas grandes (< de 10 micras) o pequeñas (< de 5 micras). Incluso para explicar la vía de contagio del COVID-19

En un estornudo, aproximadamente 40.000 microgotas son expulsadas a una velocidad de 75 mts/seg (promedio) y pudiendo alcanzar un recorrido de 6 metros o por datos recientes hasta 8 metros<sup>2</sup>.

Toser expulsa alrededor de 3000 microgotas y alcanza los 2 metros de distancia a una velocidad de 10 metros /seg. Y hablar durante “5 minutos” supone lo mismo que toser (3000 microgotas de carga) a una velocidad de 1 metro/seg y alcanza 1 metro de distancia.<sup>3</sup>

A pesar de estos datos, el Centro para el Control y Prevención de Enfermedades de los Estados Unidos (CDC) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) hasta hace muy pocos días recomendaba solo 2 metros de distancia interpersonal, en una enfermedad (COVID19) que tenía aun sin control a las principales potencias del hemisferio norte.

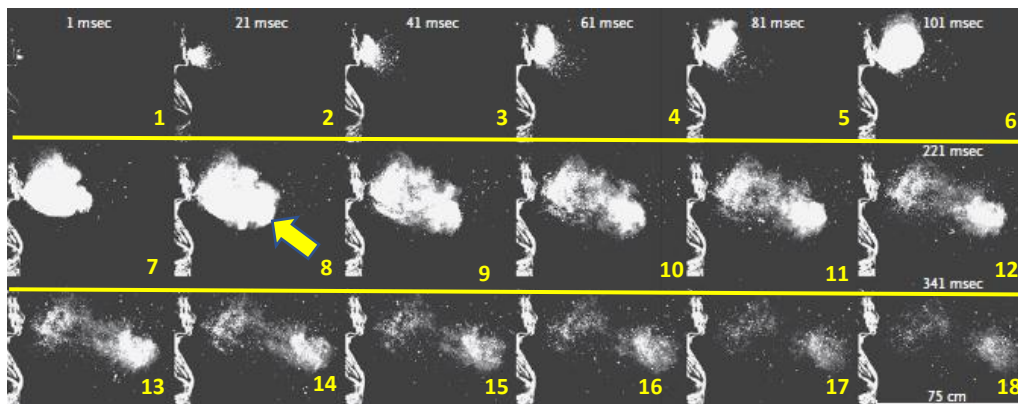
**Pero el concepto de dinámica de los fluidos respiratorios ha sido reformulado, ampliado y desarrollado recientemente por la directora del Laboratorio de Transmisión de Enfermedades y Dinámica de Fluidos, Lydia Bourouiba del Massachusetts Institute of Technology (MIT, EEUU), quien agrega conceptos inéditos a la dinámica de la aero-biología en enfermedades de transmisión respiratoria<sup>4</sup>.**

Trabajando con un **estornudo real** (no con modelos de simulación, ni colorantes o contaminantes), se analizaron imágenes a 1000 cuadros/seg, cada 20 mseg. Bourouiba demostró que el aire expulsado forma una **GRAN NUBE DE GAS TURBULENTO de aire caliente y húmedo**. Lo mismo se vió en **exhalación y en la tos**. Las microgotas no solo siguen una trayectoria “tipo bala” de corto alcance, con gotas pesadas que caen; sino que forman una NUBE TURBULENTO **que atrapa el aire ambiental...** y se traslada a distancias variables con múltiples tamaños de microgotas en su interior.

**Dentro de esta nube, la atmosfera es cálida y húmeda. Los virus quedan atrapados en las microgotas de todos los tamaños y “viajan” dentro de la nube. A medida que la nube se desplaza, y dependiendo de las condiciones de temperatura y humedad ambiental, grado de turbulencia, velocidad de desplazamiento, flujo de aire... las microgotas van contaminando las superficies en su recorrido o se van evaporando (deshidratando) dentro la**

nube... que termina con residuos (núcleos de gotas) **que pueden permanecer en aire suspendidas por horas**. Incorporamos el concepto de la 3er vía de contagio: las microgotas deshidratadas ultralivianas transformadas en micropartículas (aerosoles<sup>5</sup>) que podrían contener virus. Sin embargo este aerosol residual estaría influido por corrientes de aire y ventilación, siendo relativamente sencilla su dispersión.

Este fenómeno se relaciona también con la dinámica interna de la nube turbulenta, con la composición del líquido exhalado, con la ventilación del lugar y sistemas de control climático del lugar (elementos de un auténtico microclima). Y, además, muy importante, en China encontraron partículas de virus COVID-19 en los sistemas de ventilación de Hospitales: este hallazgo apoya la idea que una nube de gas turbulento se desplaza en una habitación de un paciente COVID-19+ (aunque no queda clara su importancia clínica).



Estornudo con 1000 f/s. En estos 18 cuadros 20 mseg de diferencia se observa el desarrollo de la gran Nube de Gas Turbulenta que atrapa el aire ambiente. Se observa en cuadros 3, 4 y 5 el comienzo de la Nube de Gas Turbulenta, y en los nros. 6, 7, 8 y 9 su expansión. En los cuadros finales el inicio de la dispersión, con ya deshidratación de las microgotas con diferentes tamaños. (A Sneeze. Lydia Bourouiba, N Engl J Med 2016; 375:e15 DOI: 10.1056)

Bourouiba no estudió la aero-biología de microgotas de pacientes portadores de virus COVID19, pero **este modelo de NUBE DE GAS TURBULENTO CALIENTE Y HUMEDA puede aplicarse a la dinámica de transmisión de cualquier virus respiratorio**. Esto implica que la **distancia interpersonal recomendada de 2 metros subestima la capacidad de transmisión área de un virus respiratorio** que encima tiene alto rango de infectividad (recordar

tasa de infectividad es  $R_{sub0}$  de 3 promedio para COVID-19= el primer paciente infecta a 3)). **Por lo tanto... en lugares cerrados, con circulación de pacientes sintomáticos e individuos asintomáticos y con distancia interpersonal imposible de controlar, es esperable un alto grado de contagios**, basándonos en la dinámica de flujo de la nube de gas turbulento y microgotas ultralivianas propuesto por Bourouiba.

*Además, se agrega la carga viral con alta tasa de infectividad que tienen los pacientes asintomáticos, y los sintomáticos en los primeros días de incubación<sup>6</sup>.*

**El concepto de la dinámica de la nube de gas turbulento (y sus residuos: las microgotas deshidratadas ultralivianas o aerosoles) deberían influir en la composición, diseño, tamaño y nivel de filtrado de máscaras oro-nasales médicas y no médicas**, tanto para que un paciente COVID-19 + cuide al prójimo (ya sea asintomático o en periodos de incubación de un sintomático. O para que el usuario de la máscara oro-facial se proteja.

La eficacia protectora de los barbijos N95 dependerá de su nivel de capacidad de filtrar los núcleos de gotas deshidratadas (aerosoles). Hoy **ningún barbijo medico toma en cuenta la protección que implican aerosoles en el aire**. Y si bien, no ha sido probado aun (no será fácil hacerlo), el barbijo N95 debería por definición ser la mejor alternativa para cuidar a los usuarios de la aspiración de **aerosoles residuales** de la NUBE DE GAS TURBULENTA inicial **que quedaron flotando en escenarios de alto riesgo de contagio y SIN VENTILACION.**



Exhalación fase media



Tos inicio con Gran Nube de Gas T.



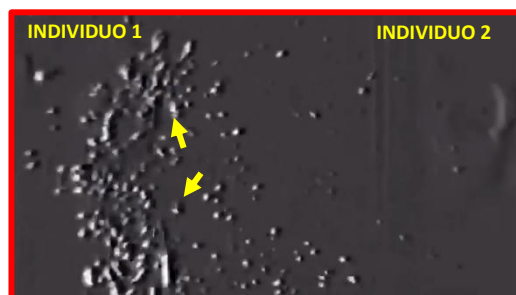
Estornudo con Gran Nube de Gas T.

Exhalación, Tos y Estornudo con 1000 f/s. En Tos y Estornudo observen el comienzo de la Nube de Gas Turbulenta. ([Turbulent Gas Clouds and Respiratory Pathogen Emissions Potential Implications for Reducing Transmission of COVID-19. Lydia Bourouiba, PhD JAMA. March 26, 2020. doi:10.1001/jama.2020.4756](https://doi.org/10.1001/jama.2020.4756))

También el **Dr. Kazuiro Tateda**, presidente de la Asociación de Enfermedades Infecciosas de Japón, refiere (en una hipótesis en la misma línea de Bourouiba) que podría haber **una tercera vía de contagio**, con partículas micrométricas ultralivianas (microgotículas) que pueden estar **suspendidas en el aire en lugares sin ventilación**, e inclusive en un dialogo habitual entre dos personas con cierta distancia. Lo demostró en un video explicativo con cámaras ultrasensibles, sistema laser y software diseñados para detección de micropartículas de 0.1 micras. <sup>8</sup>



Kazuiro Tateda: Estornudo con imagen Similar a la Nube de Gas Turbulenta de Bourouiba. Cámara U.S. y sistema laser



Kazuiro Tateda: Conversación entre dos individuos, con cierta distancia interpersonal. Obsérvese las múltiples microgotículas del Individuo 1 cuando le habla al 2

Ahora bien...

***¿qué alternativa tenemos para cuidarnos en escenarios de alto riesgo y sin ventilación, dada la falta de N95 por costo y disponibilidad mundial? ¿Como podríamos protegernos, con poco rigor científico, con bajo costo y elementos disponibles?***

## **Pruebas de filtrado de Humo de Tabaco Exhalado (HTE) en diferentes Máscaras Oro-Nasales**

**IMPORTANTE:** ➡ **SIN DARLE RIGOR CIENTIFICO, Y SOLO A FIN DE EVALUAR FILTRADO**, luego de una exhalación oral suave de HTE, se hicieron clips de videos comparativos en forma subjetiva (grabados en 4K con herramientas de software de video profesional para imágenes superlentas) con diferentes mascarar oro-nasales (médicas y no medicas)

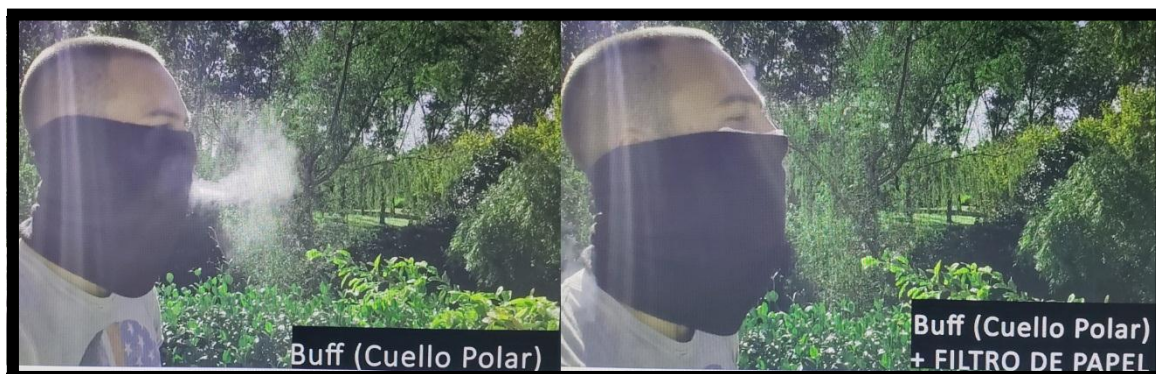
**DEBEMOS SER MUY PRUDENTES PARA NO EXTRAPOLAR LA DINAMICA DE AEROBIOLOGIA DE TRANSMISION RESPIRATORIA A UNA DINAMICA DE UN GAS EXHALADO QUE PROVIENE DE UNA COMBUSTION (aun viniendo del árbol respiratorio) ... SOLO EVALUAMOS CAPACIDAD DE FILTRADO DEL HTE.**

El HTE es un gas, que contiene más de 5000 sustancias tóxicas (por lo menos 69 sustancias cancerígenas), con micropartículas (orgánicas e inorgánicas) de 2.5 micras que provienen de la combustión. No hay estudios especifiquen cuanto componente de mucosidad normal tiene el HTE (que llega de los alveolos y se expulsa por las vías oral y nasal) Y no es lo mismo el HTE que la combustión de la brasa del cigarrillo. Al igual que las microgotas grandes de una exhalación/tos/ estornudo, las micropartículas del HTE también caen en las cercanías (según condiciones físicas y flujo de aire) contaminando las superficies (por eso se recomienda fuertemente por ejemplo NO fumar en el cuarto de un bebe/infante).

*De las máscaras oro-nasales no médicas, el que mejor filtró el HTE fueron las más amplias (con gran cobertura mentón y nariz) con un elemento de sostén para ajustar el reborde nasal, con triple capa de tela (una de ellas espesor de tela consistente) y sobre todo con el agregado (ya sea por dentro de la máscara o directamente en la superficie interna) de un filtro de papel de cocina o de filtro de café. **Cumpliendo la máscara oro-nasal con todas estas características, el filtrado de HTE fue subjetivamente lo más cercano al N95.***

En termino de protección individual, los protectores faciales de plástico podrían ayudar a bajar la carga de microgotas grandes que en una corta distancia interpersonal puedan llegar a nuestro rostro... y, pero no impedirían la inspiración de aerosoles es decir de microgotas ultralivianas deshidratadas de la nube de gas turbulenta, que flotarán en el aire en sitios sin corrientes de ventilación. En términos de protección al prójimo... gran parte de la nube turbulenta de gas expulsada (de menor o mayor tamaño) va a chocar con la parte interna del plástico disminuyendo (en una proporción difícil de determinar) la nube de gas turbulenta que de otro modo se expandiría libremente... Pero va a contaminar hacia abajo del protector, es decir por lo menos a su ropa... (y superficies muy aledañas)

A continuación, las diferentes alternativas de máscaras oro nasales y el filtrado HTE en los momentos de mayor exhalación de humo. (imágenes en video adjunto). Obsérvese que el agregado de papel de cocina/filtro de café disminuye la cantidad de humo filtrado



## Síntesis

La rápida y por momentos descontrolada propagación de COVID-19, sugiere que, además de su alta tasa de infectividad per se, los modelos clásicos y conocidos de forma de transmisión viral respiratoria no son suficientes para explicar la dinámica de contagio que tuvo.

**El modelo de dinámica de fluidos respiratorios descrito por Bourouiba (con suspensión en el aire de micropartículas (residuos) de microgotas deshidratadas (aerosoles) en lugares sin ventilación), puede interpretarse como una 3er vía de contagio y ser una de las razones que pueden explicar tanto la falta de control de la pandemia como la alta incidencia de contagios en centros de salud/farmacias etc....Contagios que parecen ocurrir en situaciones cotidianas (por ejemplo: un pase de sala medico sin ventilación), y no precisamente cuando estamos frente a un paciente infectado y contamos con una adecuada protección. Esto nos obliga a replantear como cuidar al prójimo y cuidarnos tanto en centros de salud como en la comunidad. **Se trata de bajar la carga viral circulante con máscaras oro nasales. Y la cantidad de nubes de gas turbulentas expulsadas.****

**La combinación de una máscara oro nasal que reúna las condiciones descritas arriba (amplia, con sostén en borde superior nasal, 3 telas y una de ellas de importante consistencia, y el agregado de un filtro (papel/ o de café) acompañada (o no) de un protector facial (en lugares cerrados con escasa distancia interpersonal), podrían actuar como sinergia en escenarios de alto riesgo y sobre todo en una estrategia de cuidar al prójimo. (va a ser muy difícil comprobar como un barbijo médico o una máscara oro-nasal casera pueda disminuir la inspiración de aerosoles que queden de una gran nube de gas turbulenta exhalada en sitios sin ventilación)**

**En escenarios de alto riesgo (como centros hospitalarios), la combinación de un barbijo quirúrgico más un filtro de papel (barbijo de papel descartable) es decir doble barbijo, también podría ser una alternativa en situaciones riesgosas (por ejemplo, mucho tiempo de exposición sin ventilación o cuando no me sienta seguro con el barbijo)**

En centros de salud quizás sea posible implementar pases de sala al aire libre, no dormir dos individuos de guardia en el mismo cuarto, almorzar con viandas al aire libre, entre otras medidas. Y en cuanto a **la comunidad**, se han publicado modelos matemáticos epidemiológicos que explican que con **una correcta utilización de máscaras oro nasales no médicas, disminuiría la carga viral con curvas muy planas de contagio**<sup>7</sup>. Al aire libre, la hipótesis de

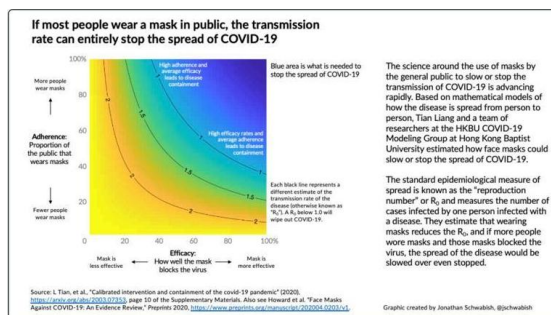


“aerosoles flotando” no tendría sentido, y solo la proximidad interpersonal implicaría riesgo, quedando el riesgo muy reducido al contar con una óptima máscara oro nasal.

**La clave está en disminuir la carga viral... menor carga viral implica menor número de contagios y menor severidad de la enfermedad.**

## BIBLIOGRAFIA

- 1- Infection Prevention and Control of Epidemic-and Pandemic-Prone Acute Respiratory Infections in Health Care. World Health Organization; 2014.
- 2- A Sneeze. Lydia Bourouiba, Ph.D August 25, 2016N Engl J Med 2016; 375:e15 DOI: 10.1056/NEJMicm1501197
- 3- Data del NIH Pub Med.gov, J.Xie et al., Indoor Air, June 2007.
- 4- Turbulent Gas Clouds and Respiratory Pathogen Emissions Potential Implications for Reducing Transmission of COVID-19 Lydia Bourouiba, PhD JAMA. Published online March 26, 2020. doi:10.1001/jama.2020.4756
- 5- Malin Alsved, Lydia Bourouiba, Caroline Duchaine, Jakob Löndahl, Linsey C. Marr, Simon T. Parker, Aaron J. Prussin, Richard J. Thomas. (2020) Natural sources and experimental generation of bioaerosols: Challenges and perspectives. Aerosol Science and Technology 54:5, 547-571.
- 6- Temporal dynamics in viral shedding and transmissibility of COVID-19. Xi He et col. Nature Medicine. <https://doi.org/10.1038/s41591-020-0869-5>
- 7- L. Tian et col. “Calibrated Intervention and Containment of COVID-19 Pandemic” 2020.



- 8- Investigacion Dr. Kazuhiro Tateda re-evaluada a pedido del Dr. Juan Carlos Parodi por el Prof. Dr. Walter Legnani (53) Físico, Profesor de la Universidad Tecnológica Nacional, titular la de la cátedra de Análisis de Señales y Sistemas de Ingeniería Eléctrica. Doctor en mecánica de fluidos, con un la Universidad de Cambridge.