

Resiliencia y transporte: ¿Qué tan arriesgado es usar el transporte público desde una perspectiva epidemiológica?

Jairo Espinosa

jespinov@unal.edu.co



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA



Laboratorio de Gestión de
Sistemas en Tiempo Real



Con el apoyo de



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA



Laboratorio de Gestión de
Sistemas en Tiempo Real



Que evidencia encontramos!



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA



Laboratorio de Gestión de
Sistemas en Tiempo Real

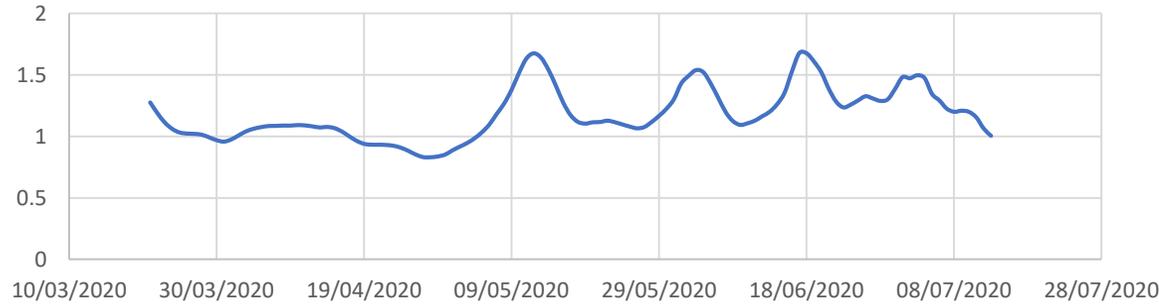
n



METRO
DE MEDELLÍN
CALIDAD DE VIDA

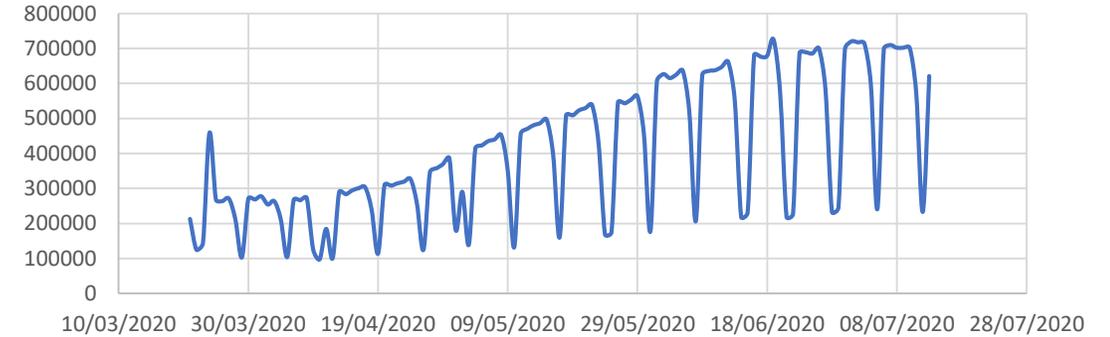
En el Valle de Aburra no se encuentra evidencia de que la tasa de contagio guarde correlación con el incremento en la movilidad

Rt



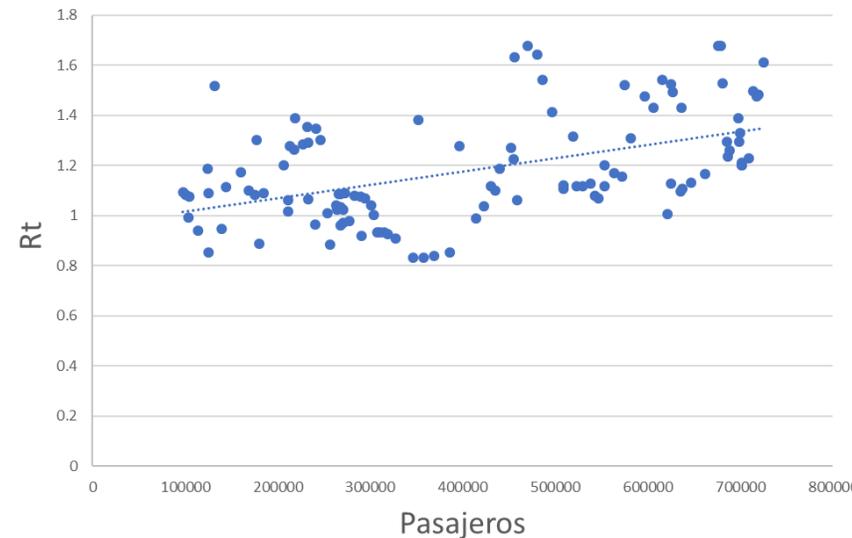
Número reproductivo efectivo diario (R_t) desde el 20 de marzo hasta el 13 de julio de 2020 (Fuente: INS)

Pasajeros Movilizados



Número de viajes individuales en SITVA desde el 20 de marzo hasta el 13 de julio de 2020 (Fuente: Metro-AMVA-SMM)

Rt vs Pasajeros Movilizados 21-03-2020 al 13-07-2020



R=0.23

No hay evidencia concluyente de contagios en usuarios del metro en Medellín

(Fuente: siviigilia 20 de Julio de 2020)



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA



Laboratorio de Gestión de
Sistemas en Tiempo Real

n



METRO
DE MEDELLÍN
CALIDAD DE VIDA

Riesgo de contagio en el transporte público



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA



Laboratorio de Gestión de
Sistemas en Tiempo Real

n



Riesgo de contagio en el transporte público

Depende de dos factores:

1- Probabilidad de que haya infectados (no detectados) viajando en los medios de transporte público

2- Exposición de los viajeros sanos al viajero infectado



Si no hay infectados

¡Cualquier distancia es segura!



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA



Laboratorio de Gestión de
Sistemas en Tiempo Real

n



Probabilidad de que haya infectados



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA



Laboratorio de Gestión de
Sistemas en Tiempo Real

n



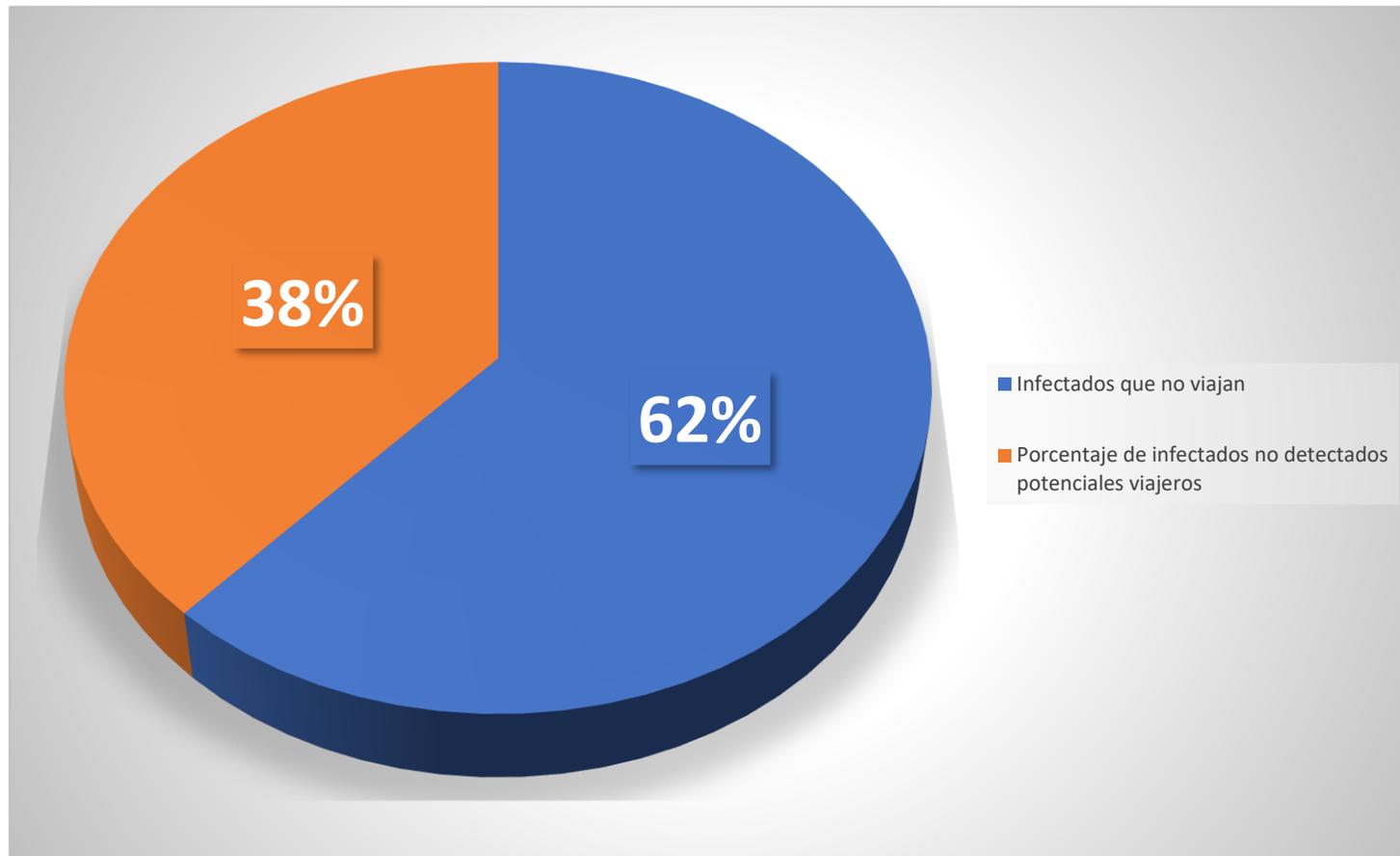
Probabilidad de que haya infectados (no detectados) viajando en los medios de transporte público

- Ejemplos de cálculos

- Bogotá 1794 Fallecidos (si suponemos una tasa de mortalidad de 1/100) deben haber existido 179.400 casos. Casos detectados 70.849. Infectados sin detectar **108.551 personas (60.5%)**
- Medellín 136 Fallecidos (si suponemos una tasa de mortalidad de 1/100) deben haber existido 13.600 casos. Casos detectados 10872. Infectados sin detectar **casi 2728 (20%)**

¡Atención estos cálculos tienen un supuesto muy incierto y que por cada fallecido hay 99 infectados!

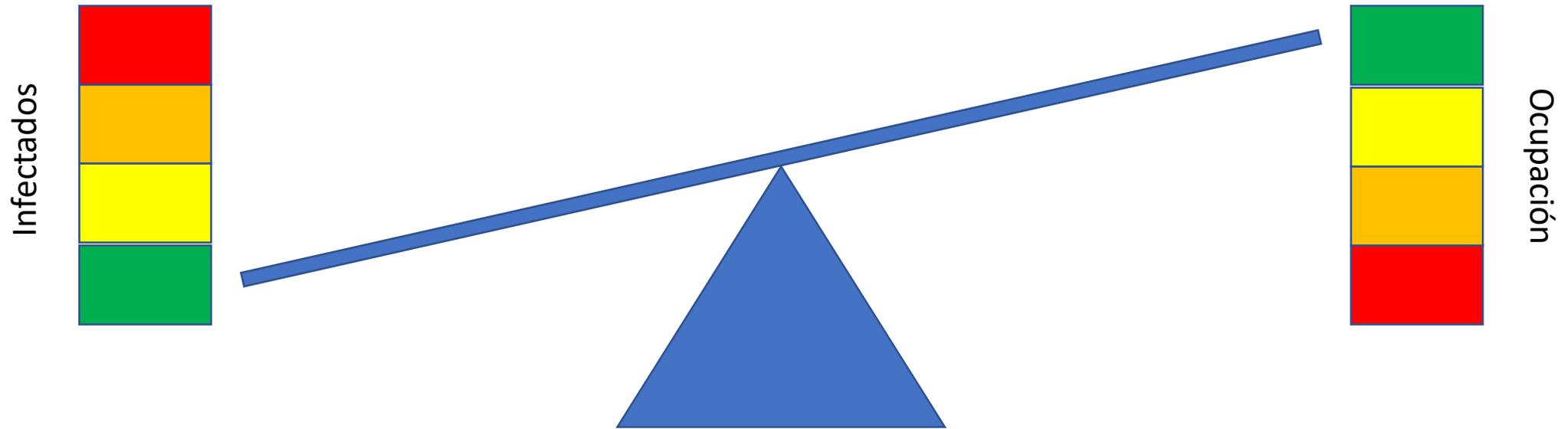
Distribución de infectados y su potencial de ser viajeros



Camas UCI: 750
Ocupación Máx.:40%
Disponibilidad para: 300 pacientes

De las estadísticas se tiene que el 5% de infectados requieren UCI por tanto para generarlos se requiere una población de 6.000 infectados donde:
11% asintomáticos
27% infecciosos en primeros días
38% potenciales viajeros

El Sistema de Riesgo Constante



Potencial de pasajero infectados que podrían abordar un tren en función de la ocupación y del número de infectados en la ciudad

Infectados Totales en el AMVA	Infectados No detectados- Potenciales Viajeros	Probabilidad de que un viajero esté infectado	Potencial de pasajeros infectados por tren por viaje				
			Ocupación porcentual				
			35%	55%	70%	84%	100%
0	0	0.0000%	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
50	19	0.0036%	0.014	0.021	0.027	0.033	0.039
100	38	0.0072%	0.027	0.043	0.054	0.065	0.078
500	191	0.0360%	0.136	0.214	0.272	0.327	0.389
1000	382	0.0720%	0.272	0.428	0.544	0.653	0.777
1500	572	0.1080%	0.408	0.641	0.816	0.980	1.166
2000	763	0.1440%	0.544	0.855	1.088	1.306	1.555
2200	839	0.1584%	0.599	0.941	1.197	1.437	1.710
2500	954	0.1800%	0.680	1.069	1.361	1.633	1.944
3000	1145	0.2160%	0.816	1.283	1.633	1.959	2.332
3500	1335	0.2520%	0.952	1.497	1.905	2.286	2.721
4000	1526	0.2880%	1.088	1.710	2.177	2.612	3.110
5000	1908	0.3600%	1.361	2.138	2.721	3.265	3.887
6000	2289	0.4319%	1.633	2.566	3.265	3.919	4.665
Total pasajeros por tren			378	594	756	907	1080



Exposición de los viajeros sanos al viajero infectado



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

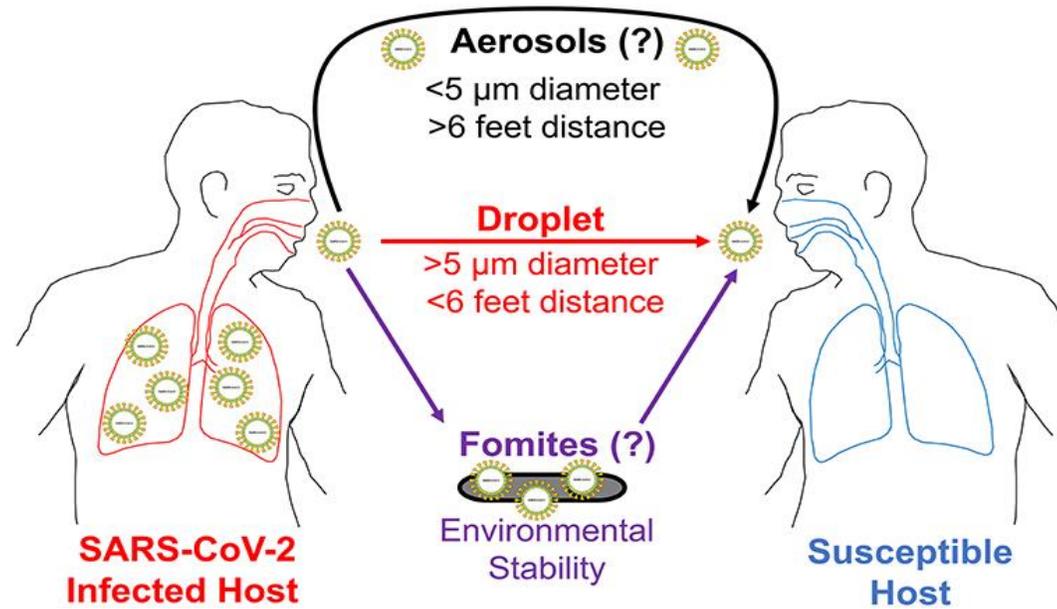


Laboratorio de Gestión de
Sistemas en Tiempo Real

n



Formas de transmisión de la infección SARS Cov2



- Gota grande $>5 \mu\text{m}$ (distancias menores a 2 m)
- Aerosoles $< 5\mu\text{m}$ (distancias mayores a 2 m)
- Superficies (fomites)

(Fuente: Galbadage et al., 2020)



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA



Laboratorio de Gestión de
Sistemas en Tiempo Real

n



Mitigación de la gota



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

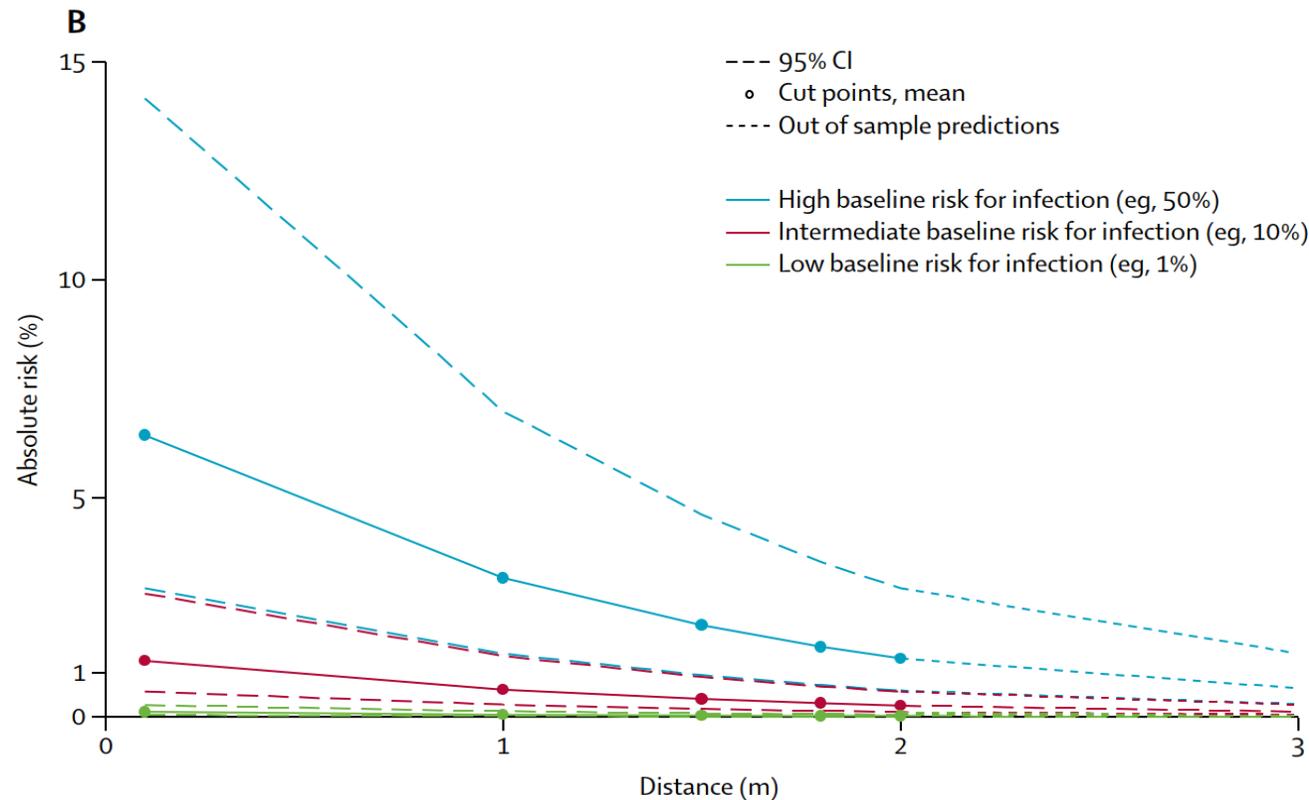


Laboratorio de Gestión de
Sistemas en Tiempo Real

n



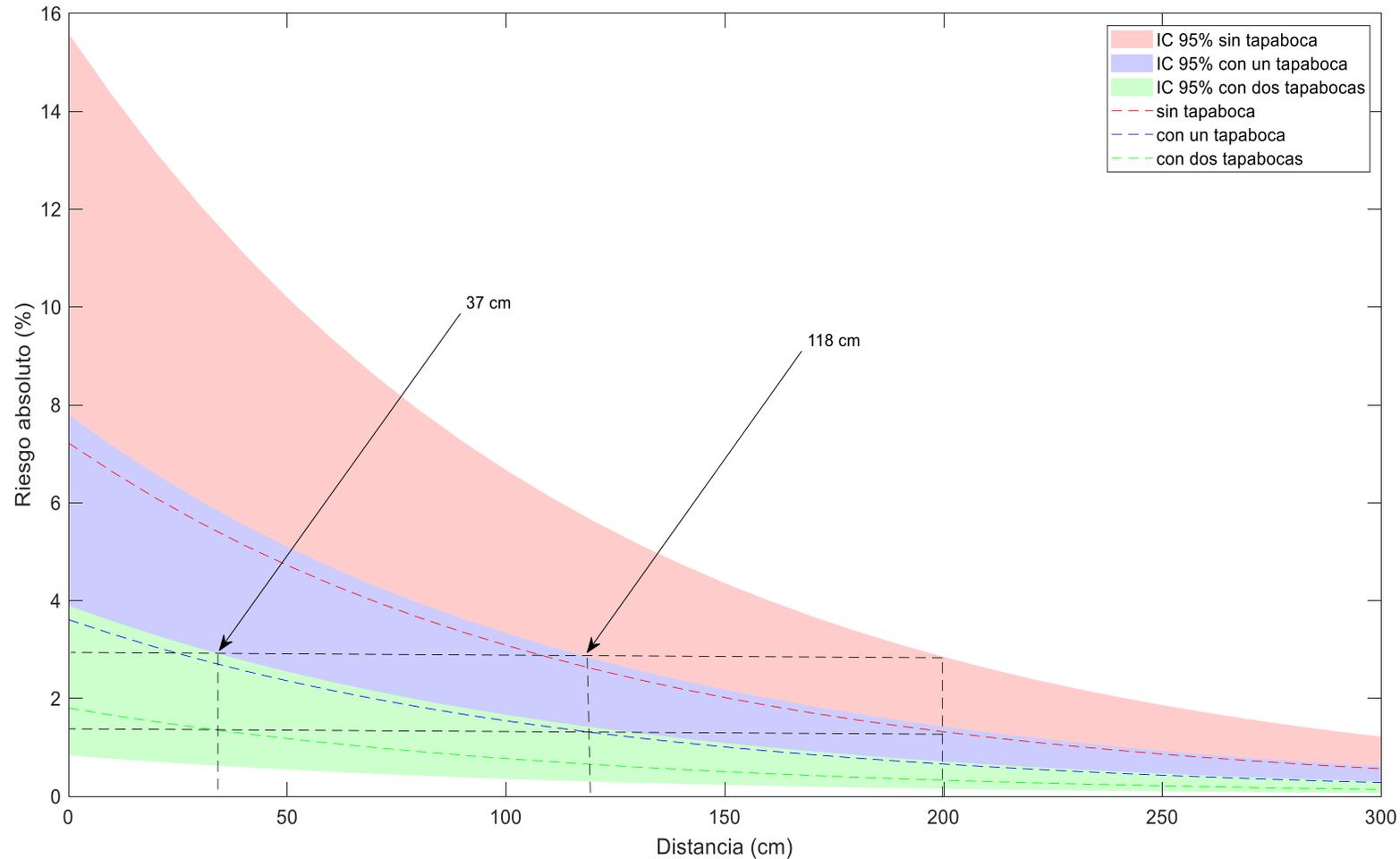
Efectos del uso de tapabocas en el riesgo de exposición en función de la distancia.



Estudio sobre:
25.967 pacientes
(Covid-19, SARS o
MERS)
44 Estudios
16 Países

Fuente: Chu, et. Al (2020). Physical distancing, face masks, and eye protection to prevent person-to-person transmission of SARS-CoV-2 and COVID-19: A systematic review and meta-analysis. *Lancet (London, England)*,

Efectos del uso de tapabocas en el riesgo de exposición en función de la distancia.



Fuente: UNAL



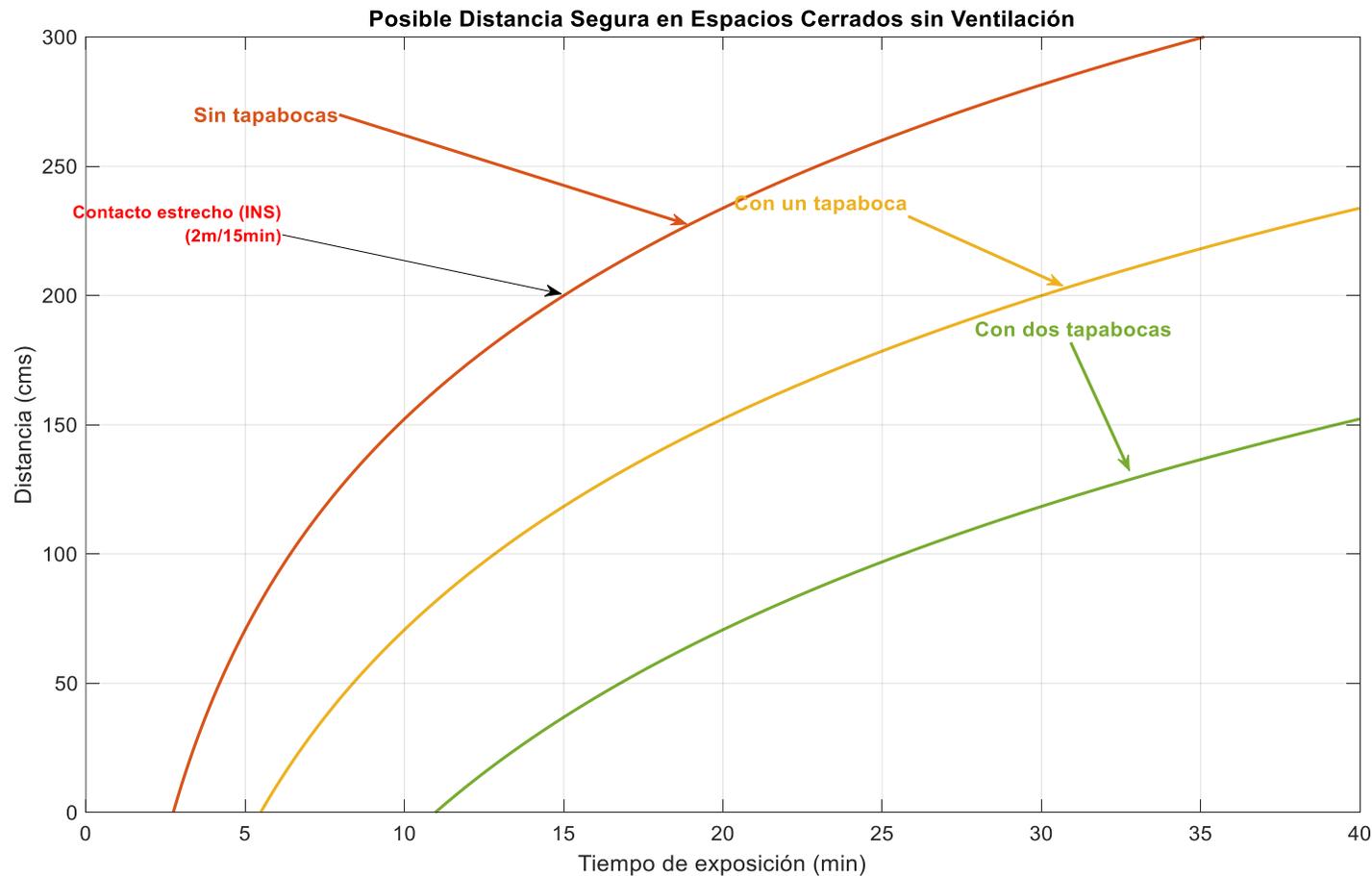
UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA



Laboratorio de Gestión de
Sistemas en Tiempo Real



El riesgo depende del número de infectados, de la distancia y del tiempo de exposición



Fuente: UNAL



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

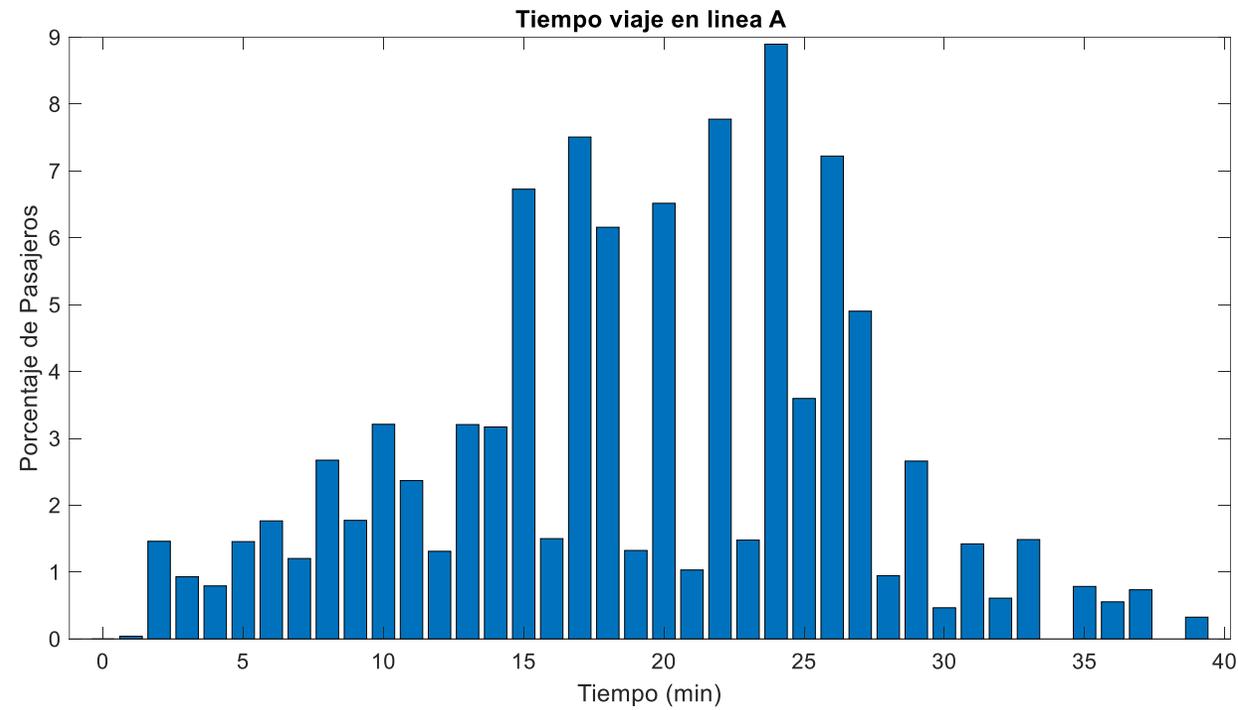
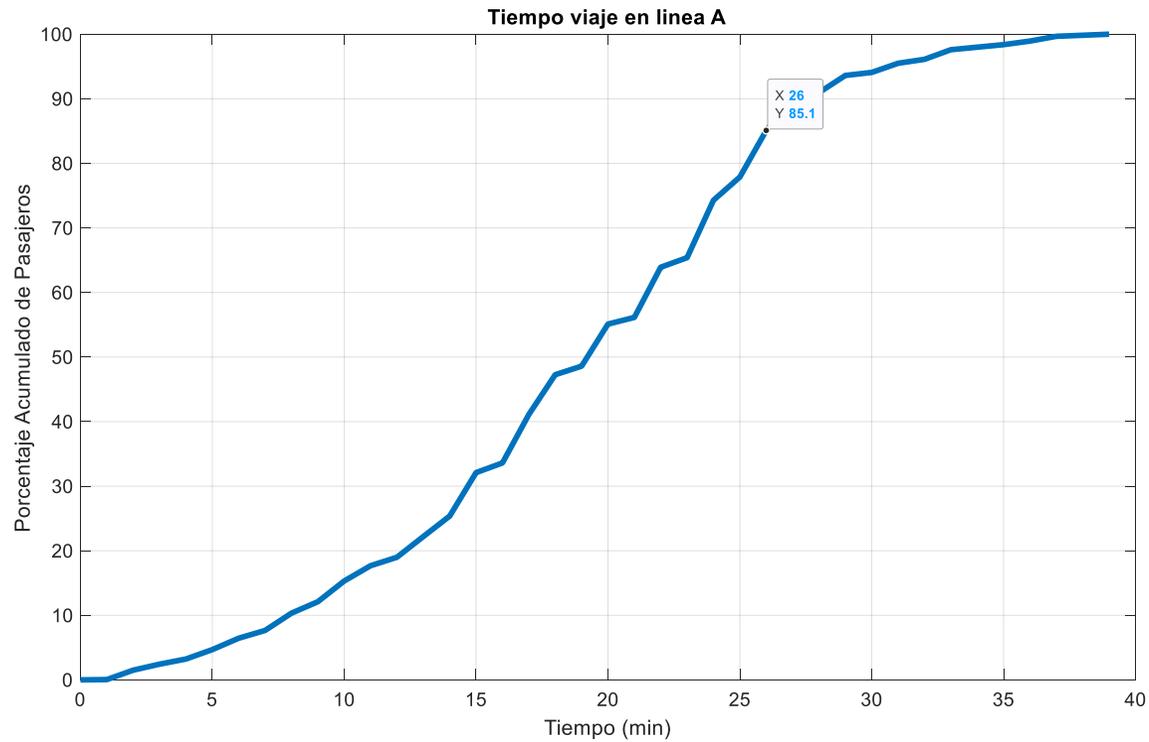


Laboratorio de Gestión de
Sistemas en Tiempo Real

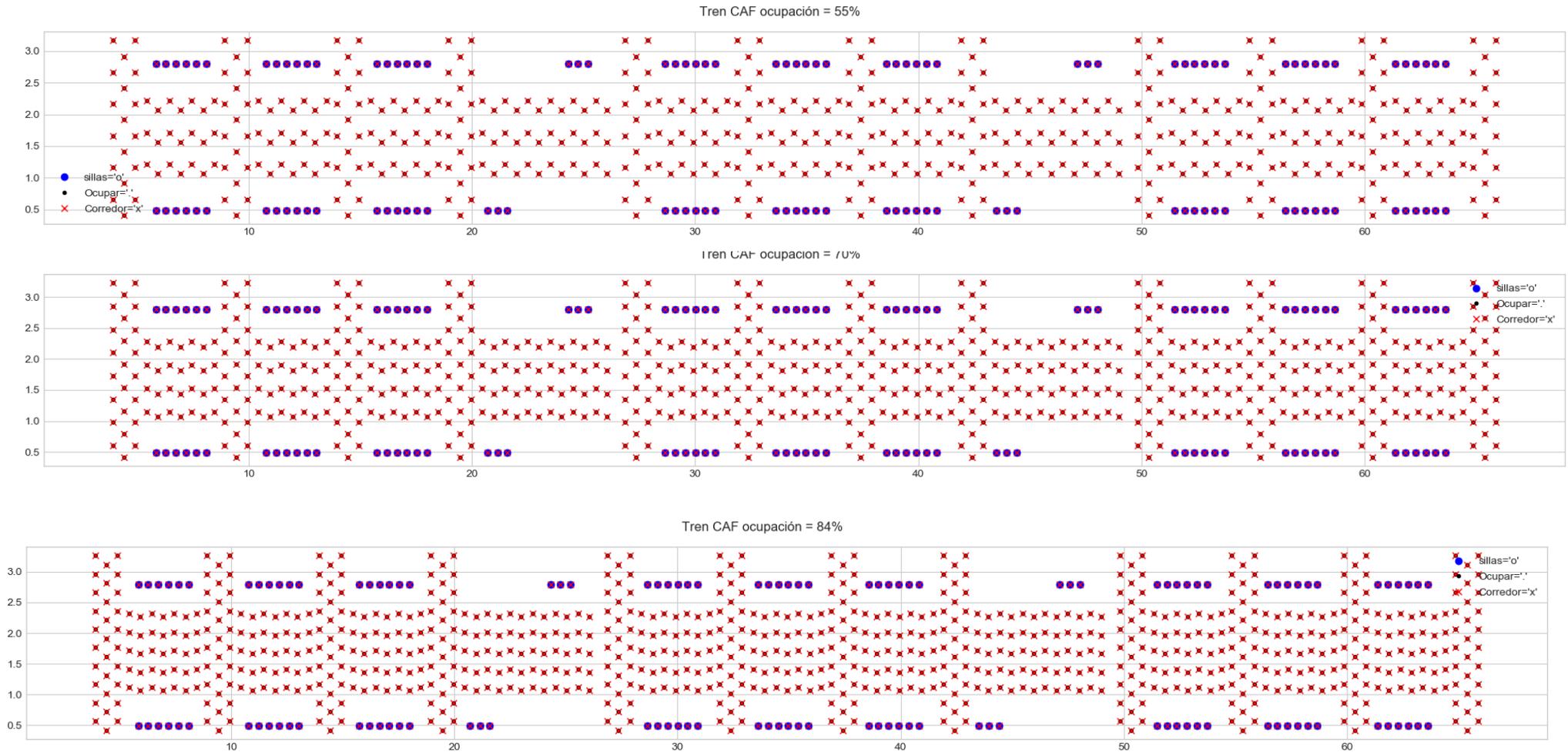
n



Tiempo de viaje

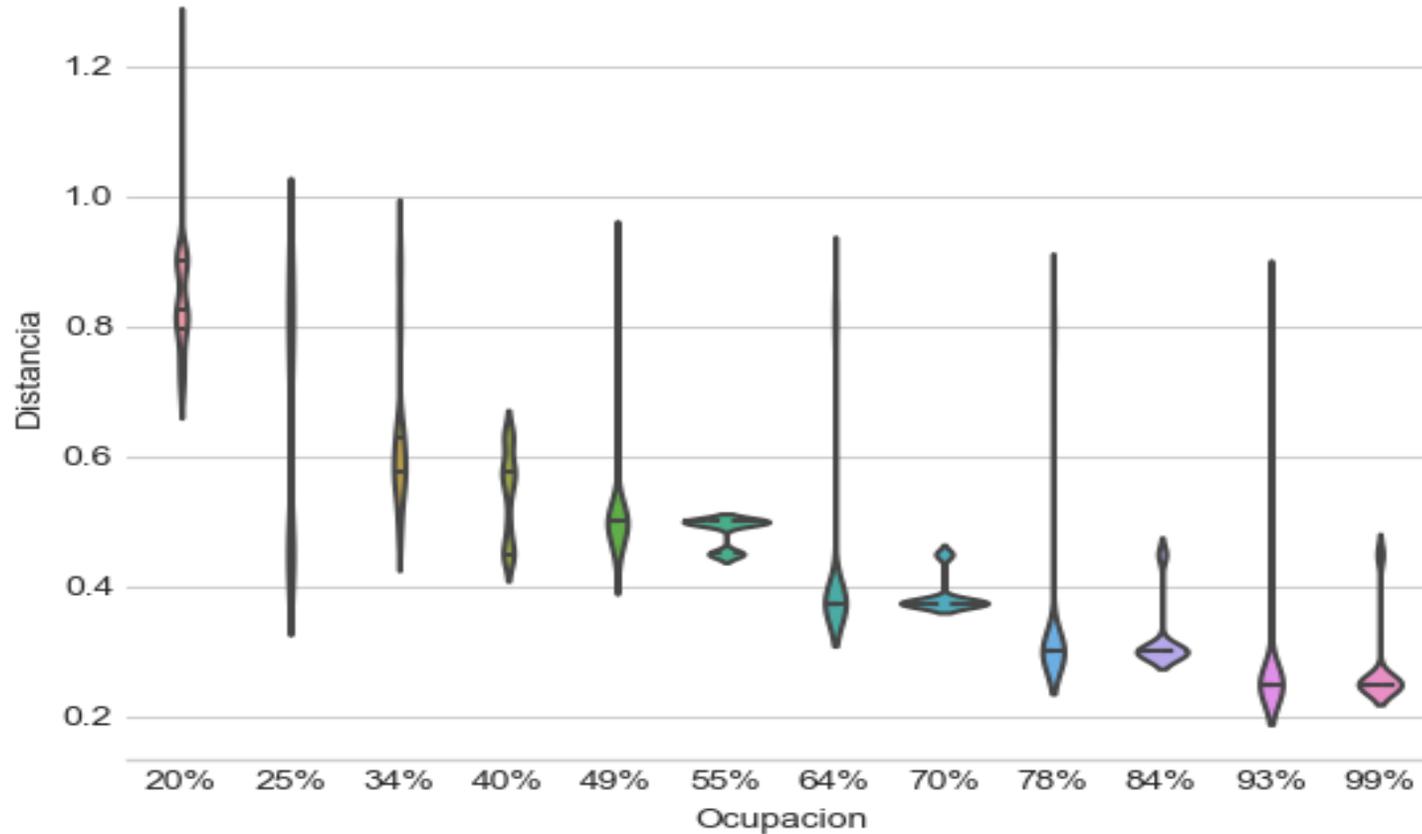


Escenario de modelación de ocupaciones en metro



Escenario de modelación diversas ocupaciones en el metro

Distancia mínima entre viajeros Tren CAF.



Mitigación del aerosol



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

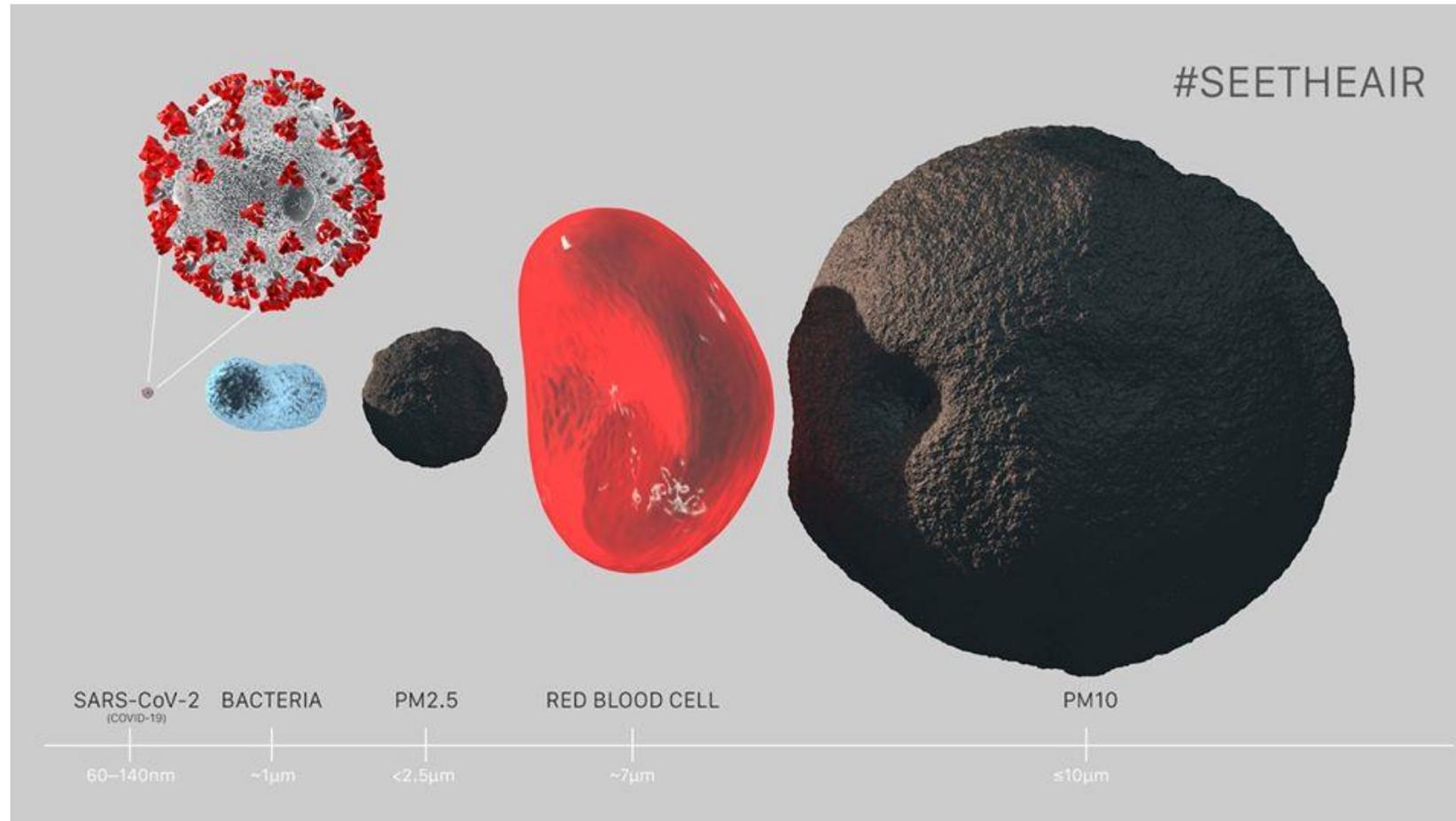


Laboratorio de Gestión de
Sistemas en Tiempo Real

n



Comparación del tamaño de los SARS-CoV-2 con el material particulado PM 2.5, PM 10, un glóbulo rojo.



Fuente: seetheair.org



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA



Laboratorio de Gestión de
Sistemas en Tiempo Real

n



Mitigación de la producción de aerosol

Viajar en silencio y usar mascarilla (tapabocas)!

Godri Pollitt et al. *Human Genomics* (2020) 14:17
<https://doi.org/10.1186/s40246-020-00267-3>

Human Genomics

REVIEW

Open Access

COVID-19 vulnerability: the potential impact of genetic susceptibility and airborne transmission



Krystal J. Godri Pollitt^{1*}, Jordan Peccia², Albert I. Ko³, Naftali Kaminski⁴, Charles S. Dela Cruz⁴, Daniel W. Nebert⁵, Juergen K.V. Reichardt⁶, David C. Thompson⁷ and Vasilis Vasilou^{1*}

spiratory virus could be emitted just by breathing [26]. The small size of aerosols released through this route potentially extends their range of travel. The concentration of aerosol released by the combination of speaking and breathing for more than 4 min is equivalent to the amount of aerosol emitted for 30 s of singing or coughing [15, 27, 28]. The volume of speech can further influence aerosol release, leading to variations in emission



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA



Laboratorio de Gestión de
Sistemas en Tiempo Real

n



METRO
DE MEDELLÍN
CALIDAD DE VIDA

Mitigación del aerosol (Ventilación)



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

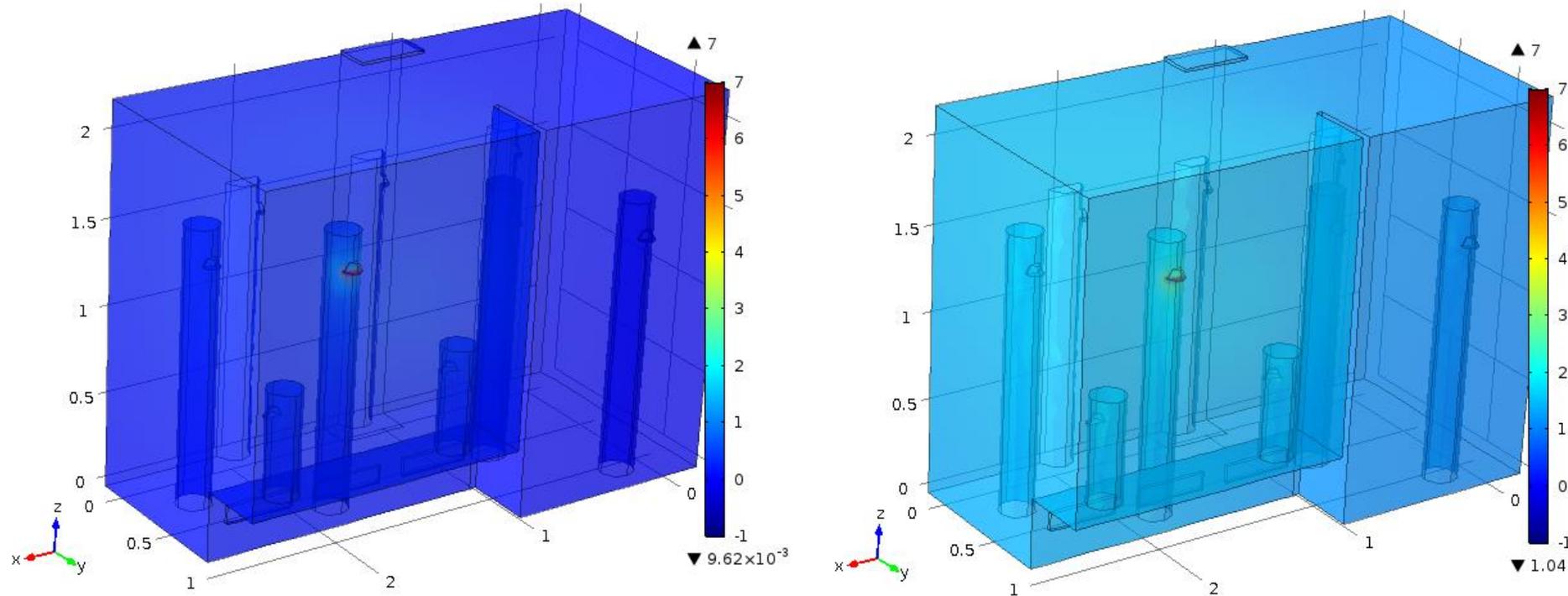


Laboratorio de Gestión de
Sistemas en Tiempo Real

n



Escenario de modelación de ventilación con diferentes ocupaciones en metro



Fuente: UNAL-Metro de Medellín



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA



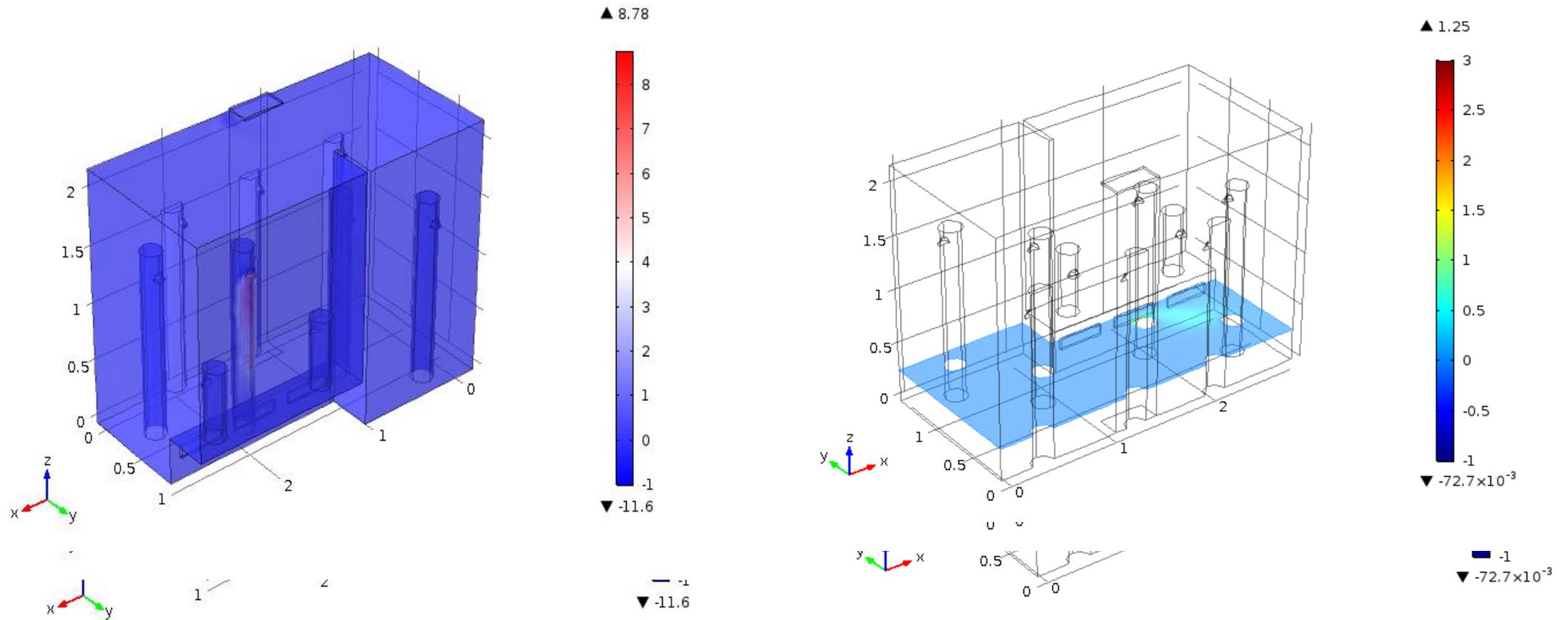
Laboratorio de Gestión de
Sistemas en Tiempo Real

n



METRO
DE MEDELLÍN
CALIDAD DE VIDA

Concentración del virus en el recinto con ventilación.



Fuente: UNAL-Metro de Medellín



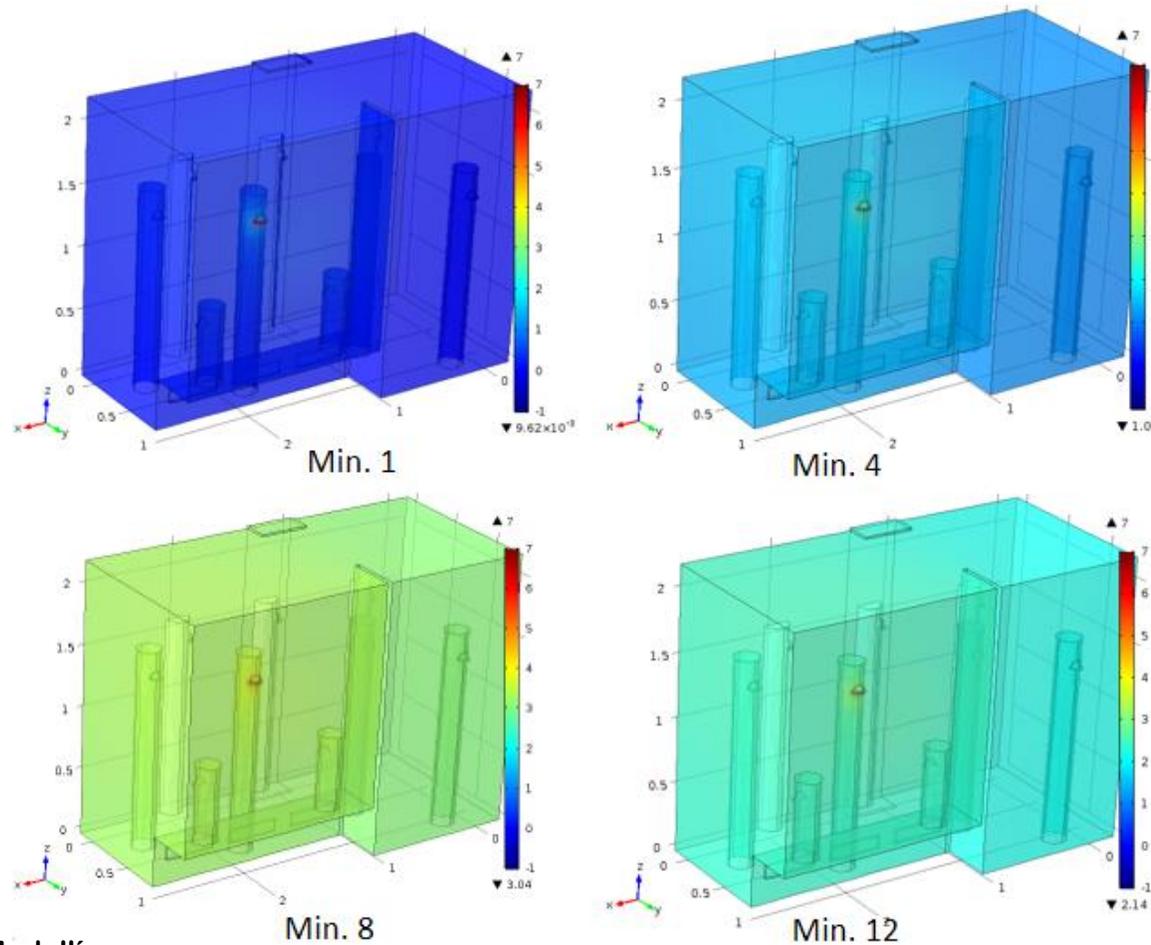
UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA



Laboratorio de Gestión de
Sistemas en Tiempo Real



Concentración del aerosol en distintos periodos de tiempo sin ventilación



Observar el aumento en la concentración del aerosol.

Fuente: UNAL-Metro de Medellín



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA



Laboratorio de Gestión de
Sistemas en Tiempo Real

n



METRO
DE MEDELLÍN
CALIDAD DE VIDA

Ejemplo: Caso metro tipo CAF

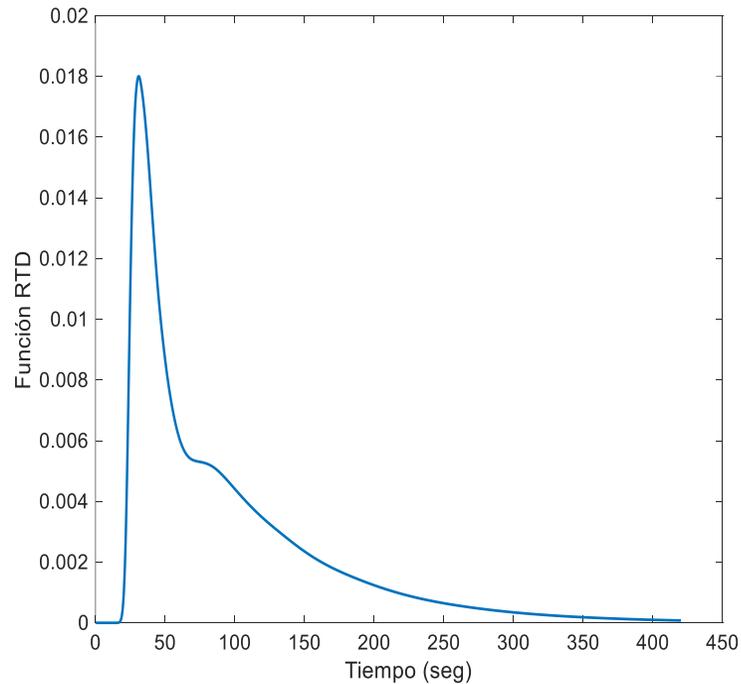


Figura 9. Distribución de tiempos de residencia

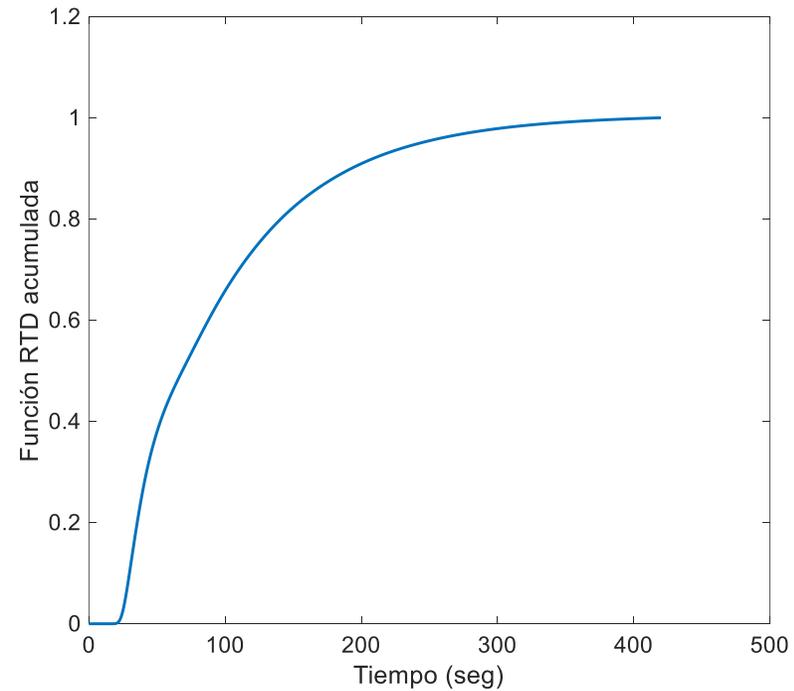
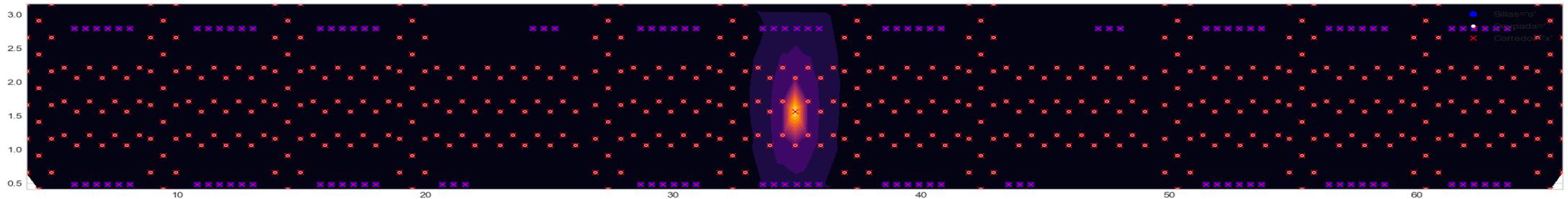


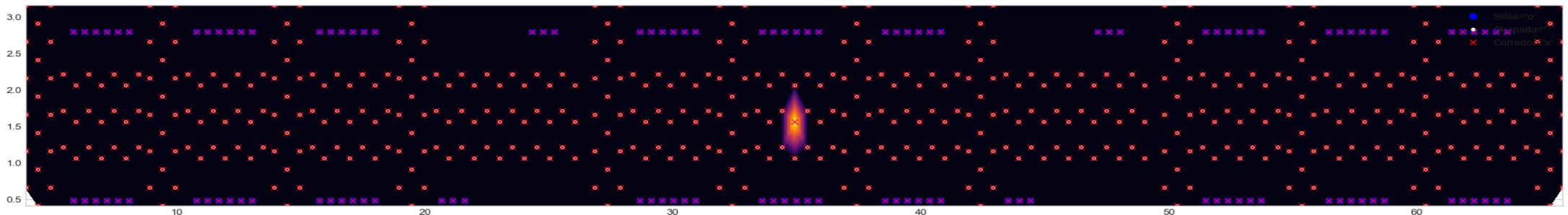
Figura 10. Distribución de tiempos de residencia acumulada

Mapa de calor del riesgo espacial de un viajero infectado viajando durante 29 minutos con ocupación del 55% en un tren CAF (a) sin ventilación (b) con ventilación

Riesgo de pasajeros con tapabocas en (sin considerar ventilación) Tren CAF ocupación = 55%



Riesgo de pasajeros con tapabocas en (sin considerar ventilación) Tren CAF ocupación = 55%



Fuente: UNAL-Metro de Medellín

Tranvía

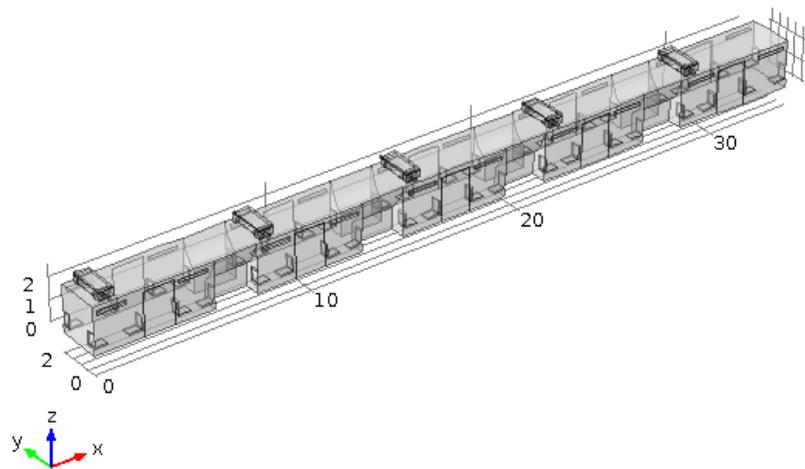


Figura 1. Geometría



Figura 2. Perfil de velocidad

Tranvía

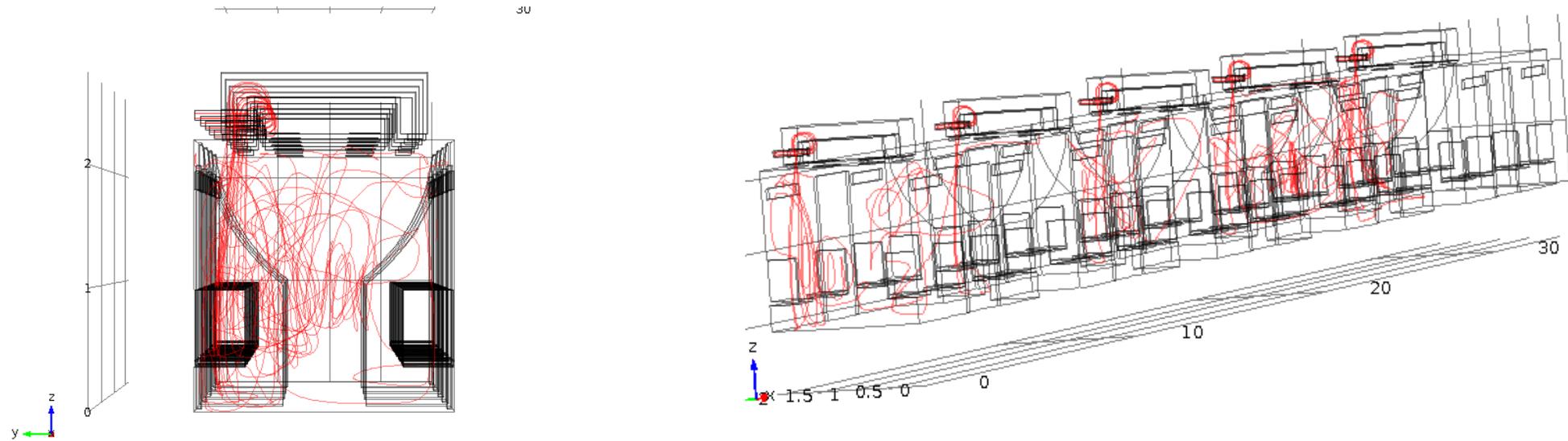
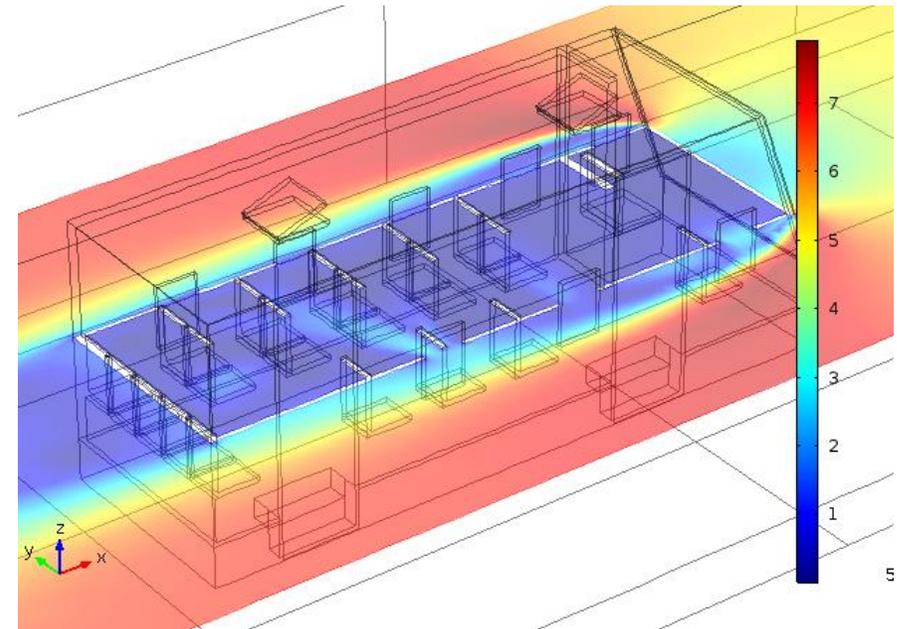
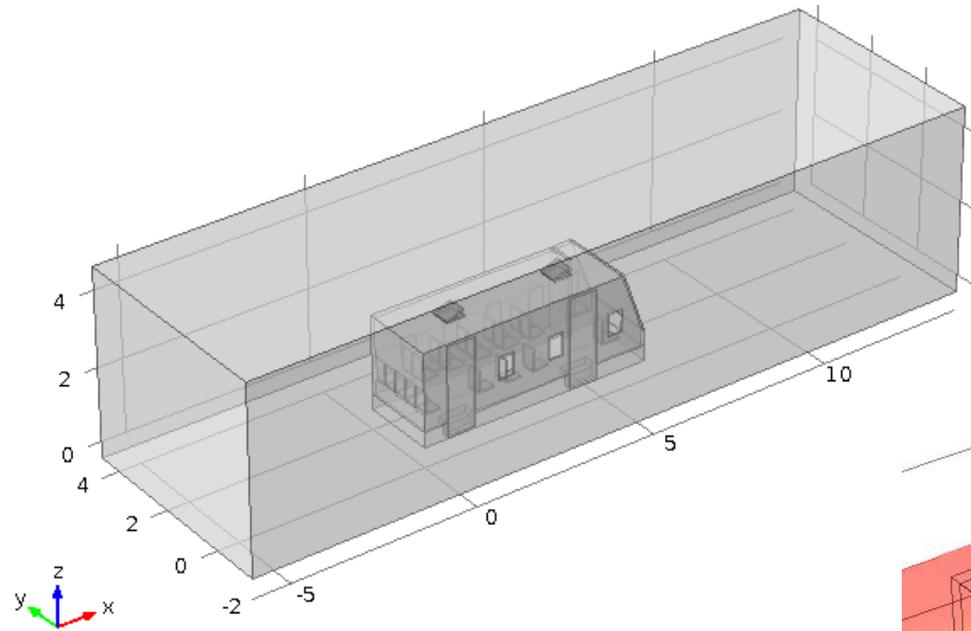
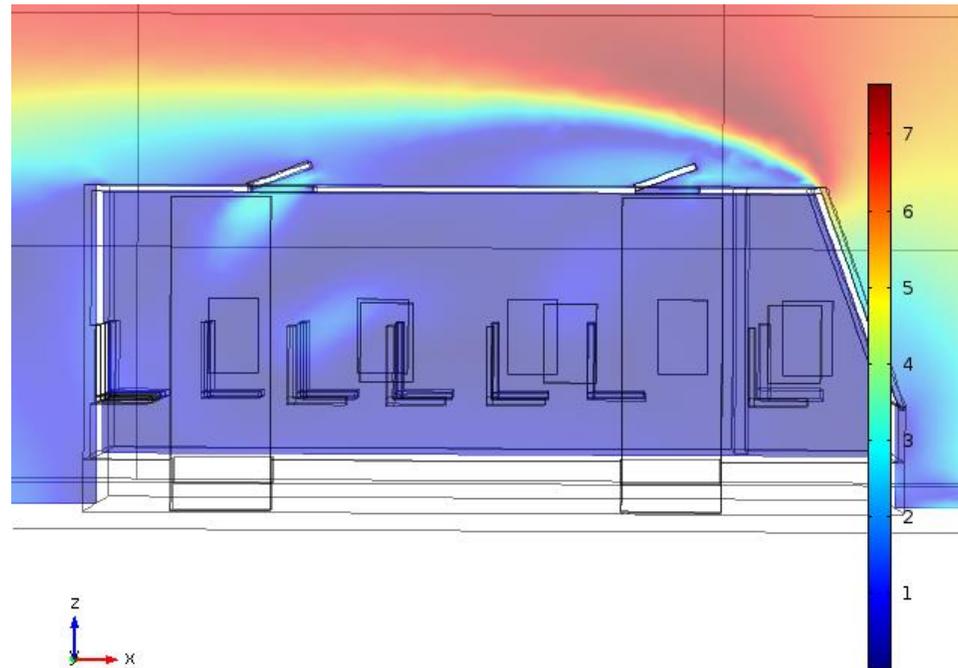


Figura 3. líneas de flujo

Ejemplo: Caso Buseta



Ejemplo: Caso Buseteta



Ejemplo: Caso Buseteta

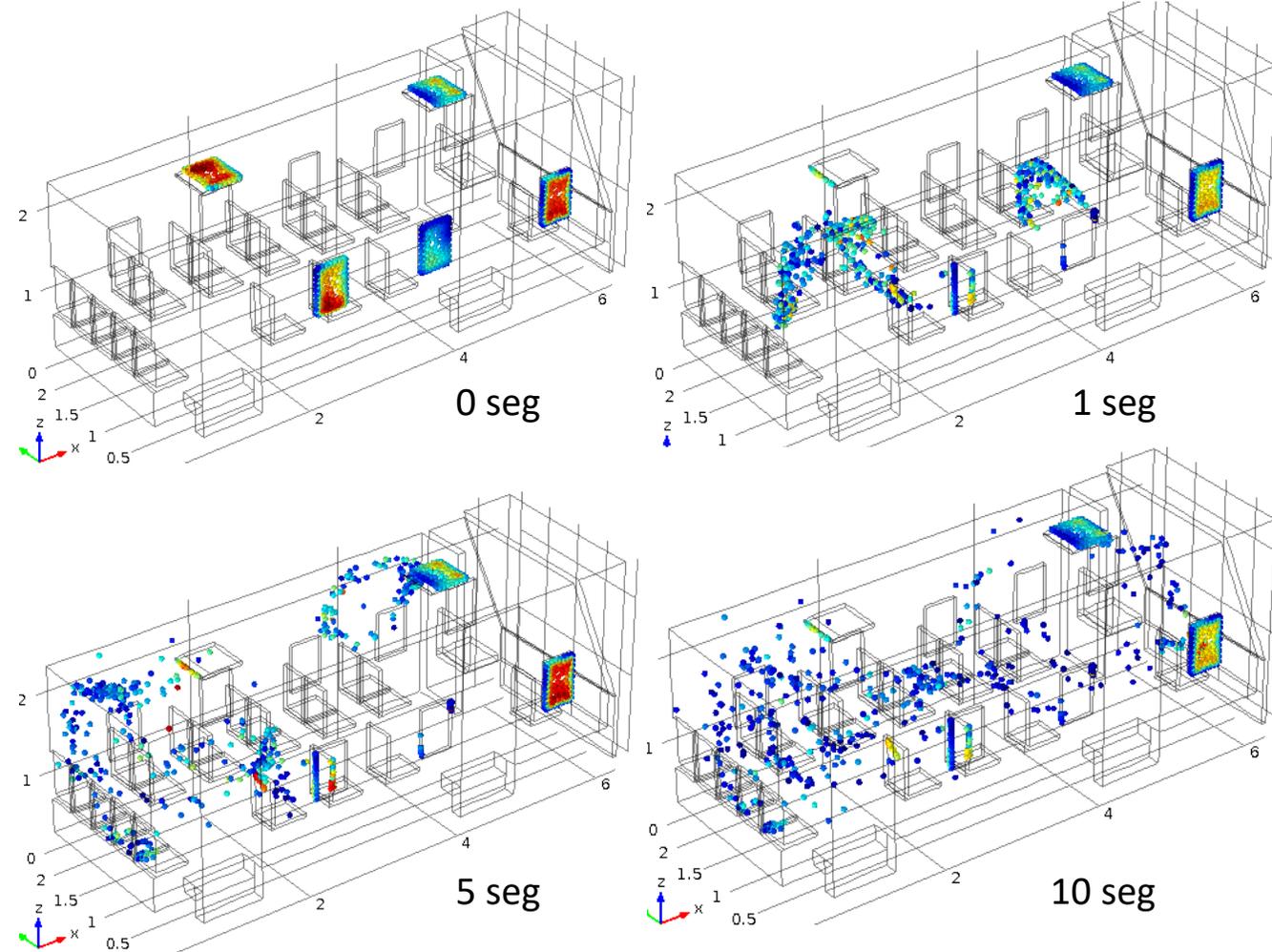


Figura 11. Dinámica de partículas

Ejemplo: Caso Buseteta

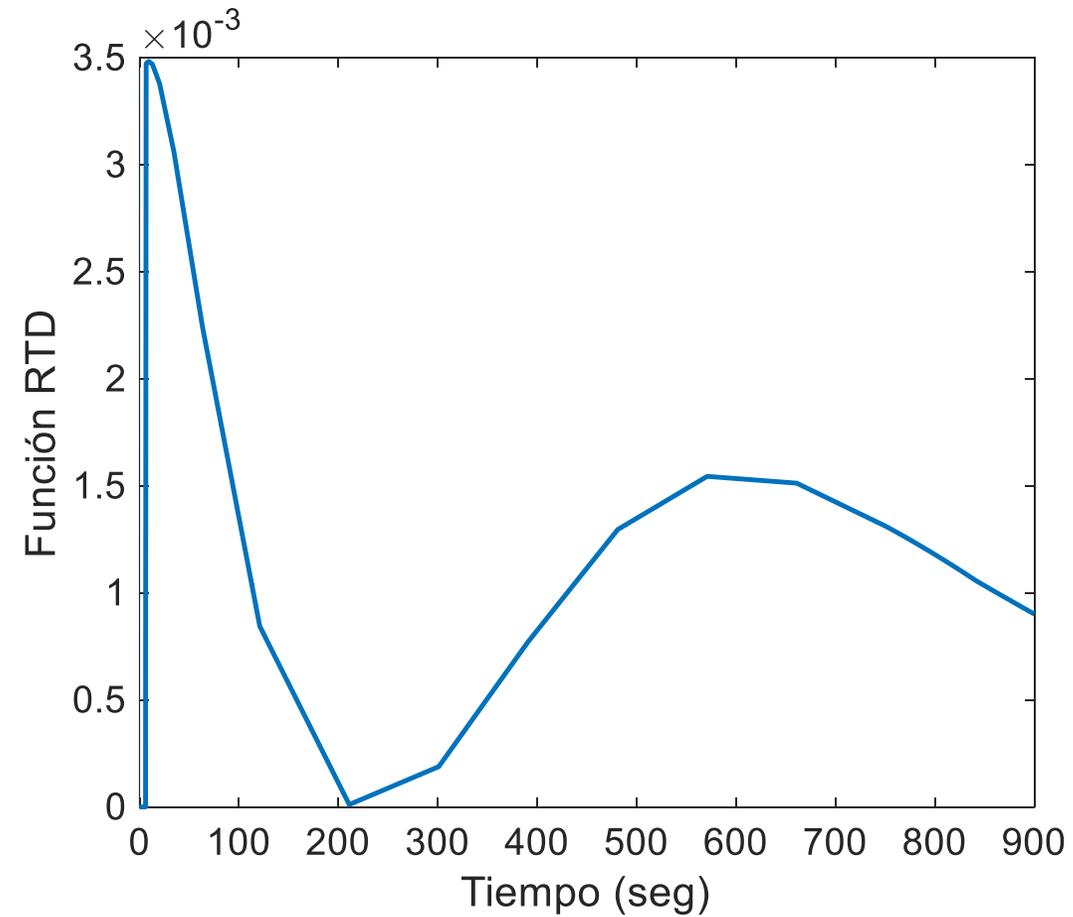


Figura 12. Renovación del aire en el bus

Bus ventilado

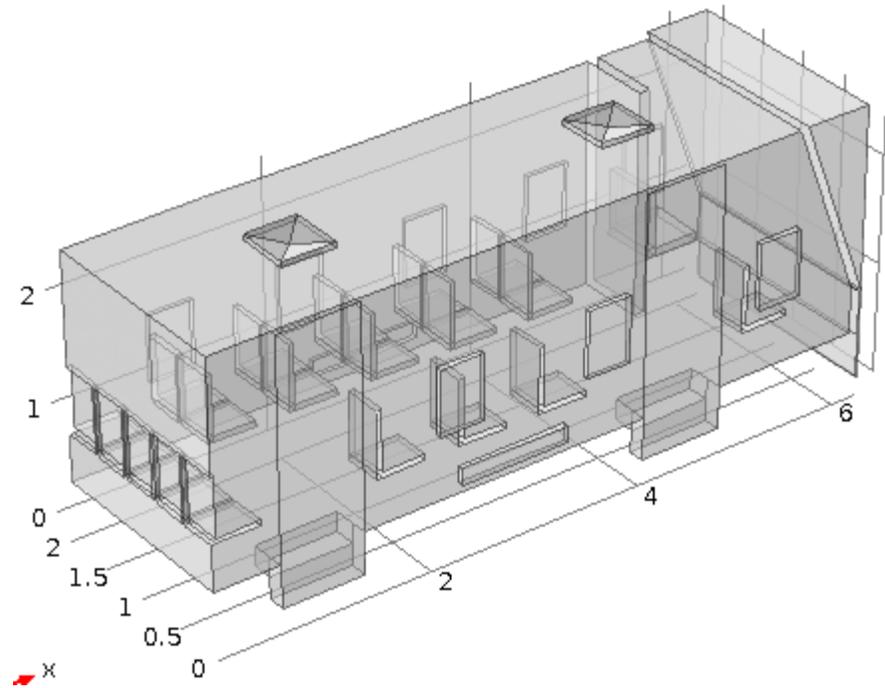


Figura 4. Geometría

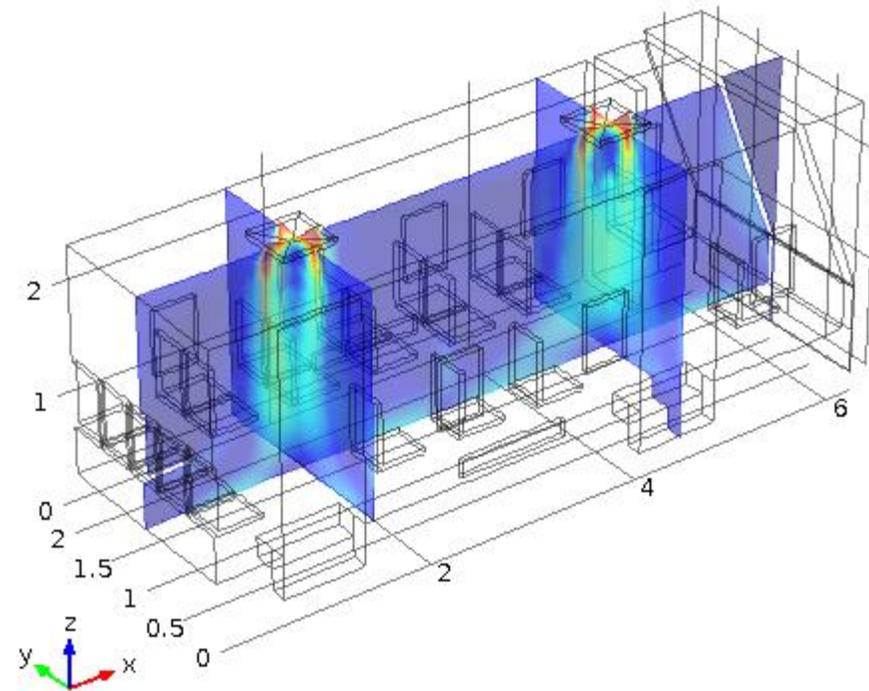


Figura 5. Perfil de velocidad

Bus ventilado

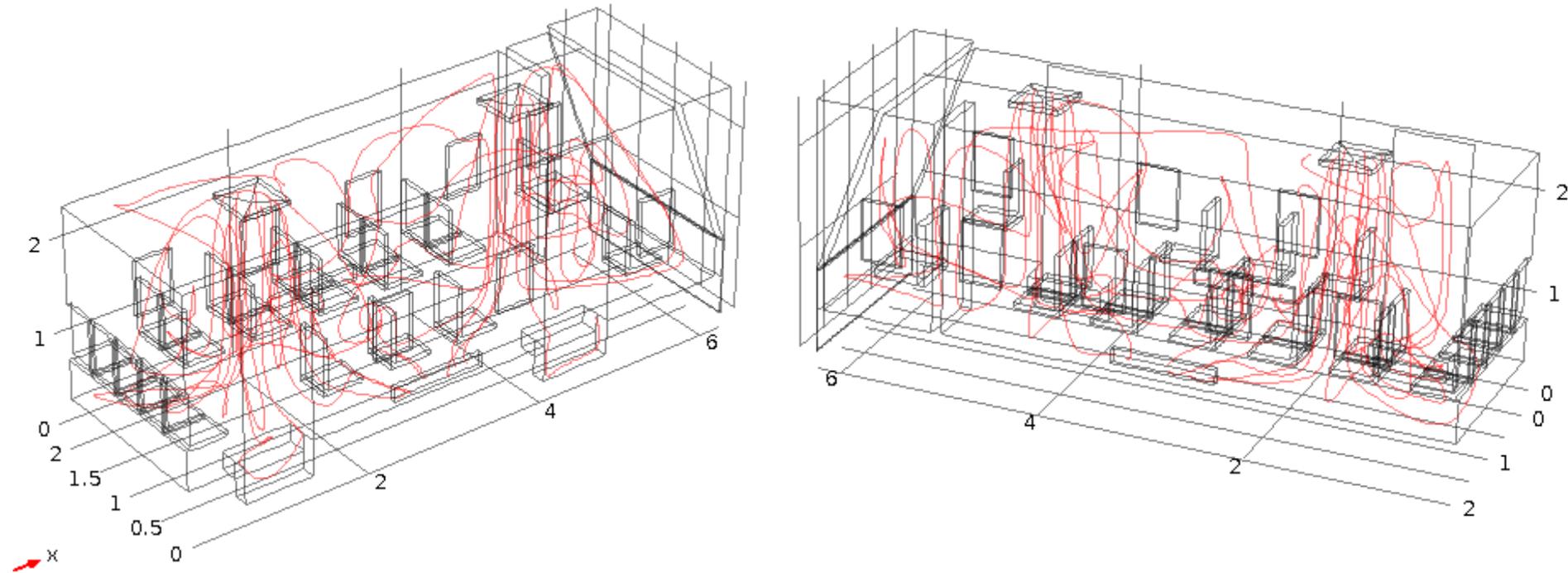


Figura 6. Líneas de flujo

Bus ventilado

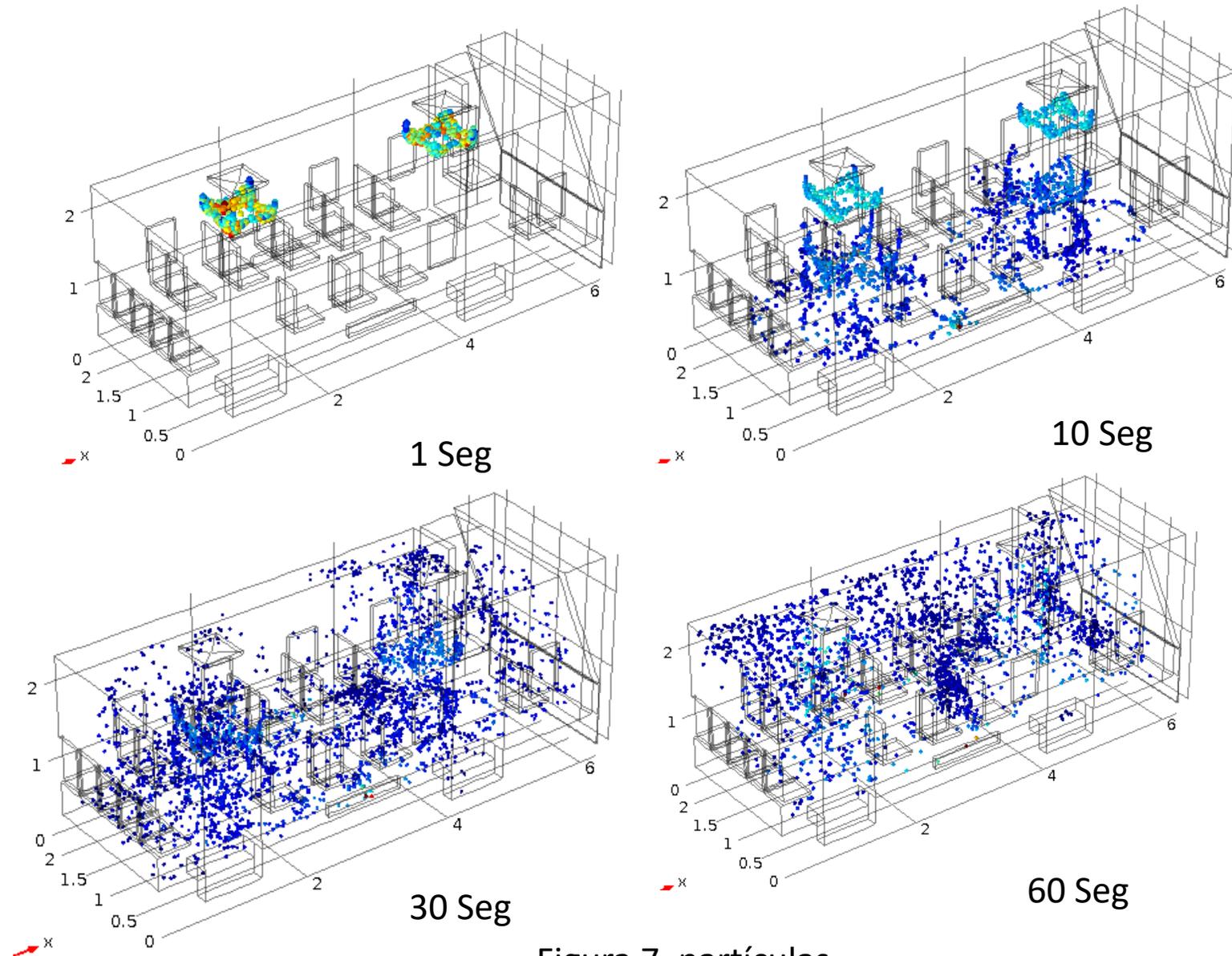


Figura 7. partículas

Articulado

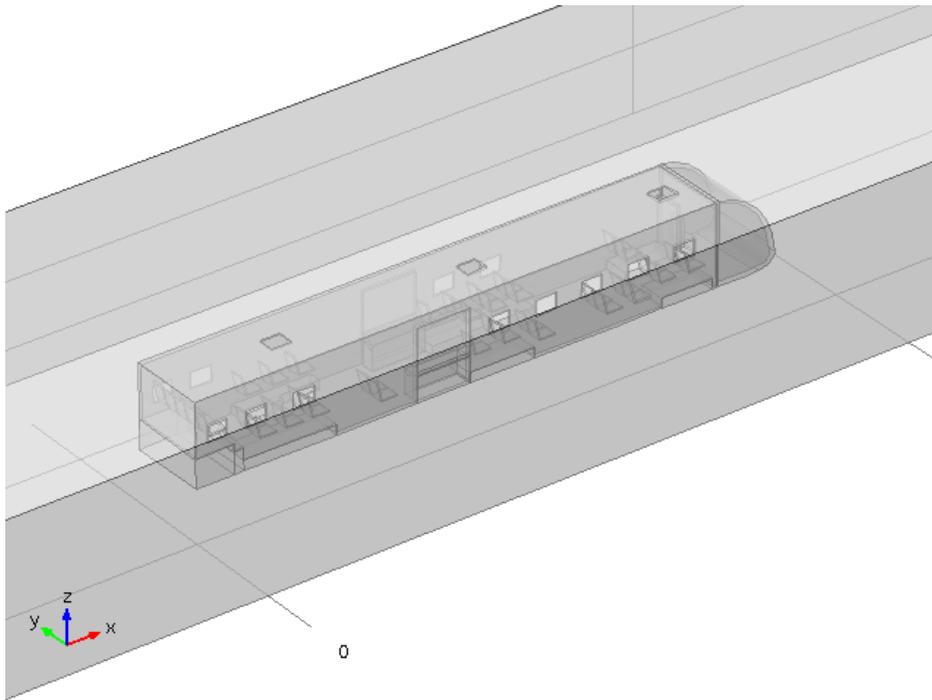


Figura 8. Geometría articulado

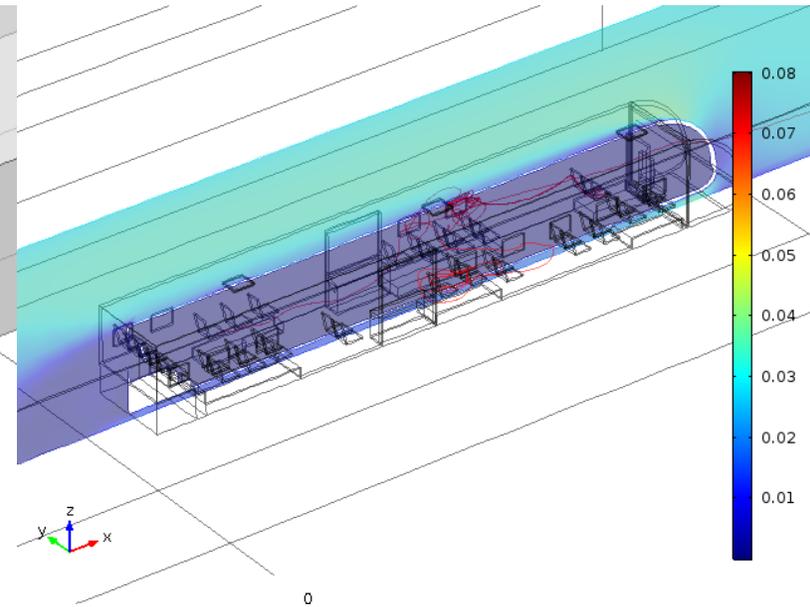


Figura 9. Perfil de velocidad articulado

Padrón

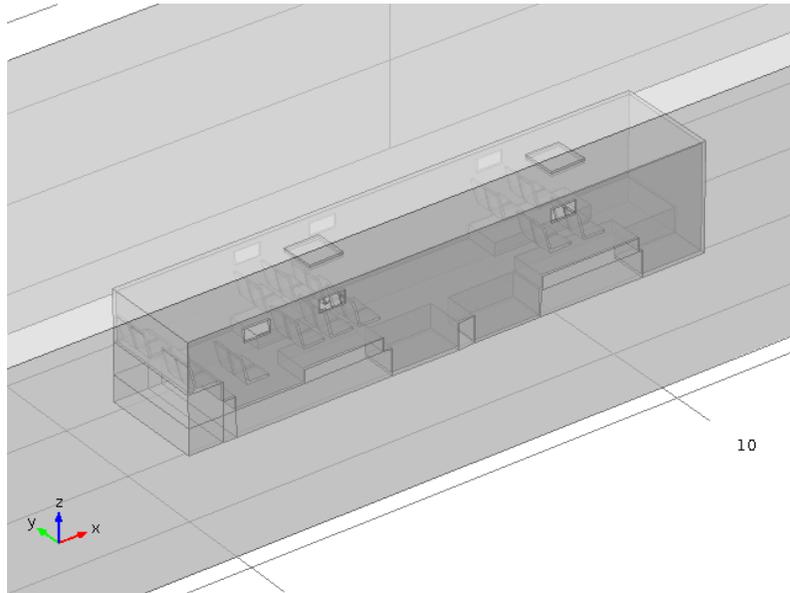


Figura 10. Geometría -
padron

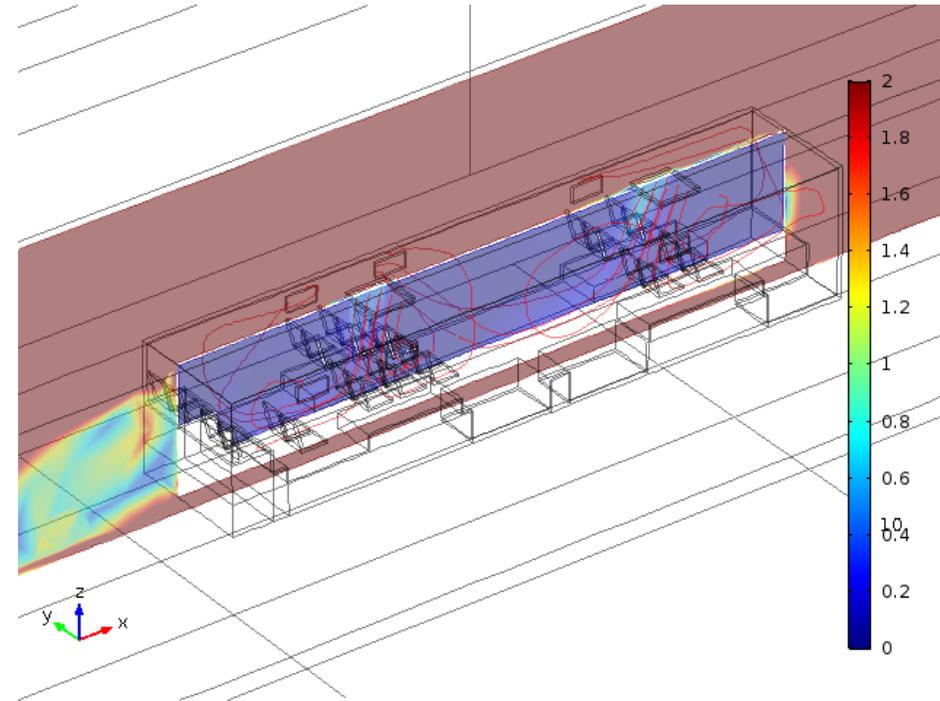
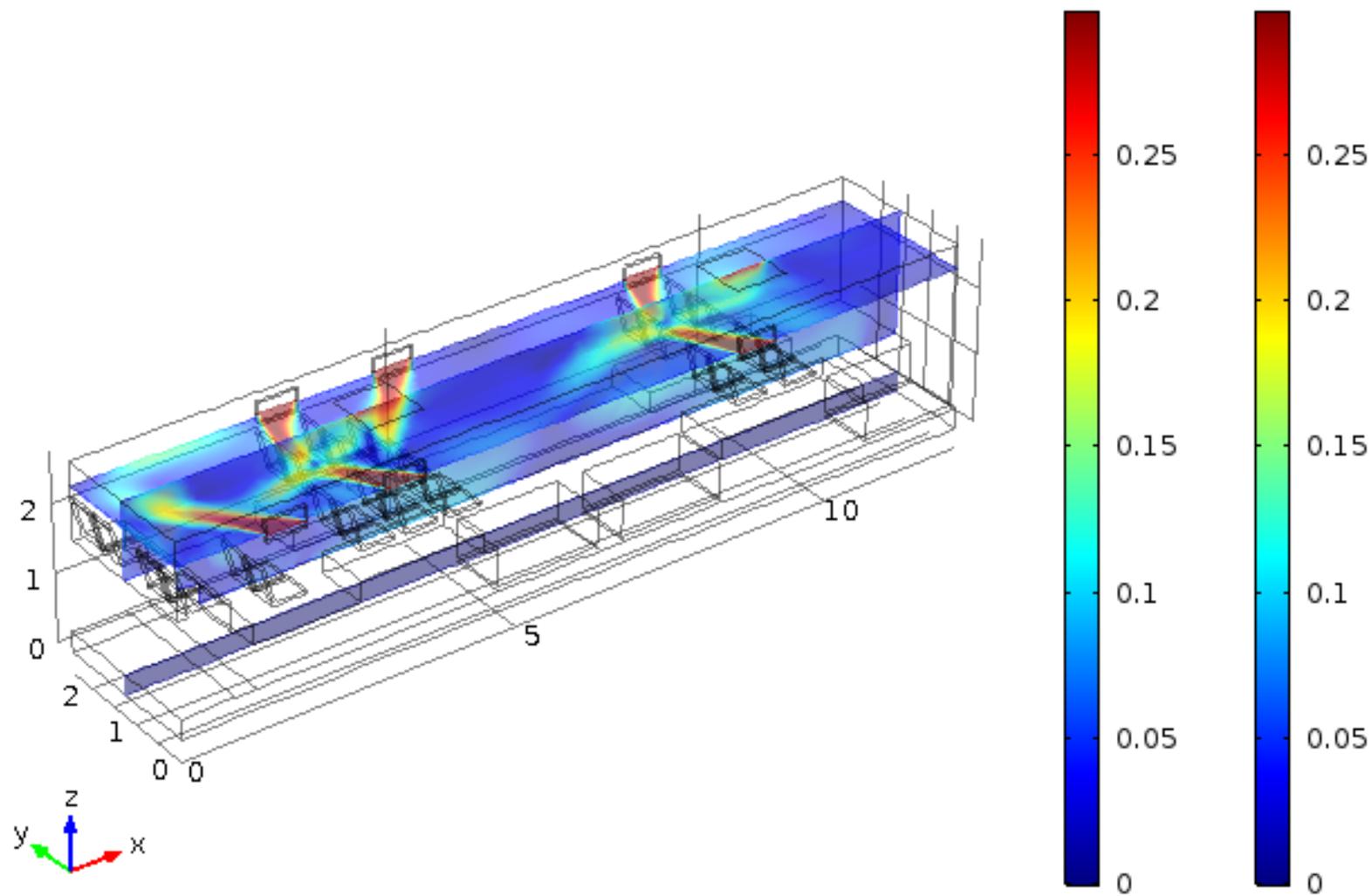
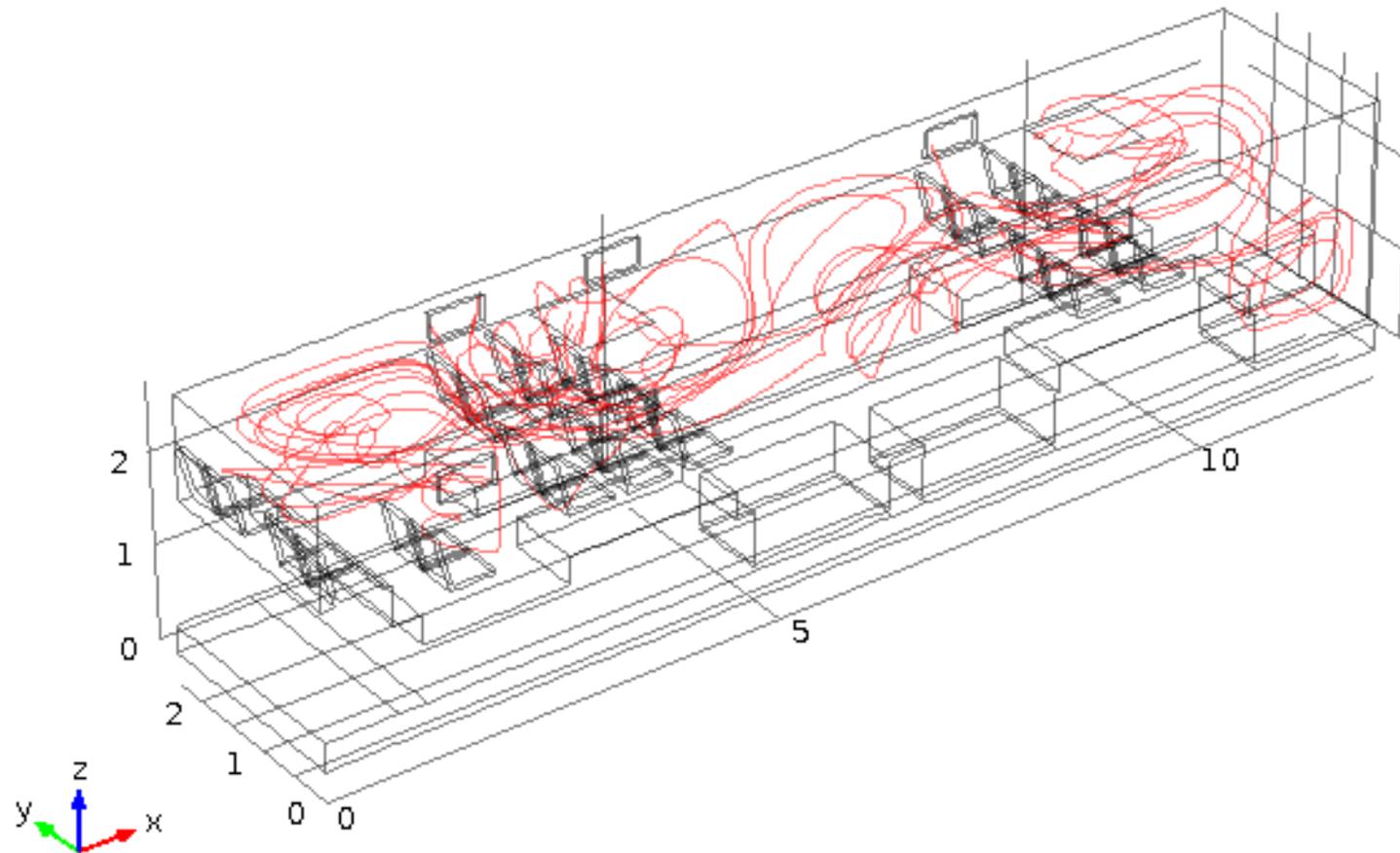


Figura 11. Perfil de velocidad
- padron

Perfil de velocidad en el Padrón



Líneas de Flujo en el Padrón



En proceso:

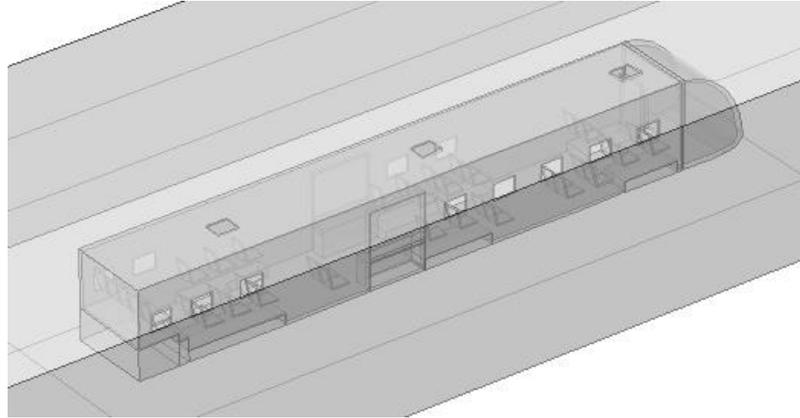


Figura 12. Bus Articulado

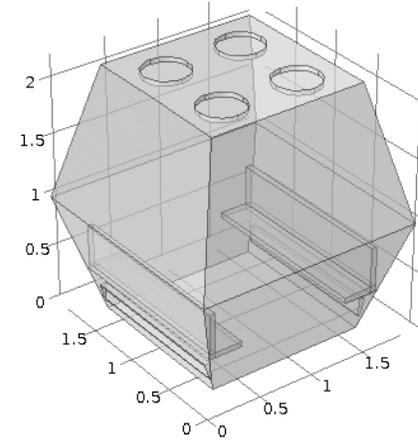


Figura 13. Cabina de metrocable

Mitigación del fomite



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA



Laboratorio de Gestión de
Sistemas en Tiempo Real

n





1 Espacio Público

Lavado y desinfección de plazoletas



Realizado en las estaciones:

EST – JAV – IND – SAA – PRA – MAD – BEO



Donación de dos empresas privadas.

Producto usado: detergente biodegradable.



2 vehículos por plazoleta

Capacidad por vehículo: 7 mts³.



Apoyo de **8** personas del servicio de aseo en las instalaciones de la Empresa.

3 Medio de pago



 Cívica es nuestra tarjeta de pago sin contacto

 Se ubicaron todas las lectoras para la carga de las tarjetas en los puntos de venta

 Se cuenta con canales digitales (recargas por internet, Nequi) para la recarga de la tarjeta Cívica con el fin de que los usuarios hagan el menor intercambio de dinero con el personal de ventas.

 Máquinas de Recarga automática en todo el corredor tranviario y en 11 estaciones para su autogestión por parte de los usuarios

Lector de recarga fuera del punto de venta para evitar al menos un contacto con personal de Metro.

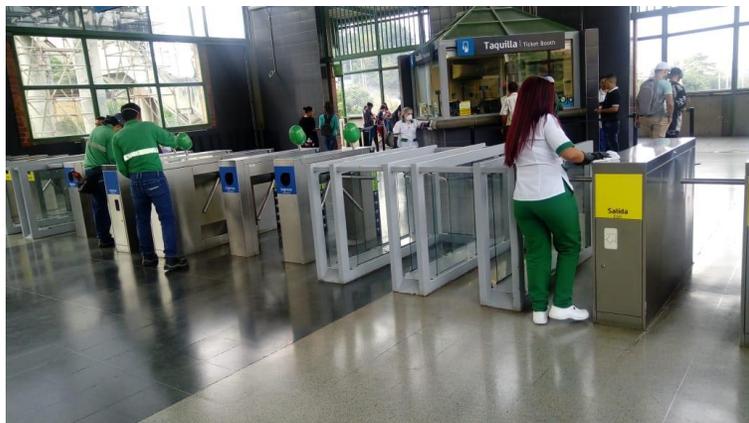


4 Validación

Fortalecimiento de protocolos de limpieza



Superficies de contacto	Frecuencia mínima
Torniquetes	Permanente
Mesones de puntos de venta	Permanente
Pasamanos	Permanente
Unidades sanitarias	Permanente
Apoyos Isquiáticos	5 veces por día
Ascensores	4 veces por día
Cuartos técnicos, primeros auxilios y oficinas	4 veces por día
Registradora (baños públicos)	Permanente
Puntos de venta internos	4 veces por día



Producto	Biocida activo	Superficies en las que se usan
Gel Antibacterial	Etanol: Es uno de los componentes del gel y está desarrollado para la limpieza de manos, elimina gérmenes y bacterias.	Manos
Limpiador desinfectante	Amonio cuaternario: Uno de los principios activos efectivo para usar contra el Nivel Coronavirus SARS-CoV-2, causa de COVID-19	Torniquetes, ascensores, pasamanos, mesones de puntos de venta, cuartos técnicos y oficinas)
Espuma clorada	Hipoclorito de Sodio: presenta eficacia bactericida, fungicida, esporicida y virucida.	Unidades sanitarias
Klorbleen	Desinfectante de alta calidad (grado hospitalario) Usado internacionalmente por (entre otros): <ul style="list-style-type: none"> ✓ Organización Mundial de la salud ✓ NASA ✓ UNICEF 	Superficies de mayor contacto Manos de usuarios previo al ingreso del Sistema



6 Espera del medio



Lavamanos y dispensadores de Gel en estaciones y paradas con el fin de que los viajeros se desinfectan antes y después de usar nuestros trenes, tranvías, buses y cables.

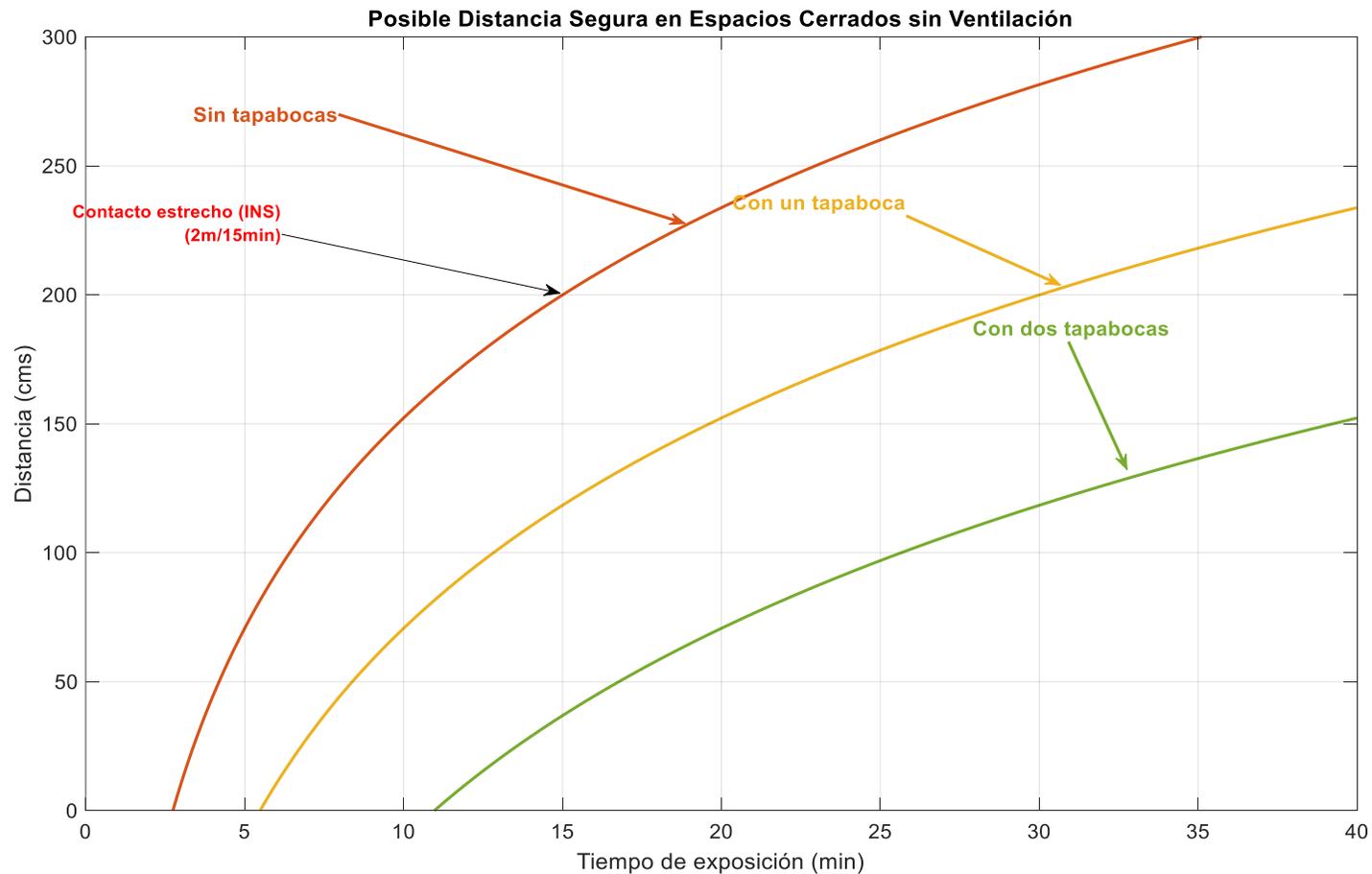
79
lavamanos en
estaciones



64
dispensadores de
antibacterial



El riesgo depende del número de infectados, de la distancia y del tiempo de exposición



Fortalecimiento de protocolos de limpieza **7** Uso



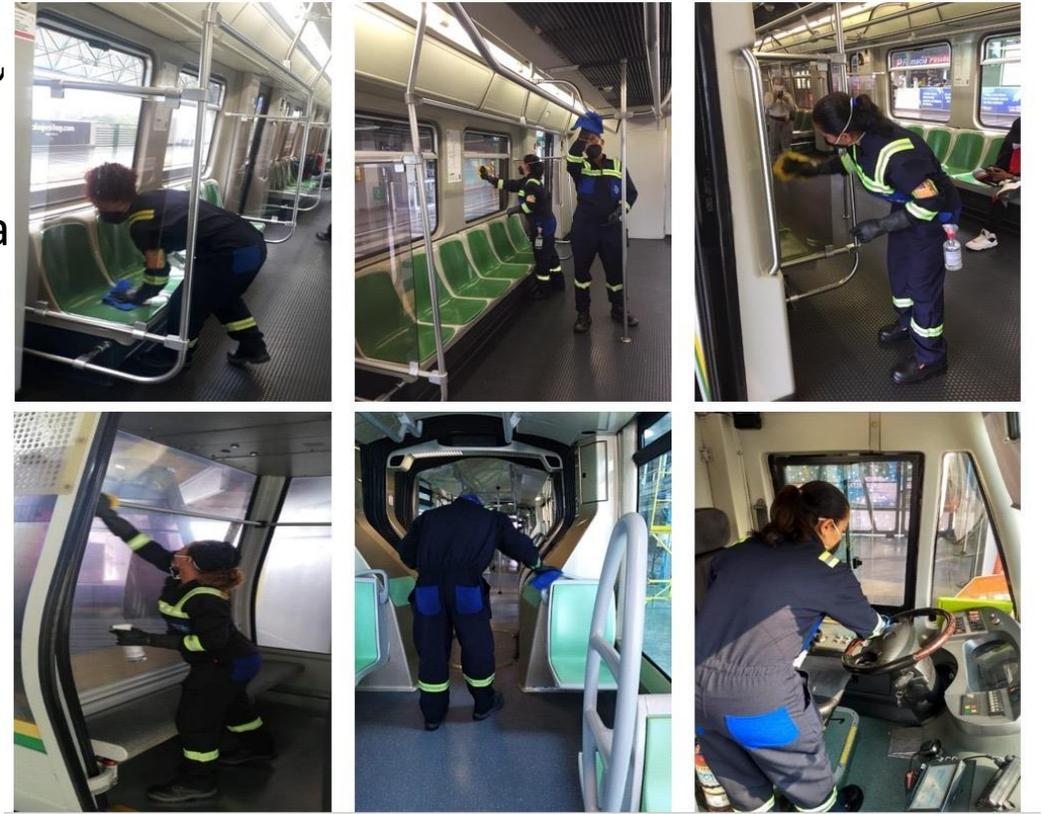
 Aseo rutinario y aseo intensivo en trenes, Tranvías, Buses Articulados, Padrones, Eléctricos y Cables.

 Aseo en servicio comercial en trenes, Tranvías, Buses Articulados, Padrones, Eléctricos, Cables.

 Se programan refuerzos De personal de limpieza para la atención en estaciones en horas pico.

 Personal de apoyo para atender la desinfección a las cabinas de los conductores y a los vehículos que ingresan a las actividades de mantenimiento.

El proceso de desinfección comprende la eliminación por agente químico con amonio cuaternario de quinta generación que garantiza una correcta desinfección de superficies de contacto directo de los vehículos.



Un Sistema Sostenible de Protección del Usuario



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA



Laboratorio de Gestión de
Sistemas en Tiempo Real

n



Mitigación del contagio en TPC

1. Medir o estimar los infectados (Datos de Salud-fallecidos, ocupación (UCI, UCE y camas) casos sospechosos - En el área y municipios aledaños)
2. Definir el nivel de riesgo de la ruta o rutas
3. Establecer uno de los niveles de carga de acuerdo con esos datos
4. Coordinar para evitar esperas desmedidas
5. (Medir y recalibrar)

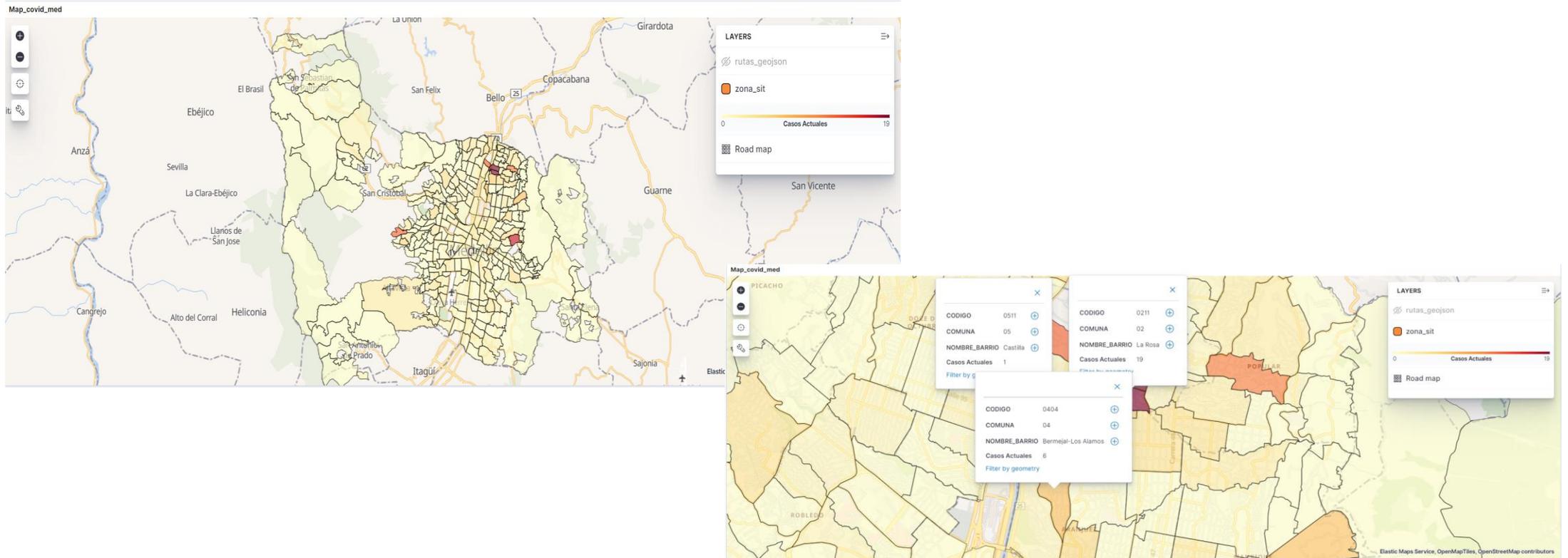
	Severe cases	All cases	Proportion of infected individuals hospitalised
0-9 years	0	13	0.00% (0.00-0.00)
10-19 years	1	50	0.0408% (0.0243-0.0832)
20-29 years	49	437	1.04% (0.622-2.13)
30-39 years	124	733	3.43% (2.04-7.00)
40-49 years	154	743	4.25% (2.53-8.68)
50-59 years	222	790	8.16% (4.86-16.7)
60-69 years	201	560	11.8% (7.01-24.0)
70-79 years	133	263	16.6% (9.87-33.8)
≥80 years	51	76	18.4% (11.0-37.6)

Proportions of infected individuals hospitalised are presented as posterior mode (95% credible interval) and are adjusted for under-ascertainment and corrected for demography. Estimates are shown to three significant figures. We assumed, based on severity classification from a UK context, that cases defined as severe would be hospitalised.

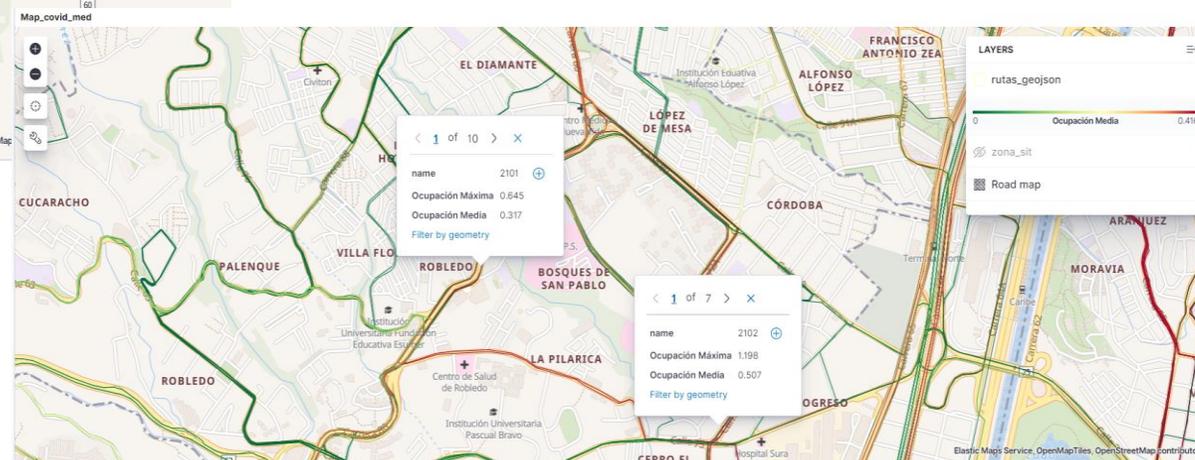
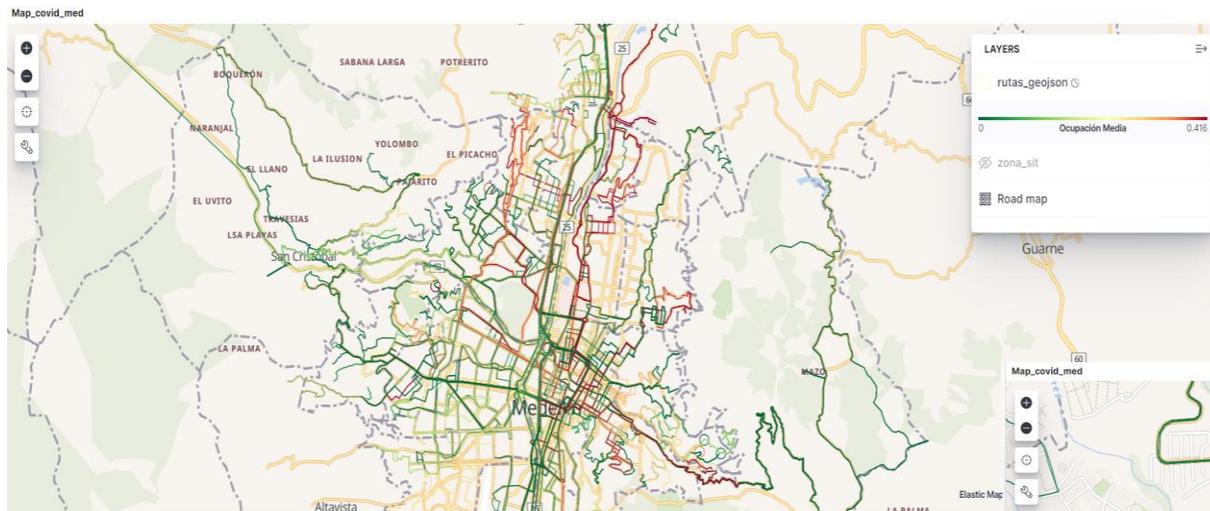
Table 3: Estimates of the proportion of all infections that would lead to hospitalisation, obtained from a subset of cases reported in mainland China¹⁸



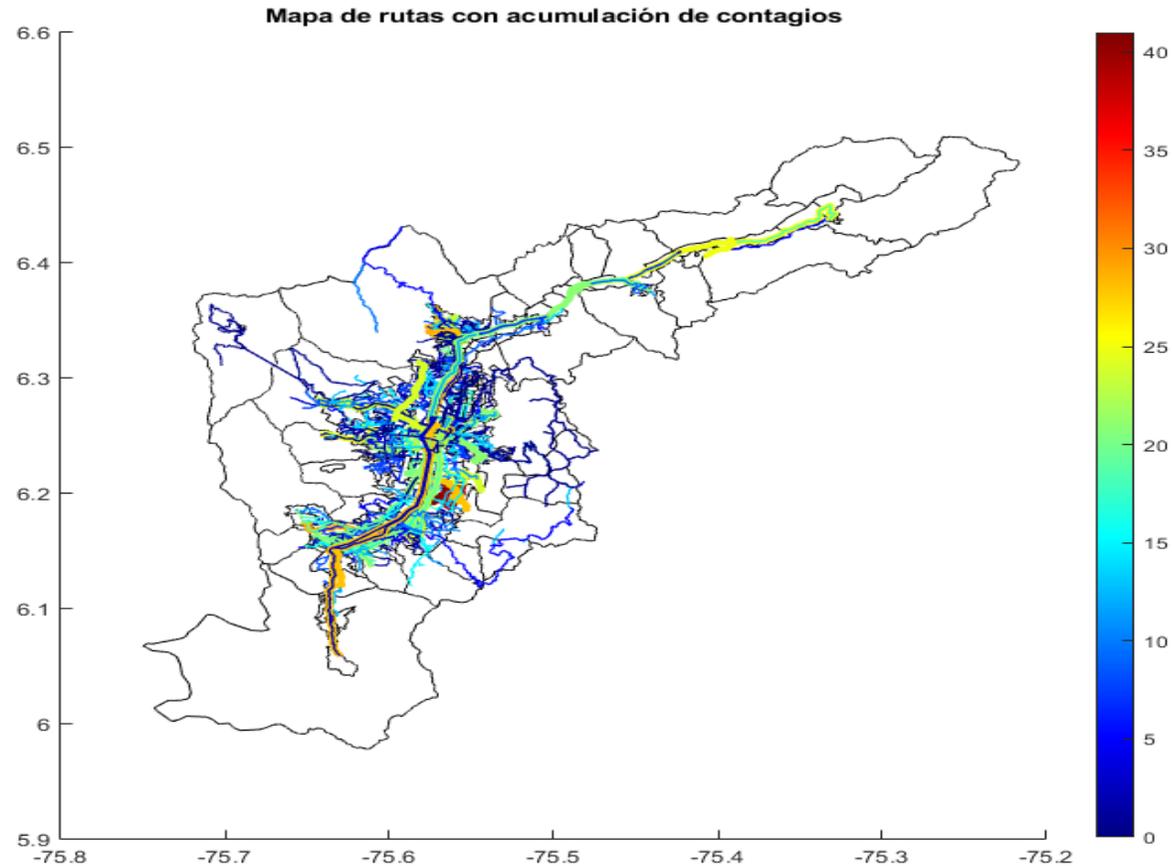
Medir o estimar los infectados (Datos de Salud-fallecidos, ocupación (UCI, UCE y camas) casos sospechosos - En el área y municipios aledaños)



Definir el nivel de riesgo de la ruta o rutas



Definir el nivel de riesgo de la ruta o rutas



Conclusiones



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA



Laboratorio de Gestión de
Sistemas en Tiempo Real

n



Un transporte sin contagio depende de:

- **Mantener superficies limpias:**
 - **Aseo frecuente de superficies**
 - **Medios de pago sin contacto**
 - **Usuarios que limpian sus manos antes y después de cada viaje**
 - **Usuarios que no tocan sus caras**



Un transporte sin contagio depende de:

- **Evitar la proyección de gotas:**
 - **Usuarios que usan sus mascarillas correctamente cubriendo nariz y boca durante el viaje**
 - **Usuarios que usan sus mascarillas ajustadas correctamente al rostro para respirar siempre a través del tejido**
 - **Usuarios que viajan en silencio y sin consumir alimentos**



Un transporte sin contagio depende de:

- **Evitar los aerosoles:**
 - **Vehículos ventilados**
 - **Flujos de aire verticales**
 - **Sistemas de aire con altas tasas de renovación**



Un transporte sostenible depende de:

- **Gestión del sistema:**
 - **Control frecuente y pruebas a usuarios frecuentes, conductores y expendedores**
 - **Ocupación variable del sistema en función del número de infectados**
 - **Ocupación variable geográficamente distribuida**



Agradecimientos

- César Gómez – UNAL
- Christian Roviro Portilla- UNAL
- Miguel Melo – Metro de Medellín
- Jaime Rugeles – Ruta N
- Diego Zapata – SMM
- Grupo Colaborativo de Modelamiento Colombia COVID 19- Movilidad

GRACIAS

Jairo Espinosa

jespinov@unal.edu.co

www.moycot.org

@gaunalmed

@moycotmed

@energetica2030



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA



Laboratorio de Gestión de
Sistemas en Tiempo Real



Otros riesgos



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA



Laboratorio de Gestión de
Sistemas en Tiempo Real

n



Otros riesgos derivados de la restricción

- Disminución en las frecuencias y prestación de servicio.
- Guerra del centavo.
- Despidos de los trabajos asociados al transporte (Conductores, despachadores, lavadores, etc).
- Cierre de algunas rutas.
- Quiebra y cierre total de las empresas.
- Decrecimiento económico de la ciudad.
- Proliferación de servicio diferente (informalidad)
- Pérdida de trazabilidad para el control del Covid-19
- Externalidades relacionadas con el mínimo vital para el sustento de las familias de los conductores
- Pérdida de confianza en el transporte público de la ciudadanía
- Aumento desmedido del transporte informal
- Imposibilidad de continuidad del cronograma definido para la renovación vehicular

Servicio diferente (Informalidad)

Insolvencia financiera del transporte