

SIMULACIÓN RIESGO DE EXPOSICIÓN AL SARS-CoV-2 EN AERONAVES

Angel Ronaldo Roa Prada
Hernando José Rojas Castro
Andrés Felipe Barajas Wellman.

Universidad Industrial de Santander.
Ingeniería de Sistemas.
Simulación Digital.
2021.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Debido a la pandemia por COVID-19 el planeta se vio obligado a salvaguardar a los habitantes haciendo que los gobiernos instauraran cuarentenas a nivel global, esto con el fin de identificar la forma de aspersión y contagio del virus.

Una vez se identificó cual era el medio principal de contagio (aéreo) se hizo necesario establecer medidas para mitigar los impactos del virus, como el uso de tapabocas, restricciones en el aforo de establecimientos y sitios concurridos.

Esto nos genera la necesidad de saber de qué manera se esparce el virus en lugares cerrados, ya que las personas contagiadas por el virus SARS-CoV-2 emiten partículas de virus al respirar, hablar, toser o estornudar, por lo tanto, se hace necesario analizar la manera en que se propaga el virus en estos lugares y de qué manera podemos asegurar que el aforo de cierto lugar en específico sea seguro para todas las personas y así evitar el riesgo de un contagio masivo.

OBJETIVO GENERAL

- Simular la probabilidad de contagio y cantidad de personas infectadas por SARS-Cov2 en aeronaves.

OBJETIVO ESPECÍFICOS

- Recolectar datos acerca de la cantidad de partículas de virus Sars CoV-2 que emite una persona al exhalar, eficiencia de filtrado del virus del tapabocas e intercambio de aire con el exterior de la aeronave.
- Plantear varios escenarios para realizar la simulación basada en datos recolectados.
- Plantear un modelo de simulación que determine la probabilidad de contagio por Sars CoV-2 en espacio cerrados, teniendo en cuenta variables como lo son el uso del tapabocas, cantidad de personas en dicho espacio y tamaño de la aeronave.

PLAN GENERAL DEL PROYECTO

El continuo cambio y avances en logística hacen necesaria la realización de mejoras en la toma de decisiones, en este caso en particular simular la probabilidad de contagio de COVID-19 en una aeronave podría ayudarnos a determinar qué tan eficientes son las medidas implementadas en este ámbito para evitar el contagio del virus.

El cálculo de la probabilidad de contagio por covid-19 en una aeronave variando la cantidad de personas contagiadas y la cantidad de virus que emiten, sería un proceso costoso en términos del tiempo, recursos de medición, y demás variables. Adicional a esto, sería riesgoso en tiempo de pandemia para las personas que fueran sometidas al estudio.

Otro de los beneficios adicionales de esta simulación es proporcionar una visualización unificada del escenario planteado en la problemática, ya que el modelo reproduce el escenario en el computador.

Es necesario establecer el procedimiento a realizar luego de conocer la problemática y las preguntas que se buscan responder. Inicialmente se debe plantear las variables que van a influir en el comportamiento del sistema, luego se debe conceptualizar un modelo compuesto por estas variables, donde para comenzar se planteará un modelo sencillo y luego, de ser necesario, ir agregando complejidad. Siguiendo esta lógica, el estudio se realizará tomando como eje central dos puntos de referencia, en donde se analizará para dos tipos de aeronave, para ambos casos va a variar el tamaño de la aeronave y la cantidad de personas presentes en estas mismas, así como también la cantidad de virus que emiten las persona contagiadas, donde la cantidad de personas contagiadas también va a variar.

Luego de establecer las variables debemos conocer los valores que pueden tomar estas, por ejemplo el rango de valores que debe tomar la cantidad de virus emitida por cada persona, la manera en que se va a medir la ventilación y el área de la aeronave, entre otras.

Una vez se tenga claro el modelo, las variables y los datos que se va a utilizar en el estudio de simulación, se debe traducir el modelo a un lenguaje que sea idóneo para realizar la simulación. Mientras se realiza la simulación se debe verificar si el modelo realmente funciona según lo esperado, si su lógica es tal y como se pensaba desde la conceptualización.

CONCEPTUALIZACIÓN DEL MODELO

El modelo a implementar se basa en resultados y datos obtenidos de estudios realizados en Miller et al. (2020); Buonanno et al.(2020), los cuales a su vez se basan en trabajos de Wells (1955) y Riley et al.(1978) a través de una expresión analítica conocida como la ecuación de Wells-Riley. Con este modelo se nos permitirá estimar la probabilidad de contagio en un ambiente cerrado, para su posterior aplicación en diferentes escenarios planteados teniendo en cuenta varias premisas, entre las que se encuentran: i)no hay contacto físico entre las personas presentes en la aeronave, ii)todos mantienen las normas de distanciamiento social establecidas por el ministerio de salud, iii)no tosen ni estornudan, iv) las partículas de SARS-CoV-2 se distribuyen de manera uniforme en todo el espacio o volumen de la aeronave. Tanto el lugar del tracto respiratorio donde se originan los aerosoles, así como la distribución de tamaño y número de partículas emitidas son factores importantes para entender el transporte de los virus por el aire a través de los aerosoles (Morawska et al. 2009).

La aproximación Wells-Riley ofrece una gran ventaja ya que resume todos estos procesos en un solo parámetro denominado “quantum” que representa la mínima dosis que causa infección, evitando de esta manera representar explícitamente los procesos de generación y emisión de aerosoles en la persona infectada.

Es importante resaltar que el quantum como medida hace referencia a la dosis necesaria de aerosoles infecciosos requeridos para infectar al 63% de la población susceptible(Wells 1955; Buonanno et al. 2020). Buonanno et al.(2020) estimaron la carga del SARS-CoV-2 emitida en aerosoles por personas infectadas bajo la hipótesis de que la carga viral en el esputo de la boca es la misma a la carga viral de los aerosoles emitidos y que entre ellos existe un balance de masa. En este estudio, la carga viral emitida es expresada en términos de la tasa de emisión de quantum (Eq) la cual es función de la carga viral en la boca, el tipo de actividad (como hablar, cantar, toser, etc.), la tasa de inhalación, y el nivel de actividad física (como descansar, caminar, etc.).

Los siguientes son los parámetros más importantes usados en la conceptualización del modelo.

- **Tasa de emisión de CO₂**, en este parámetro debemos tener en cuenta que durante la respiración humana no solamente hay emisión de aerosoles sino que también gases como el dióxido de carbono (CO₂). La emisión de este gas está directamente relacionado con factores como la actividad física que realice en el momento o la edad de la persona que emite el gas.
- **Eficiencia de filtrado por el uso del tapabocas**, el principal motivo del uso de tapabocas es evitar la inhalación de aerosoles infecciosos. En este parámetro se tiene en cuenta el tipo de tapabocas ya que de esto dependerá el porcentaje de la eficiencia de filtrado de aerosoles. Desde un punto de vista más objetivo usaremos como marco de referencia el tapabocas tipo quirúrgico que es el más presente en el mercado y de fácil acceso a todas las personas.

- **Intercambio de Aire con el exterior**, la concentración del aerosoles en un espacio cerrado depende directamente de las condiciones ambientales tales como temperatura, la humedad, etc. Dichas condiciones pueden llegar a alterar el coeficiente de infección por Covid-19, no obstante pueden tomarse medidas muy concretas para reducir la probabilidad de contagio, como por ejemplo el sistema de ventilación de un edificio o concretamente de la aeronave la cual es el entorno a estudiar.
- **Carga viral emitida por una persona**, unos de los factores importantes para entender el transporte de los virus por el aire a través de aerosoles son el conocer el tracto respiratorio donde se originan los aerosoles así como también el tamaño y la cantidad de partículas emitidas por una persona (Morawska et al. 2009). La medición de estos parámetros suele ser bastante complicada sin embargo la aproximación Wells-Reley ofrece una gran ventaja puesto que nos brinda todos estos parámetros en uno solo denominado “quantum” que representa la mínima dosis.
- **Volumen del espacio cerrado**, hace referencia al volumen en metros cuadrados en nuestro caso de dos aeronaves diferentes las cuales se analizan más a fondo en los escenarios de la simulación.
- **Fracción de población infectada**, hace referencia a el porcentaje de colombianos infectados respecto a la población total del país, en particular estudiaremos dos puntos, el primero que es donde hubo el pico más alto registrado y el segundo que hace referencia al momento actual de casos activos. Tenemos en cuenta que la población en Colombia registra a la fecha 50’833.000 personas.

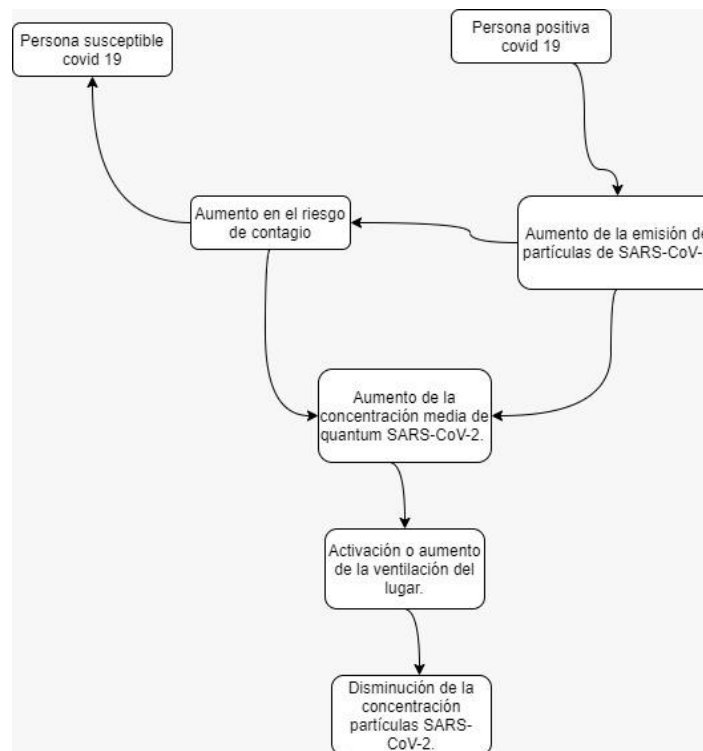


Figura 1, flujo de eventos dentro de la aeronave.

La Figura 1 representa la dinámica del sistema que se va a simular, donde se observa que la persona contagiada de covid 19 emite quanta de virus y aumenta la misma en el espacio, haciendo que las personas no contagiadas sean susceptibles al contagio, por otro lado tenemos la fuente de ventilación que hará que la cantidad de virus disminuya.



Figura 2, representación del escenario

En la figura 2 observamos la representación visual de la manera en que se verá el escenario, que es como se vería en caso de ser un escenario real.

ESCENARIOS A IMPLEMENTAR

En cuanto a los escenarios se plasmarán ocho escenarios diferentes para la aeronave Airbus A300-600ST que tiene una medida de volumen de 1400 m^3 , diseñado para una cantidad máxima de 416 pasajeros, dichos escenarios variarán en cuanto al tipo de tapabocas usado, cantidad de pasajeros en el vuelo y fracción de población infectada.

Estos ocho escenarios se ordenan cronologicamente durante el transcurso de la pandemia los cuales simulan las medidas tomadas por las aerolíneas.

En un primer escenario se simula la situación en la cual aún no se tenía un previo conocimiento sobre el Covid-19 por tanto no se tomaban medidas de restricción, como lo son el uso del tapabocas o disminución de pasajeros por vuelo para evitar aglomeraciones, debido a esto la fracción infectada se elevó al primer pico.

Para los siguientes 7 escenarios se varían las estrategias implementadas, donde varía la cantidad de personas infectadas en el avión desde el instante inicial y la efectividad en el uso del tapabocas, con el fin de calcular la probabilidad de contagio y la cantidad de personas infectadas al final de la simulación.

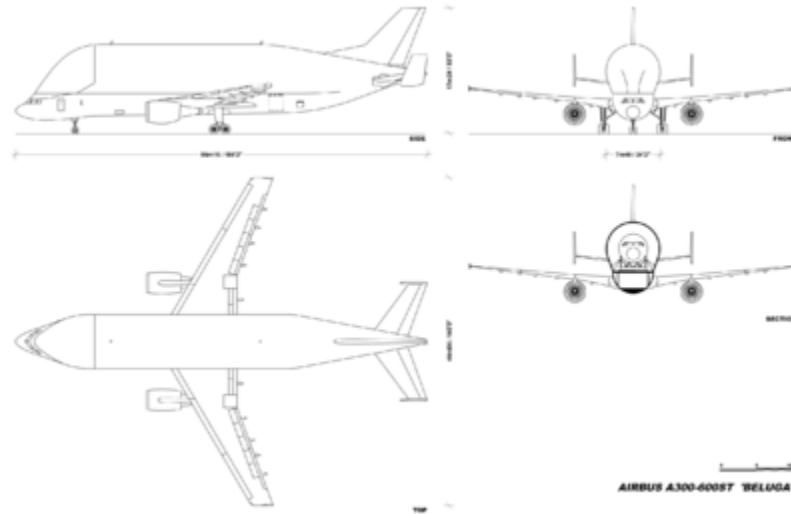


Figura 3, tomado de https://es.wikipedia.org/wiki/Airbus_A300-600ST_Beluga

Airbus A300-600ST – 1400m3			
Escenario	% Fra. Infectada	No Pasajeros	Tipo tapabocas
1	5	416	Ninguno
2	5	208	Ninguno
3	5	208	quirúrgico
4	2	416	quirúrgico
5	2	416	N95
6	0,028	416	quirúrgico
7	0,028	416	N95
8	0,028	416	ninguno

Tabla de escenarios a implementar

El escenario 1, 2 y 3 fueron planteados para el caso donde la situación de la pandemia era crítica y estaba iniciando, donde el 5% de las personas podrían estar infectadas, esta proporción ha sido planteada con el fin de proponer un punto de partida y no quiere decir que en el inicio de la pandemia haya sido así, y con estos datos poder simular un escenario donde se cuenta con personas infectadas para analizar el comportamiento de los contagios.

Los escenarios 4 y 5 fueron planteados para el caso donde la fracción de la población infectada era del 2%, esto puede no ser un número real, ya que un 2% de la población no podría estar infectada al mismo tiempo, sin embargo, se hizo para dar proponer una cantidad de infectados inicial en el avión.

Los escenarios 6, 7 y 8 se plantearon para el caso de una fracción de población infectada real, donde esta proporción de infectados corresponde a la proporción actual (12 de octubre de 2021), con el fin de

analizar el comportamiento de los contagios para esta cantidad de población según las restricciones que se establecen.

RECOLECCIÓN DE DATOS

TASA DE EMISION DE CO₂

Actividad	Tasa de emision (litros/s)
Estar sentado	0,0056
Caminar lentamente	0.0080
Realizar ejercicio ligero	0.0120
Realizar ejercicio moderado	0,0160

Tabla 1 – Tabla de emision de CO₂ promedio.

Los datos para la tabla 1 nos indican los valores para la tasa de emisión de CO₂ dependiendo de la actividad que realice la persona, donde esta tasa está dada en Litros/segundo, ademas los datos corresponden para personas, hombres y mujeres, las cuales su rango de edad está entre 21 y 30 años. (PERSILY & DE JONGE 2017).

EFICIENCIA DE FILTRADO DE TAPABOCAS

	Generico	N95	N95 con valvula	Quirurgica
Inhalar	30	90	90	30
Exhalar	30	90	0	50

Tabla 2 – Eficiencia de filtrado, en porcentaje, de diferentes tipos de barbijos tanto al inhalar como exhalar.

Los datos para la tabla 2 fueron extraídos de la herramienta en línea propuesta por Jimenez, donde nos indican los valores que corresponden a la eficiencia de filtrado de diferentes tapabocas, donde se muestran valores para 4 tipos de ellos y los valores para las partículas de virus que podrían filtrar al momento de inhalar y exhalar.

INTERCAMBIO DE AIRE CON EL EXTERIOR

	Ventilacion natural	Ventilacion mecanica	Ventilacion natural y mecanica
Ventilacion, AER (1/h)	0,5	3	10

Tabla 3 – Filtrado de aire segun el tipo de ventilacion en un espacio cerrado.

Los datos para la tabla 3 nos indican los valores de ventilación de un espacio cerrado, donde estos se miden en AER (Air Exchange Rate) por hora, para entornos con ventilación natural, mecánica y mecánica y natural.

PROTOTIPO IMPLEMENTADO

Para el diseño del prototipo a implementar en la simulación se hace necesaria la implementación de funciones (ver anexo 1.1) para su posterior aplicación e implementación de la simulación (ver anexo 1.2), dichas funciones son las siguientes:

La función tasa total es la encargada de calcular la sumatoria de el cambio de aire por hora con la tasa de descomposición del virus Miller et al.(2020) y la deposición a superficies Buonnano y col.(2020).

npasajeros se encarga de retornar el valor del número de pasajeros infectados y recibe como parámetros de entrada la fracción de población infectada la cual es un porcentaje calculado en base a la cantidad de personas actualmente contagiadas respecto a la zona, también recibe como parámetro el número total de pasajeros presentes en el vuelo.

tasaemision retorna la tasa de emisión neta de quantum por hora y recibe como parámetros la tasa de emisión en quantum por hora de cada persona (10 q h^{-1} , estimado de Miller (2020) y Buonnano et al. (2020a, 2020b)) y la eficiencia de la máscara para la emisión (50%).

Avg1 me retorna el valor de la concentración promedio de quantum por metro cúbico para un infectado y recibe como parámetros la tasa de emisión neta, la tasa total de pérdida de primer orden, el volumen de la aeronave y la duración del vuelo en horas. Ver ecuación (4) Miller et al.(2020).

Avg2 me retorna el valor de la concentración promedio de quantum por metro cúbico de la cantidad de pasajeros infectados y recibe como parámetros la concentración promedio para un infectado y el número de pasajeros infectados.

quaninhalado me retorna el valor del quantum inhalado por una persona y recibe parámetros como lo son la concentración promedio para la cantidad de pasajeros infectados, la frecuencia respiratoria, la duración del viaje y la eficacia de la mascarilla al momento de inhalar.

probinfec me retorna la probabilidad de infección para una persona y recibe como parámetros los quantum inhalados por persona para su posterior evaluación con la función exponencial. Ver ecuación (1) de Miller et al.(2020).

contagiados me retorna el valor total de personas contagiadas en el avión y recibe como parámetros la cantidad de pasajeros y la probabilidad de infección por persona.

DISEÑO EXPERIMENTAL

Para la simulación que se llevó a cabo en el presente estudio se tomaron diferentes escenarios con el fin de analizar las estrategias que se implementaron por parte del gobierno nacional y las aerolíneas, donde para el estado de emergencia los aeropuertos fueron cerrados y las operaciones aéreas fueron canceladas, esta medida se puede analizar teniendo en cuenta los resultados de la simulación, ya que con unas medidas mínimas de seguridad se pudo haber evitado el cierre de los aeropuertos y se pudo haber continuado con las labores aéreas, donde con unas medidas mínimas se podía mitigar el riesgo de contagio.

Una de ellas es la limitación del número de pasajeros en el avión, donde con un # de ocupación bastaba para no tener un contagio masivo dentro de los aviones, esto teniendo en cuenta la cantidad de personas contagiadas que habían en el país en el momento del pico de contagios.

Otra medida relevante que se pudo tomar en el momento del pico de contagios es que por obligación el único tipo de tapabocas que se que se pudiera usar es el N95, ya que es el que mayor índice de filtrado tiene y es el que reduce la probabilidad de contagio para las personas dentro del avión, siendo esta medida la más eficiente actualmente luego de la reactivación de los vuelos comerciales.

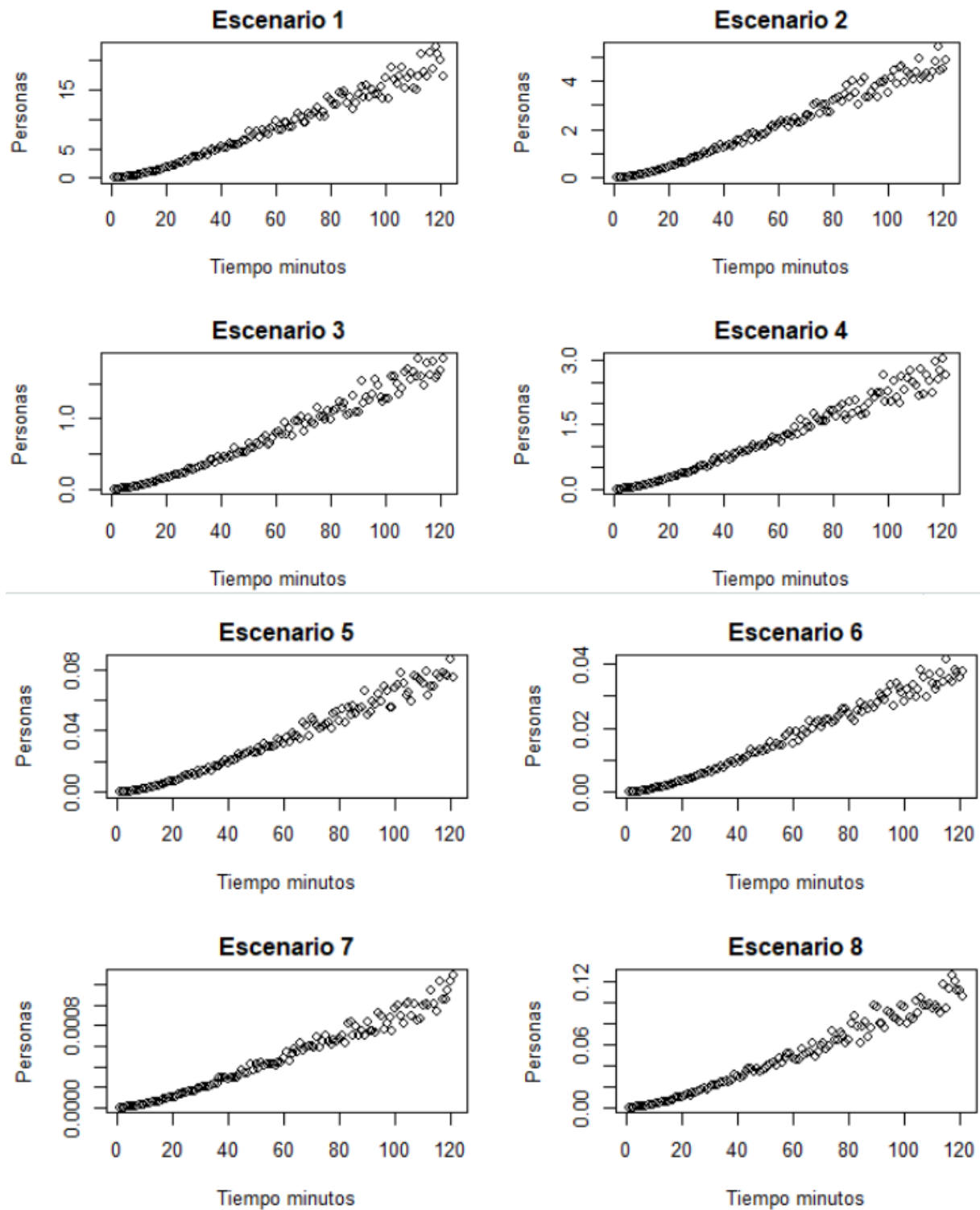
RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

Tablas

Airbus A300-600ST				
Escenarios	1	2	3	4
tipo tapabocas	ninguno	ninguno	quirúrgico	quirúrgico
No pasajeros	416	208	208	416
%Fra. Infectada	5	5	5	2
Personas infectadas al inicio	21	10	10	8
Probabilidad de infección por persona	0,022	0,011	0,0039	0,0031
Personas contagiadas al final	18	4	2	3

Airbus A300-600ST				
Escenarios	5	6	7	8
tipo tapabocas	N95	quirúrgico	N95	ninguno
No pasajeros	416	416	416	416
%Fra. Infectada	2	0,028	0,028	0,028
Personas infectadas al inicio	8	0	0	0
Probabilidad de infección por persona	$8,77 \times 10^{-5}$	$4,31 \times 10^{-5}$	$1,23 \times 10^{-6}$	0,00012
Personas contagiadas al final	0	0	0	0

Gráficas



ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Análisis

Teniendo en cuenta los escenarios de la simulación, se puede observar que para el primero de ellos, la probabilidad de contagio fue del 0.022 %, lo que supone que la probabilidad de contagio por persona es baja cuando el 5% de los pasajeros está contagiado, esto es en total 21 personas contagiadas respecto a la capacidad máxima del avión, aún así, se observó que 18 personas se contagiaron de COVID-19, haciendo la aclaración que en este escenario, ninguno de los pasajeros llevaba tapabocas.

Para el segundo escenario, donde se propuso desde un principio que para este punto ya se había declarado la emergencia sanitaria y, además, se implementaba una restricción en el aforo del 50% y los ocupantes del avión no usaban tapabocas, se observó que la probabilidad de contagio fue del 0.011%, lo que es una probabilidad baja de contagio por persona, sin embargo, los nuevos contagios de COVID-19 fueron de 4 personas, esto cuando el 5% de la población inicial del avión estaba infectada, o sea 10 personas (5% de 208).

Los resultados para el tercer escenario mostraron que la probabilidad de contagio fue de 0.0039%, lo que es una probabilidad de contagio aún más baja que en los escenarios anteriores, aunque hay que tener en cuenta que en este caso los ocupantes del avión ya usaban tapabocas tipo quirúrgico y el aforo era el mismo que en el escenario anterior (208 pasajeros), el número de contagios en este escenario fue de 2 pasajeros.

Para el cuarto escenario se había propuesto que la pandemia estaba en unos de sus picos de contagios pero no en el más alto, por lo tanto el aforo fue del 100%, aunque seguía siendo necesario el uso del tapabocas, tipo quirúrgico para este caso. La probabilidad de contagio fue del 0.0031, donde el 2% de las personas estaban infectadas, provocando un total de 3 nuevos contagios.

Para los escenarios 5, 6 y 7 las medidas de bioseguridad seguían siendo rigurosas, donde los ocupantes usaban tapabocas tipo N95, quirúrgico y N95 respectivamente, aunque en el 5 escenario hubo una cantidad inicial de 8 personas infectadas, al final de la simulación no se observaron nuevos contagios, por otro lado, para los escenarios 7 y 8 no hubo infectados iniciales ya que para estos se planteó que la pandemia estaba en un valle de contagios (bajos índices de infectados) parecido al actual, por lo tanto al no haber personas infectadas, la probabilidad de contagio era sumamente baja, lo que hizo que tampoco hubieran nuevos contagios.

El escenario número ocho parece ser el más alentador, ya que basados en el nivel actual real de contagios, se observa que la cantidad de personas infectadas en el inicio de la simulación es 0, de hecho la probabilidad de que una persona infectada esté en el vuelo es muy baja, lo que hace que la probabilidad de contagiarse sea muy baja (0,00012), lo que conlleva a que no hallan nuevos casos de contagio.

Conclusiones

- Las medidas implementadas por el gobierno nacional, como la cancelación de los vuelos nacionales e internacionales en pleno crecimiento de contagios fue una medida acertada, ya que según lo visto en los resultados de la simulación se observó que aún con el uso del tapabocas se reportaban personas contagiadas cuando la proporción de personas infectadas desde el principio eran del 5% (escenario 3).
- Para un entorno cerrado específicamente una aeronave hay factores que influyen significativamente en la variación de la probabilidad de infección por Covid-19 como por ejemplo el uso del tapabocas, por ende, directamente en la cantidad de personas contagiadas.
- Actualmente la probabilidad de contagio en una aeronave para un vuelo nacional es muy bajas, puesto que la cantidad de personas contagiadas en Colombia también lo es, haciendo que difícilmente una persona se contagie en un vuelo aún sin el correcto uso del tapabocas.
- Las medidas implementadas han sido efectivas ya que la fracción de población infectada se ha reducido notoriamente desde el primer pico de contagios y por ende la cantidad de contagiados en un vuelo es una cifra muy baja.
- El uso y la calidad del tapabocas influye considerablemente en la probabilidad de contagio por covid 19, ya que se observó que para los escenarios donde los ocupantes usaban tapabocas tipo N95 la probabilidad de contagio era muy baja..

ANEXOS

```

#Calculo de tasa total de perdida de primer orden
tasatotal <- function(venext, tasadesc, descscup){
  tttotal <- venext+tasadesc+descscup
  return(tttotal)
}

#Numero de pasajeros infectados
npasajerosi <- function(fpoblacion, npasajeros){
  npi <- (fpoblacion/100)*npasajeros
  return(npi)
}

#tasa de emision neta
tasaemineta <- function(Tquantum, memi){
  tneta <- Tquantum*(1-(memi/100))
  return(tneta)
}

#Avg Quantum Conc. (1 infectado)
Avg1 <- function(tneta, tttotal, volumen, tviaje){
  avg1i <- tneta/ttotal/volumen*(1-(1/ttotal/tviaje)*(1-exp(-tttotal*tviaje)))
  return(avg1i)
}

#Avg Quantum Conc. (con Problema de inf)
Avg2 <- function(avg1i, npi){
  avg2i <- avg1i*npi
  return(avg2i)
}

#Quantum inhalado por persona
quaninhalado <- function(avg2i, fresp, tviaje, ming){
  quaninh <- avg2i*fresp*tviaje*(1-ming/100)
  return(quaninh)
}

#probabilidad de infeccion
proinfec<- function(quaninh){
  probi<- 1-exp(-quaninh)
  return(probi)
}

#Cantidad de personas contagiadas
contagiados <- function(pasajeros, probi){
  cont <- pasajeros*probi
  return(cont)
}

```

anexo 1.1

```

while(tviaje<=tiempototalviaje){

  tviaje <- tviaje+sum
  venext<-runif(1,3,3.5)
  tasadesc<-runif(1,0,0.62)
  descsup<-runif(1,0.24,1.5)
  tttotal <- tasatotal(venext, tasadesc, descsup)
  Tquantum <- 10
  tneta <- tasaemineta(Tquantum, memi)
  npi <- npasajerosi(fpoblacion, npasajeros)
  avg1i <- Avg1(tneta, tttotal, volumen, tviaje)
  avg2i <- Avg2(avg1i, npi)
  quaninh <- quaninhalado(avg2i, fresp, tviaje, ming)
  probi<- proinfec(quaninh)
  cont<-contagiados(npasajeros, probi)

  vtasatotperdida <- append(vtasatotperdida,tttotal)

  vtasaemineta <- append(vtasaemineta,tneta)

  vavg1 <- append(vavg1,avg1i)
  vavg2 <- append(vavg1,avg2i)

  vquantuminhper <- append(vquantuminhper, quaninh)

  vprobinfec <- append(vprobinfec, probi)
  |
  vinfectados1<-append(vinfectados1, cont)

  i<-i+1
}

```

anexo 1.2, ejemplo para el primer escenario

El anexo 1.2 nos ejemplifica la aplicación de la funciones del anexo 1.1 aplicado específicamente al primer escenario donde realizamos 120 iteraciones, es decir , una iteración por minuto para las 2 horas de duración del vuelo.

REFERENCIAS

- Esteban, P. (2021, 29 mayo). *Coronavirus: “Las infecciones por aerosoles constituyen la única forma de contagio significativa”*. PAGINA12.
<https://www.pagina12.com.ar/344537-coronavirus-las-infecciones-por-aerosoles-constituyen-la-uni>
- Miller, S. L., Nazaroff, W. W., Jimenez, J. L., Boerstra, A., Buonanno, G., Dancer, S. J., Kurnitski, J., Marr, L. C., Morawska, L., & Noakes, C. (2021). Transmission

of SARS-CoV-2 by inhalation of respiratory aerosol in the Skagit Valley Chorale superspreading evento.

- Adams, W. C. 1993, Measurement of Breathing Rate and Volume in Routinely performed Daily Activities (California Environmental Protection Agency, Air Resources Board)
- Buonanno, G., Stabile, L., & Morawska, L. 2020, Environment International, 141, 105794
- Morawska, L. et al. 2009, Journal of Aerosol Science, 40 (3), 256 Ott, W., Klepeis, N., & Switzer., P. 2008, Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology, 18 (3), 312
- Persily, A. & de Jonge, L. 2017, Indoor Air, 27 (5), 868

