



Licenciatura en  
**CIENCIAS  
GENÓMICAS**



# IMPLICACIONES DE LAS ESTRATEGIAS DE VACUNACIÓN CONTRA COVID-19 DEPENDIENTES DE LA DEMOGRAFÍA EN MÉXICO

*Laura Hinojosa González  
Tamara López González  
Athena Tamayo Luisce  
Emmanuel Hernández Sánchez*

PROYECTO FINAL

FEBRERO, 2021

## **ABSTRACT**

*SARS-CoV-2 ha cobrado la vida de millones de personas alrededor de todo el mundo. El uso de modelos matemáticos al evaluar y proponer diferentes estrategias para contender con la pandemia es de gran importancia en la búsqueda de disminuir la propagación de COVID-19. Entender que la vacunación de inmunidad no podrá ser universal en primera instancia y que la magnitud del brote está fuertemente influenciada por las estrategias de intervención, es esencial para el planteamiento de dichas estrategias que tengan como objetivo minimizar el riesgo en cada población. La modelación puede tener diversos enfoques al abordar la dinámica heterogénea de una epidemia y su comportamiento en fase de vacunación. En el presente trabajo, se propone un enfoque simplista que considera tres factores importantes para la propagación del virus en una población: estructura demográfica por edad, la mortalidad y movilidad de cada subgrupo de la población. Se evaluarán dos principales sistemas de vacunación concatenadas a sus efectos tanto en la mortalidad general como en la cantidad de vacunas necesarias hasta lograr inmunidad de rebaño (70% de la población en la categorización de recuperados).*

## **INTRODUCCIÓN**

Los beta-coronavirus han causado tres brotes zoonóticos graves en las últimas 2 décadas: SARS CoV, MERS-CoV y SARS-CoV-2 (Kaur et. al, 2020). A finales de 2019 se identificó un nuevo beta-coronavirus denominado ‘*severe acute respiratory syndrome coronavirus-2 (SARS-CoV-2)*’ causante de la enfermedad COVID-19, que para marzo del 2020 ya se había declarado pandemia por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Desde entonces, COVID-19 ha causado gran impacto en todo el mundo gracias a su nivel de dispersión y contagio.

Ahora, a casi un año de su descubrimiento, los escenarios de acción y respuesta son profundamente cuestionados por sus diferentes consecuencias en la humanidad. El uso de modelos matemáticos desempeña un papel importante en la orientación de las intervenciones para reducir la propagación de SARS-CoV-2 (Thompson et. al, 2020). Según la Comisión Europea, a medida que mejore la disponibilidad de las vacunas, las estrategias de vacunación y sus objetivos cambiarán de priorizar la reducción de la tasa de muertes a reducir las restricciones generales (The European Commission, 2020). Sin embargo, el escenario más ampliamente aceptado es que conforme la obtención de vacunas se haga accesible, la demanda potencialmente superará la oferta. Por lo tanto, el desarrollo de estrategias para su aplicación a fin de garantizar los máximos beneficios sociales y de salud pública es primordial (Hassan-Smith et. al 2020). La intensidad y duración del brote puede depender en gran medida de las estrategias de intervención implementadas.

El asesoramiento y el uso de modelos para el pronóstico en el avance de la pandemia han sugerido que las personas de la tercera edad y los trabajadores de la salud deben tener prioridad para

la vacunación (Hassan-Smith et. al, 2020). Los grupos prioritarios a considerar una vez que las vacunas contra COVID-19 estén disponibles según la Comisión Europea son: trabajadores de instalaciones sanitarias y de cuidados a largo plazo, personas mayores de 60 años, personas con estado de salud particularmente en riesgo, trabajadores esenciales, personas que no pueden distanciarse socialmente, y grupos socioeconómicos más desfavorecidos (The European Commission, 2020). Por otro lado, el Departamento de Salud y Asistencia Social de Gran Bretaña señala la lista de prioridades con enfoque basado en la edad; enfatizando que esa lista podría cambiar conforme surja más información de la transmisión en menores y las condiciones clínicas que resultan en mayor probabilidad de desarrollar un cuadro clínico grave o mayor mortalidad (Department of Health & Social Care, 2020).

En México, el gobierno ha dejado claro que pretende priorizar la vacunación al personal médico y grupos vulnerables que incluyen personas mayores de 60 años, y personas con mayor riesgo de desarrollar un cuadro clínico grave (Gobierno de México, 2020); dejando fuera de esta categoría a los jóvenes. La estrategia se irá modificando de acuerdo a las características de la vacuna (Gobierno de México, 2020).

Entonces, un desafío que enfrentan los matemáticos es poder mediar el uso de modelos complejos (con más variables y parámetros) y mantener la simplicidad (conservando la parsimonia científica cuando los datos son escasos) para generar información complementaria (Thompson et. al, 2020). Muchas predicciones usan adaptaciones del modelo simplista, SIR (Bisin et. al, 2020; Rahmandad et. al, 2020).

Existen varios enfoques que se centran en características y parametrización diferente para modelar los efectos de la dinámica heterogénea de la población en pandemia (Tkachenko et. al, 2020). La estructura de la vulnerabilidad del huésped depende de factores de riesgo, incluidos la edad, el sexo y la etnia (Thompson et. al, 2020). La probabilidad de muerte si una persona de una población contrajera la enfermedad ayuda a conocer la gravedad de un brote; sin embargo, también es necesario conocer los grupos dentro de una población que presentan mayor riesgo. En poblaciones heterogéneas, pocas personas bien conectadas pueden ser centros importantes de transmisión (Thompson et. al, 2020). De los enfoques más usados es estratificar la población en varios grupos demográficos (edad) y tener en cuenta la variación en la susceptibilidad dentro de grupos y sus probabilidades de contacto mutuo (Tkachenko et. al, 2020). La heterogeneidad de la población por susceptibilidad biológica o social afectan la dinámica temprana, el umbral de inmunidad colectiva y el tamaño final de la pandemia (Tkachenko et. al, 2020).

## **PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN**

De acuerdo con las proporciones demográficas de México, ¿cuál es la estrategia de vacunación más conveniente contra Covid-19?

## OBJETIVO

En el presente análisis buscamos proponer un modelo simplista que adicione tres fuentes de heterogeneidad principales en la transmisión del SARS-CoV-2: la estructura demográfica dada en clasificaciones por rango de edad, la mortalidad dentro de cada cohorte, y las probabilidades de contacto-riesgo medido por la movilidad.

## METODOLOGÍA

### *1. Planteamiento del modelo*

Existen muchas fuentes de heterogeneidad entre individuos que influyen en el desarrollo de la pandemia (Thompson et. al, 2020). Aquí nos enfocamos en medir la dinámica de los grupos de individuos con un factor de susceptibilidad formado por dos componentes: biológico (edad y propensión a mayor gravedad de la enfermedad) y las probabilidades de contacto riesgoso en la estructura demográfica por contribución social (trabajador o residente de bajo riesgo) (Thompson et. al, 2020). Ambos componentes se estudian en las diferentes estratificaciones por edad de la población simulada. Los subgrupos formados fueron: de 0-20 años, de 21-40 años, de 41-60 años y más de 60 años.

El modelo aquí propuesto hace uso de Cadenas de Markov, donde el proceso estocástico en el tiempo se adecúa a cambios de estado y transiciones entre dichos estados (Ocaña-Riola, 2009). En este caso particular, los estados son los conjuntos utilizados en un modelo simplista SIR, añadiendo una categoría de muertos y estratificando a la población dentro de ciertos conjuntos en cohortes por edad. Cada uno de los conjuntos de susceptibles e infectados es dividido en las cuatro categorías de edad. Los posibles cambios de estado entre los grupos (infectados, susceptibles, recuperados y muertos) están asociados a una variable aleatoria con distribución exponencial. Para determinar el cambio de estado se elige aquel asociado con la variable aleatoria que toma el valor más pequeño.

Las estrategias de vacunación, clasificadas únicamente como aquellas que priorizan los grupos con mayor riesgo de mortalidad y aquellas que priorizan grupos con mayor movilidad, se evalúan en varias simulaciones con distintos valores de probabilidad complementarios (en conjunto son igual a uno). Las estrategias son implementadas con una probabilidad de 0 a 1: un valor de 0 significa que se prioriza totalmente la vacunación de los grupos vulnerables, mientras que un valor 1 hace referencia a priorizar los subgrupos que registran una mayor movilidad dentro de la población. La implementación del modelo en código se puede consultar en apéndice (Apéndice 1).

Para analizar el resultado de las estrategias de vacunación se considera:

- a) La cantidad de muertes causadas por la enfermedad a partir del comienzo de la campaña de vacunación.
- b) El cierre de la pandemia definido por inmunidad generalizada (inmunidad de rebaño tomada como el 70% de recuperados) o número de infectados por día igual a cero.
- c) El número de vacunas requeridas en ese intervalo de tiempo.

- d) El número de casos de contagios nuevos desde el inicio de la vacunación.

## 2. Parametrización y obtención de datos

Nuestro modelo toma suposiciones para parámetros constantes que son obtenidas de estudios sobre el nuevo virus, SARS-CoV-2, con el fin de conservar la simplicidad del análisis durante la visualización de otros factores en la intervención sanitaria a la propagación. Se considera inmunidad de inicio rápido y duración permanente (Weitz et. al, 2020), al igual de los datos de comorbilidades marginales e implícitos en los rangos de edad.

SARS-CoV-2 tiene valores de  $R_0$  de 2-3 (transmisión baja o alta, respectivamente), siendo  $R_0$  el número de reproducción básico y una escala epidemiológica indicadora de contagiosidad de agentes infecciosos (Delamater et. al, 2019).  $R_0$  es definido como el promedio de infecciones causadas por un solo individuo contagiado en una población totalmente susceptible (Britton et. al, 2020). En este caso, se decidió asignar un valor de  $R_0$  de entre 2.4 a 2.8 a cada subgrupo de la población de acuerdo a la movilidad presentada. Las campañas de vacunación no reducen el valor de  $R_0$ , pero sí reducen la proporción de población susceptible al contagio (Delamater et. al, 2019) alterando la dinámica de la fracción de individuos susceptibles (S), infectados (I) y recuperados (R).

Los parámetros  $R_0$  usados en el modelo son factores de contagiosidad obtenidos de la proporción de acuerdo a la población total respecto a la movilidad (Kabiri et. al, 2020) y transmisibilidad.

Grupo	Población México (absoluta / relativa)	$R_0$	CFR México	Mortalidad conjunta
0 - 20	44521 / 0.345303	2.5	0.0062	0.04124
21 - 40	40615 / 0.315008	2.8	0.01125	0.23625
41 - 60	29306 / 0.227229	2.6	0.0743	0.89086
60 +	14491 / 0.112391	2.4	0.2916	21.31832

**Tabla 1.** Mortalidad,  $R_0$  y CFR por grupos demográficos.

La probabilidad de muerte asociada a Covid-19 se calcula con los datos obtenidos del 'case fatality rate' (CFR) de la página de Our World in Data (Ritchie et. al, 2020). El CFR representa el número de muertes dividido entre el número de casos confirmados y las particiones por edad se rescató de un desglose de varios países que han puesto a disposición datos demográficos sobre casos confirmados y muertes [China, España, Italia y Corea del Sur] (Ritchie et. al, 2020). Debido a las diferentes capacidades de los países para cuantificar los casos y decesos dentro de sus poblaciones, se

decidió extrapolar los datos de esos países con la distribución demográfica de la enfermedad en México, usando datos demográficos generales de la información oficial gubernamental. De igual forma, se sacó el CFR de México por subgrupos de edades con los datos recabados del Gobierno de México (Datos Abiertos Dirección General de Epidemiología, 2020) y se promedió junto con las cifras encontradas de los demás países.

Rangos de edades	Infectados	Recuperados	Susceptibles
0 - 20	26646	295647	44078851
21 - 40	179517	1803210	38997297
41 - 60	148772	1429312	28193953
60 +	56243	490202	14350360

*Tabla 2. Datos recabados el día 29 de enero de 2021 de información gubernamental.*

## RESULTADOS

Dadas las implementaciones del modelo en las distintas simulaciones propuestas hasta dar con la resolución preestablecida, los resultados son los que se presentan a continuación. Debido al alto tiempo de cómputo al considerar la población entera del país, las simulaciones se llevaron a cabo con una milésima de la misma, respetando la proporción demográfica. En primera instancia, se usaron los parámetros reales del sistema de salud y su capacidad de vacunación.

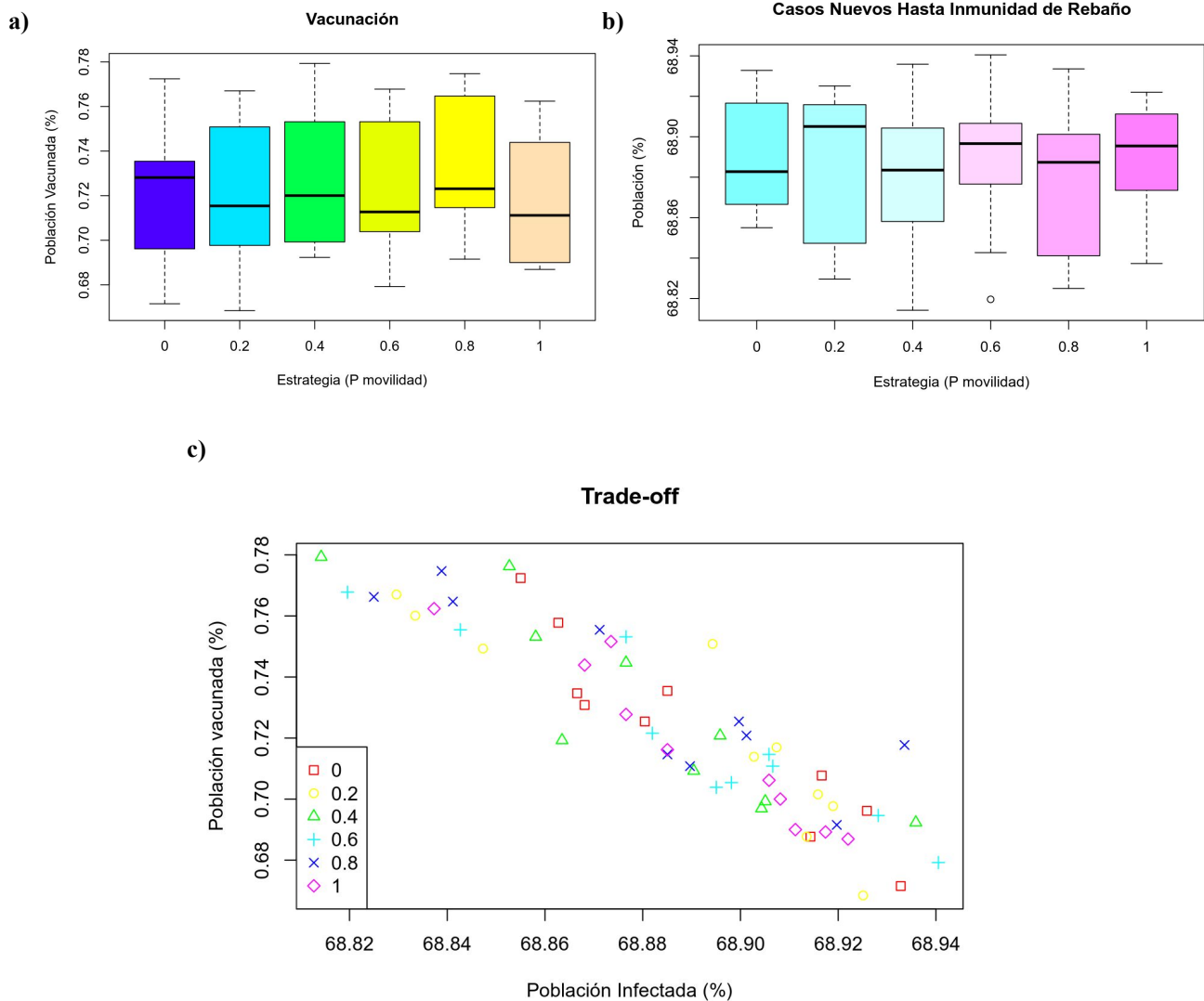
En segundo lugar, se decidió repetir las simulaciones únicamente con tres sistemas (vacunación a subgrupos con mayor movilidad, vacunación a subgrupos con mayor mortalidad, vacunación híbrida equivalente) y con una mayor capacidad de vacunación diaria. Lo anterior con el fin de obtener resultados para un análisis limpio de las estrategias y poder determinar su efectividad en cada población o subpoblación.

### Capacidad de vacunación actual

#### *Casos y vacunación*

En la Figura 1a, el porcentaje de la población vacunada es bastante bajo con cualquiera de las estrategias; en todos los casos se vacuna menos del 1.0% de la población. Atribuimos estos resultados a que la capacidad diaria de vacunación tomada en cuenta en las simulaciones fue calculada a partir de las tres primeras semanas de la campaña de vacunación en el país; pudiendo ser aún deficientes en México. Se esperaría que la capacidad descrita aumente junto con la disponibilidad de vacunas, ocasionando que el efecto de la estrategia se observe con mayor claridad y que el porcentaje de la población vacunada incremente. Con la actual capacidad de vacunación, la estrategia es prácticamente irrelevante, afectando a menos del 1% de la población.

La Figura 1b muestra una complementación de porcentajes a la Figura 1a para llegar al 70% de la población recuperada que señala la inmunidad de rebaño alcanzada. La mayor parte de la población recuperada se encontrará en este estado debido al contagio e infección natural, no mediante vacunación estratégica.

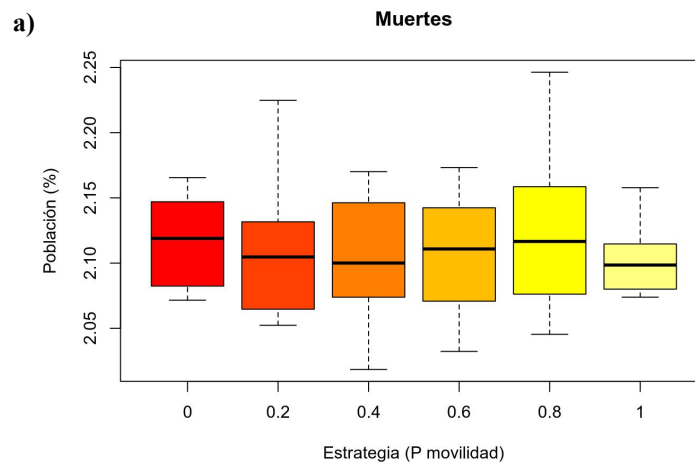


**Figura 1.** Porcentajes de la población que representan los casos nuevos de infección y el alcance de la vacunación cuando se tiene una capacidad de vacunación diaria de 0.0077% de la población. **(a, b)** Porcentajes de cada condición respecto a la estrategia usada. **(c)** Comparación de porcentajes.

### Muertes

El porcentaje de muertes por Covid-19, visto en la Figura 2a, parece mantenerse constante entre todos los sistemas de vacunación; en ninguno de los casos se alcanza el 3.0% ni baja del 2.0%. No exalta una disparidad significativa según el subgrupo que se anteponga vacunar en cada estrategia (grupos con mayor movilidad o mayor mortalidad).

Se notan diferencias en la dispersión de los datos obtenidos en las simulaciones con los mismos parámetros. La dispersión de cualquiera de los programas aplicados en su totalidad, parece reducir el rango de muertes (menos dispersión de valores atípicos con los gráficos de los extremos); contrario a lo que se observa con estrategias híbridas.



**Figura 2. (a)** Porcentaje total de la población que falleció por Covid-19 con cada estrategia.

### Capacidad de Vacunación Hipotética

Para poder observar los efectos que el programa de vacunación tiene en la población, se hicieron nuevas simulaciones, con una capacidad de vacunación suficiente para inmunizar a toda la población susceptible en un año (0.274% diario).

#### *Vacunación*

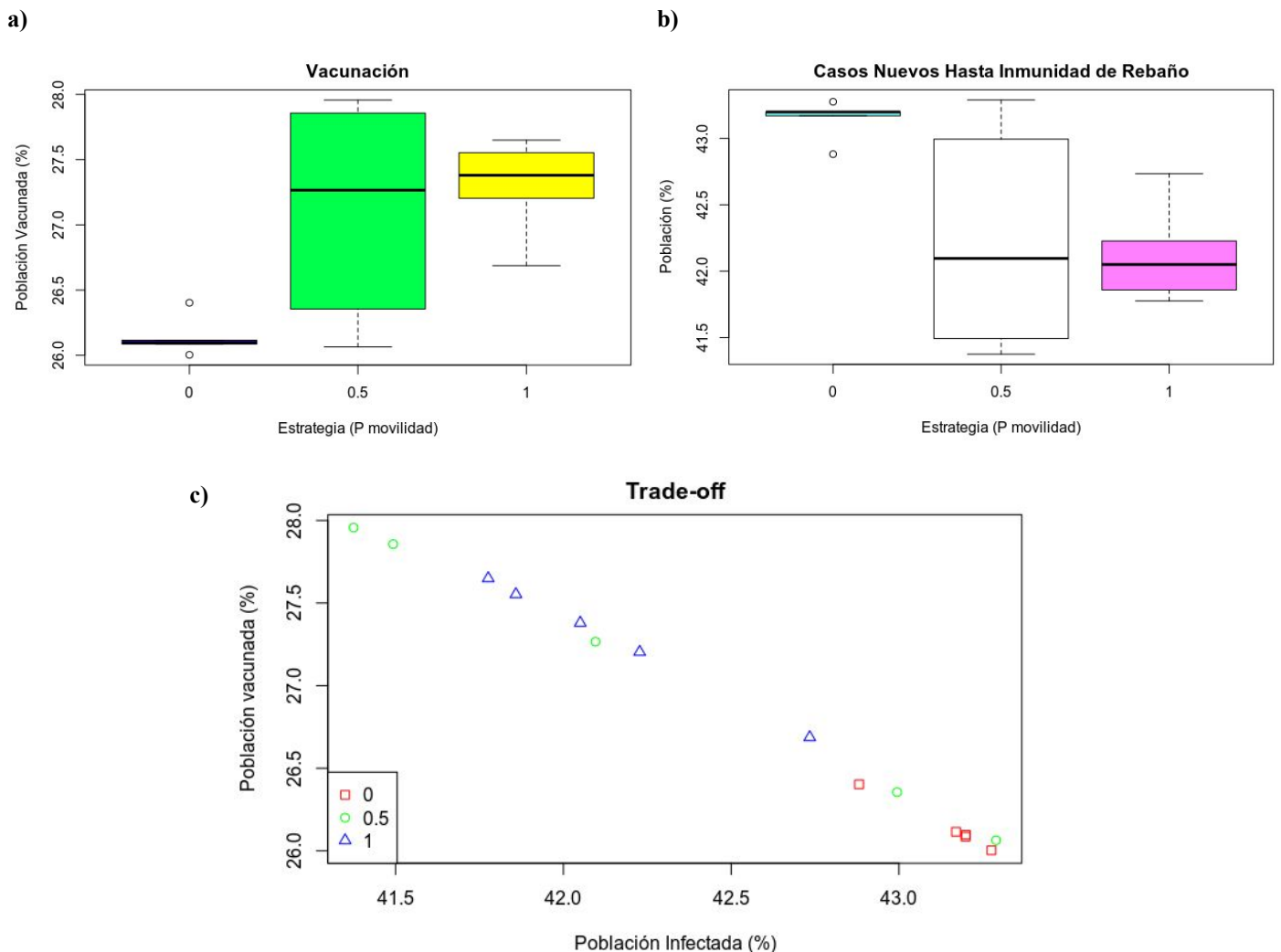
Con una capacidad de vacunación más significativa, se requiere una mayor población vacunada para llegar a la inmunidad de rebaño con la estrategia que prioriza vacunar a los subgrupos con mayor movilidad (Figura 3a). La baja exigencia de vacunación de subpoblaciones con mortalidad elevada puede atribuirse a que son los grupos cuyo tamaño también es menor. Por último, como se vio también son la capacidad de vacunación real, las estrategias híbridas muestran una distribución más dispersa e irregular.

#### *Casos nuevos*

La Figura 3b que representa los casos nuevos de infección durante la campaña de vacunación, con una capacidad de alcance hipotéticamente mayor, es opuesta a la imagen de la población vacunada requerida. La vacunación a personas de mortalidad mayor implica que, adicionalmente, se infecte más del 43.0% de la población total. Los rangos posibles entre ambas condiciones se



encuentran entre 41.5% y 44.0%, sin embargo, la cantidad absoluta de personas infectadas en dicha diferencia podría representar un riesgo al sistema de salud público nacional. La saturación de la capacidad de atención médica podría ocasionar un incremento en la mortalidad de todos los subgrupos de la población; escenario que no se representa en las simulaciones hechas.

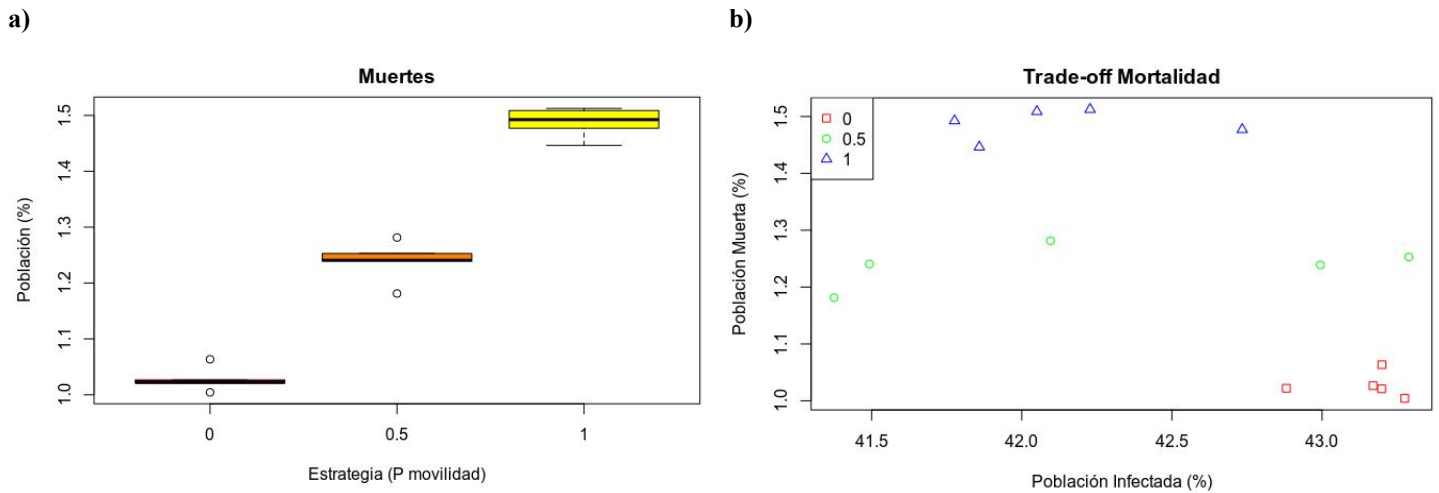


**Figura 3.** Porcentaje de población que representa los casos nuevos de infección y porcentaje de población que representa el alcance de la vacunación cuando se tiene una capacidad de vacunación diaria de 0.274% de la población. (a, b) Porcentajes de cada condición respecto a la estrategia usada. (c) Comparación de porcentajes.

#### Comparación vacunación e infecciones

La Figura 3c muestra una relación inversa entre el porcentaje de la población vacunada y el porcentaje de la población que se infectó durante la campaña de vacunación. El programa mixto no se ve claramente agrupado, se encuentra ligeramente disperso en toda la región. Cuando la probabilidad de que la estrategia priorice a la movilidad es igual a 1, la gráfica denota los resultados en una sección con valores de vacunación altos e infección menores. Las simulaciones con una estrategia que

anteponen los cohortes de mayor mortalidad son las que reflejan un comportamiento más homogéneo: se encuentran agrupadas con baja vacunación y altos contagios.



**Figura 4. (a)** Porcentaje total de la población que falleció por Covid-19 con cada estrategia. **(b)** Comparación de los porcentajes de la población infectada y fallecida.

#### *Muertes*

La cantidad de muertes (Figura 4a) en los tres diferentes programas de vacunación (con la prioridad a los subgrupos con mayor mortalidad, mixta y preferible a grupos de más movilidad) difiere notablemente. Además, existe diferencia en los rangos de mortalidad.

Se puede sugerir que la estrategia de vacunación, tomando como grupo prioritario a las personas que tienen una mayor mortalidad, es en la cual se previenen más muertes. Esto se podría deber a que al vacunar primero a la población con mortalidad elevada por Covid-19, la tasa general de mortalidad disminuye con mayor rapidez de lo que lo haría en las demás estrategias de vacunación (mixta y por movilidad).

#### *Comparación infecciones y muertes*

Se comparan los porcentajes de población infectada con los porcentajes de mortalidad durante el transcurso de la pandemia para cada simulación con las distintas estrategias (Figura 4b). En el sistema mixto, el porcentaje de muertes se mantiene constante, incluso cuando el porcentaje de infección varía. Priorizar la vacunación de la población con mayor mortalidad resulta en un porcentaje alto de infecciones, pero bajo porcentaje de muertes. Por el contrario, el sistema de vacunación que antepone categorías con mayor movilidad logra controlar el porcentaje de contagios nuevos y produce un porcentaje mayor de muertes.

## DISCUSIÓN

Como se ha mencionado, la baja capacidad de vacunación utilizada en el país no permite que impacten los programas de campañas de vacunación de manera relevante. Pretendiendo que, actualmente, la capacidad de vacunación es más importante que la estrategia implementada. Pese a ello, se pueden rescatar algunas tendencias sobresalientes para la toma de decisiones.

Las figuras 1c y 3c son una representación gráfica de que hay dos maneras de obtener un porcentaje de inmunidad: mediante infección o mediante vacunación. Entre mayor sea el porcentaje de población vacunada, menor será el número de casos. Si bien las estrategias no difieren drásticamente entre sí, en la Figura 2a, la dispersión de los datos disminuye en los gráficos de los extremos. Un sistema mixto promueve mayor aleatoriedad en relación con el número de muertes a diferencia de las estrategias fijas; sugiriendo que son menos eficientes aún con una capacidad de vacunación variable.

En comparación con la simulación inicial, en la segunda simulación con una mayor cantidad de vacunas administradas diariamente a la población, el impacto de la vacunación se hace más evidente en todos los manejos. La cantidad de susceptibles se reduce a una tasa mayor, disminuyendo la cantidad de infectados por día, y a su vez, la cantidad de muertes dependientes de la cantidad de infectados.

El segundo análisis permite comparar los programas de vacunación y señalar puntos notables. Anteponer vacunar a la subpoblación que cuenta con mayor mortalidad requiere un menor número de vacunas para llegar a la inmunidad de rebaño, y el porcentaje de muertes disminuye en comparación con las demás estrategias propuestas. Aunque los resultados persuaden a pensar que la estrategia de primar la adquisición de la vacuna a los grupos vulnerables (mayor mortalidad) es la mejor, el porcentaje de infecciones parece mostrar un escenario contrario. En las simulaciones se emula una capacidad infinita del sistema de salud público y privado; por tanto, la mortalidad observada en dicha estrategia puede estar subestimada. Una saturación de la atención médica adecuada podría tener efectos en la mortalidad y desarrollo de la infección de todas las clasificaciones de edad.

Para poder determinar la mejor estrategia, es necesario compararlas con un límite en la cantidad de infectados que puede tratar el sistema de salud y una mortalidad condicional en respuesta. Un programa que anteponga la vacunación a personas en la clasificación de mayor movilidad reduce significativamente el número de infecciones totales.

En el programa mixto no se observa una tendencia esclarecida, pudiendo deberse a la aleatoriedad. Sin embargo, si se intercalan los programas fijos para disminuir, ya sea la cantidad de muertes o la cantidad de infectados hasta la inmunidad de rebaño, por periodos de tiempo que permiten alcanzar las ventajas de ambas estrategias, se podría lograr una mejora en los datos del programa mixto. Estudios futuros podrían considerar el desempeño de estrategias mixtas por bloques, incluyendo también variables como la facultad del sistema de salud puede atender, y qué subgrupos deberían mantener en un programa de restricción “más estricto”. Todas estas consideraciones

ayudarían en la elección de la estrategia y toma de decisiones subsecuentes; considerando nuevamente la cantidad de vacunas que se pueden administrar para que las campañas de vacunación tengan un verdadero impacto en disminuir la mortalidad e infección por el virus.

## LIMITACIONES

Es de suma importancia mencionar algunas de las limitaciones a las que se ven sujetos los resultados, y recordar que se trata de un modelo simplista que ignora varios parámetros. Para empezar, se asume que la población vacunada y recuperada no puede ser infectada ni transmitir el virus. De la misma forma, en la mortalidad, no se toma en cuenta el efecto que la saturación del sistema de salud público o privado. Tampoco se incluyen factores de riesgo dependientes de etnia y sexo, que podría producir simulaciones más exactas. La movilidad de las personas es constante después de ser vacunadas o recuperarse (cuyo fenómeno real es de difícil predicción pero potencialmente relevante para futuras investigaciones).

En corto, los resultados no son más que una aproximación que destaca la importancia de la capacidad y estrategia de vacunación en el costo humano de la pandemia ante Covid-19 en México.

## APÉNDICE I

Los códigos y archivos están disponibles en: [https://github.com/lau-lhg/SIR\\_markov\\_R](https://github.com/lau-lhg/SIR_markov_R)

## REFERENCIAS

- Kaur, S. P., & Gupta, V. (2020). COVID-19 Vaccine: A comprehensive status report. *Virus Research*, 198114.
- Hassan-Smith, Z., Hanif, W., & Khunti, K. (2020). Who should be prioritised for COVID-19 vaccines?. *The Lancet*.
- Weitz, J. S., Beckett, S. J., Coenen, A. R., Demory, D., Dominguez-Mirazo, M., Dushoff, J., ... & Rodriguez-Gonzalez, R. (2020). Modeling shield immunity to reduce COVID-19 epidemic spread. *Nature medicine*, 1-6.
- Thompson, R. N., Hollingsworth, T. D., Isham, V., Arribas-Bel, D., Ashby, B., Britton, T., ... & Dawid, A. P. (2020). Key questions for modelling COVID-19 exit strategies. *Proceedings of the Royal Society B*, 287(1932), 20201405.
- Bisin, A., & Moro, A. (2020). Learning epidemiology by doing: The empirical implications of a spatial-sir model with behavioral responses (No. w27590). National Bureau of Economic Research
- Rahmandad, H., Lim, T. Y., & Sterman, J. (2020). Estimating COVID-19 under-reporting across 86 nations: implications for projections and control. Available at SSRN 3635047.
- Britton, T., Ball, F., & Trapman, P. (2020). A mathematical model reveals the influence of population heterogeneity on herd immunity to SARS-CoV-2. *Science*, 369(6505), 846-849.
- Delamater, P.L., Street, E.J., Leslie, T.F., Yang, Y., Jacobsen, K.H., 2019. Complexity of the Basic Reproduction Number (R0). *s.l. : Emerging Infectious Diseases* 25. <https://doi.org/10.3201/eid2501.171901>.
- Park, Su Eun, 2020. Epidemiology, virology, and clinical features of severe acute respiratory syndrome -coronavirus-2 (SARS-CoV-2; Coronavirus Disease-19). *Clin Exp Pediatr* 119–124. <https://doi.org/10.3345/cep.2020.00493>.

- World Health Organization. Geneva (Switzerland): World Health Organization; 2020. WHO Director-General's remarks at the media briefing on 2019-nCoV.
- The European Commission. (2020). Press corner. Retrieved 16 November 2020, from [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip\\_20\\_1903](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_20_1903)
- Department of Health & Social Care. (2020). JCVI: updated interim advice on priority groups for COVID-19 vaccination. Obtenido de: <https://www.gov.uk/government/publications/priority-groups-for-coronavirus-covid-19-vaccination-advice-from-the-jcvi-25-september-2020/jcvi-updated-interim-advice-on-priority-groups-for-covid-19-vaccination>
- Gobierno de México. (2020). 13.10.20 Versión estenográfica de la conferencia de prensa matutina del presidente Andrés Manuel López Obrador – Presidente de México. Retrieved 16 November 2020, from <https://presidente.gob.mx/13-10-20-version-estenografica-de-la-conferencia-de-prensa-matutina-del-presidente-andres-manuel-lopez-obrador/>
- Tkachenko, A. V., Maslov, S., Elbanna, A., Wong, G. N., Weiner, Z. J., & Goldenfeld, N. (2020). Persistent heterogeneity not short-term overdispersion determines herd immunity to COVID-19. arXiv preprint arXiv:2008.08142.
- Kabiri, A., Darzi, A., Zhou, W., Sun, Q., & Zhang, L. (2020). How different age groups responded to the COVID-19 pandemic in terms of mobility behaviors: a case study of the United States. *arXiv e-prints*, arXiv-2007.
- Gobierno de México. (2020). Datos Abiertos Dirección General de Epidemiología. Obtenido de: <https://www.gob.mx/salud/documentos/datos-abiertos-152127>
- Hasell, J., Mathieu, E., Beltekian, D. *et al.* A cross-country database of COVID-19 testing. *Sci Data* 7, 345 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41597-020-00688-8>
- Ritchie, H., Ortiz-Ospina, E., Beltekian, D., Mathieu, E., Hasell, J., Macdonald, B., Giattino, C., & Roser, M. (2020). Coronavirus Source Data. Our World in Data. <https://ourworldindata.org/coronavirus-source-data>
- Ritchie, H., Ortiz-Ospina, E., Beltekian, D., Mathieu, E., Hasell, J., Macdonald, B., Giattino, C., & Roser, M. (2020). Case fatality rate of COVID-19 by age. Our World in Data. <https://ourworldindata.org/mortality-risk-covid#case-fatality-rate-of-covid-19-by-age>
- Wang, K., Qiu, Z., Liu, J., Fan, T., Liu, C., Tian, P., ... & Li, W. (2020). Analysis of the clinical characteristics of 77 COVID-19 deaths. *Scientific reports*, 10(1), 1-11.
- Ocaña-Riola, Ricardo. (2009). Markov models applied to health sciences research. *Interciencia*, 34(3), 157-162. Recuperado en 08 de febrero de 2021, de [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0378-18442009000300004&lng=es&tlng=en](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442009000300004&lng=es&tlng=en)