

Artículo original

# AJUSTE PREDICTIVO PARA LOGRAR LA INMUNIDAD DE REBAÑO PARA SARS-COV-2 EN COLOMBIA

Jorge Enrique Díaz-Pinzón<sup>1</sup>

1. Ingeniero. Magister en Gestión de la Tecnología Educativa, Especialista en Administración de la Informática Educativa. Docente de matemáticas e Investigador, filiación institucional: Secretaría de Educación de Soacha, Colombia.

## RESUMEN

**Introducción:** El 17 de febrero de 2021 comenzó el proceso de inmunización en el país para SARS-CoV-2 basados en el Plan Nacional de Vacunación estructurado por el Gobierno Nacional, el cual establece dos fases y cinco etapas. **Objetivo:** calcular el tiempo para alcanzar la inmunidad de rebaño del 90% para COVID-19 en Colombia. **Metodología.** La información de vacunación diarios se obtuvo del Ministerio de Salud y Protección Social. Se tomó el período completo (17 de febrero de 2021 al 15 de agosto de 2021) correspondiente a 180 días del inicio de la vacunación en Colombia. **Resultados:** se determinó que, para el 12 de mayo del año 2022, se logrará obtener la inmunidad de rebaño del 90%, para esta fecha se habrán aplicado 82'889.096 esquemas completos para inmunizar a la población en Colombia. **Conclusión:** De esta investigación se desprende el significativo papel que logran los modelos matemáticos a la hora de simular los procesos de vacunación y, de esta manera, se plantean a futuro vías de investigación en la modelización matemática para lograr la inmunidad de rebaño de cualquier proceso infeccioso.

**Palabras clave:** Infecciones por Coronavirus; Inmunogenicidad Vacunal; Matemática.

**DOI:**

## PREDICTIVE ADJUSTMENT TO ACHIEVE HERD IMMUNITY FOR SARS-COV-2 IN COLOMBIA

## ABSTRACT

**Introduction:** On February 17<sup>th</sup>, 2021, immunization process began in Colombia for SARS-CoV-2 based on the National Vaccination Plan structured by the National Government, which establishes two phases

Recibido: 20/11/2021

Aceptado: 23/02/2022

Correo de correspondencia: jediazp@unal.edu.co

and five stages. **Objective:** to calculate the time to reach 90% herd immunity for COVID-19 in Colombia. **Methodology.** Daily vaccination information was obtained from the Ministry of Health and Social Protection. The entire period was taken (February 17<sup>th</sup>, 2021 to August 15<sup>th</sup>, 2021) corresponding to 180 days from the start of vaccination in Colombia. **Results:** it was determined that, by May 12<sup>th</sup>, 2022, it will be possible to obtain 90% herd immunity, by this date 82,889,096 complete schemes will have been applied to immunize the population in Colombia. **Conclusion:** This research reveals the significant role that mathematical models achieve when simulating vaccination processes and, in this way, future avenues of research in mathematical modeling are proposed to achieve herd immunity from any infectious process. **Keywords:** Coronavirus Infections; Immunogenicity, Vaccine; Mathematics

## INTRODUCCIÓN

A finales de diciembre de 2019, en Wuhan (provincia de Hubei, China) se comunica un conglomerado local de casos de neumonía. Posteriormente se fija que están causados por un nuevo coronavirus (1). La Organización Mundial de la Salud (OMS) declaró el 11 de marzo el estado de pandemia debido a la infección por SARS-CoV-2. El COVID-19 se propagó ampliamente tras la rápida diseminación del virus en China y comenzó a introducirse en otros países, reportándose, hasta el 10 de abril de 2021, 134'719328 casos y 2'915.972 muertes relacionadas directamente con el virus en el mundo (2).

Después de más de un año de pandemia, se ha avanzado en más de 200 vacunas de disímiles plataformas contra COVID-19, que se encuentran en diferentes etapas de investigación. En este momento, siete vacunas ostentan autorizaciones para su uso en distintas partes del mundo (3-5). Esto ha consentido incluir una nueva medida preventiva a las políticas sanitarias. La Organización Mundial de la Salud (OMS) aconseja la vacunación contra la COVID-19 como una herramienta de prevención primaria primordial para limitar los efectos sanitarios y económicos acaecidos de la pandemia (6). El propósito de vacunar contra la COVID-19 es cuidar a la población reduciendo la mortalidad causada por la enfermedad y obviar el colapso de los sistemas sanitarios logrando conservar su capacidad para dar respuesta a las penurias de salud de la población(7).

Al presente, la «inmunidad de rebaño» o «inmunidad colectiva», también conocida como «inmunidad de la población», es un concepto utilizado para la vacunación, en el que una población puede preservarse

de un determinado virus si se alcanza un umbral de vacunación. Todavía estamos aprendiendo sobre la inmunidad al COVID-19. La mayoría de las personas que están contagiadas con COVID-19 amplían una respuesta inmune dentro de las primeras semanas, pero no sabemos qué tan fuerte o perdurable es esa respuesta inmune, ni en qué se diferencia para diferentes personas. También ha habido informes de personas infectadas con COVID-19 por segunda vez (8,9).

“El **umbral de inmunidad de rebaño depende del número de reproducción básica ( $R_0$ )** y se define como  $1 - 1/R_0$ . Mientras más contagioso sea un patógeno, mayor será su  $R_0$  y mayor la proporción de la población que deberá ser inmune para poder bloquear la transmisión en forma sostenida. El umbral de inmunidad de rebaño puede variar entre diferentes poblaciones ya que el  $R_0$  dependerá de diversos factores, como la densidad y la estructura de una población” (10). En el caso de SARS-CoV-2, el  $R_0$  se ha estimado en 3,28, aunque puede variar dependiendo de múltiples factores. En el caso de SARS-CoV-2 se ha considerado que esta inmunidad de rebaño surge cuando más del 70% de las personas están protegidas (11).

El 17 de febrero de 2021 comenzó el proceso de inmunización en el país basados en el Plan Nacional de Vacunación estructurado por el Gobierno Nacional, el cual establece dos fases y cinco etapas. En la primera etapa se contempla la primera línea del talento humano en salud y adultos mayores de 80 años. Las vacunas que se aplicarán en Colombia son: Pfizer, AstraZeneca, Janssen, Moderna y Sinovac (12).

De acuerdo con el Ministerio de Salud y Protección Social, estudios indicaron que la aparición de nuevas

variantes, y su difusión, alteraron el anterior umbral del 70%. Por lo anterior, el Ministerio de Salud y protección Social plantea superar el 90% de la población inmunizada en los próximos meses. La aparición de nuevas variantes del COVID-19 han exigido actualizar los estudios científicos sobre el virus, es innato que salgan nuevas variantes con potencialidad para ser más infecciosos e inclusive, para llegar a ser resistentes a las vacunas. Este es el caso de la variante Delta, para la cual se ha descubierto una reducción de la efectividad para precaver el contagio, aunque la efectividad para disminuir formas graves parece conservarse alta (13).

De acuerdo con la información anterior el presente trabajo tiene por objetivo calcular el tiempo para alcanzar la inmunidad de rebaño para COVID-19 en Colombia. La población proyectada para Colombia en el año 2021, según el DANE (14) es de 51'049.498 personas, y así para alcanzar la inmunidad de rebaño del 90% se necesita que 45'944.548 millones de colombianos estén vacunados. Para tal fin se necesitan aplicar 91'889.096 dosis y si le restamos las 9'000.000 de Jansen (solo se aplica una dosis) nos dará que se deben aplicar 82'889.096 dosis para alcanzar la inmunidad de rebaño.

### MODELO ARIMA (p,d,q)

El modelo ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average), admite referir un valor como una función lineal de datos anteriores y errores convenidos al azar, puede contener un componente cíclico o estacional (15,16).

Los modelos ARIMA se erigen a partir de los modelos ARMA, pero estimando que la serie en estudio para que sea estacionaria en media tendrá que diferenciarse una serie de veces.

Un modelo **ARIMA (p, d, q)** es un modelo ARMA (p, q) sobre la serie diferenciada d veces. Es decir, su expresión algebraica, será:

$$Y_t^{(d)} = C + \underbrace{\phi_1 \cdot Y_{t-1}^{(d)} + \dots + \phi_p \cdot Y_{t-p}^{(d)}}_{\text{Componente autorregresiva}} + \underbrace{\phi_1 \cdot \varepsilon_{t-1}^{(d)} + \dots + \phi_q \cdot \varepsilon_{t-q}^{(d)}}_{\text{Componente de media móvil}} + \varepsilon_t^{(d)}$$

donde  $Y_t^{(d)}$  es la serie de las diferencias de orden d y  $\varepsilon_t^{(d)}$  es la serie de los errores que se cometen en la serie anterior (17).

Regularmente el orden de diferenciación d, entero, oscila entre 0 y 2. Una vez hemos visto el procedimiento de un modelo ARIMA, podemos afirmar que éste se puede precisar como un **modelo de regresión lineal múltiple**, donde la variable dependiente es la propia serie (diferenciada o no) y las variables independientes son valores de la serie y valores de los errores de ajuste pasados hasta unos órdenes p y q, comparativamente (18).

### METODOLOGÍA

La presente investigación se efectuó bajo un estudio transversal, como fuente de información se adquirió de la página del plan de vacunación nacional contra el COVID-19 de la página web del Ministerio de Salud y Protección Social (12). Se tomó el período completo (17 de febrero de 2021 al 15 de agosto de 2021), para analizar la evolución de casos diarios de vacunación para primera dosis. Asimismo, se manejaron medios matemáticos y estadísticos cotidianos para valorar los resultados de modo concluyente (19-20).

### ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis estadístico se llevó a cabo con el software de análisis estadístico SPSS versión 25. Utilizando el modelo ARIMA, se realiza la proyección de los resultados del número de vacunados acumulado, para de esta manera llegar obtener el tiempo para llegar a la inmunidad de rebaño de 45'944.548 millones de colombianos con esquemas completos.

### RESULTADOS

En la tabla 1 se observa la descripción del modelo ARIMA (p,d,q), para los datos acumulados de vacunación en Colombia para COVID-19.

**TABLA 1. DESCRIPCIÓN DEL MODELO ARIMA**

ID de modelo	Vacunación-Bogotá	Modelo_1	ARIMA (5,2,2)
--------------	-------------------	----------	---------------

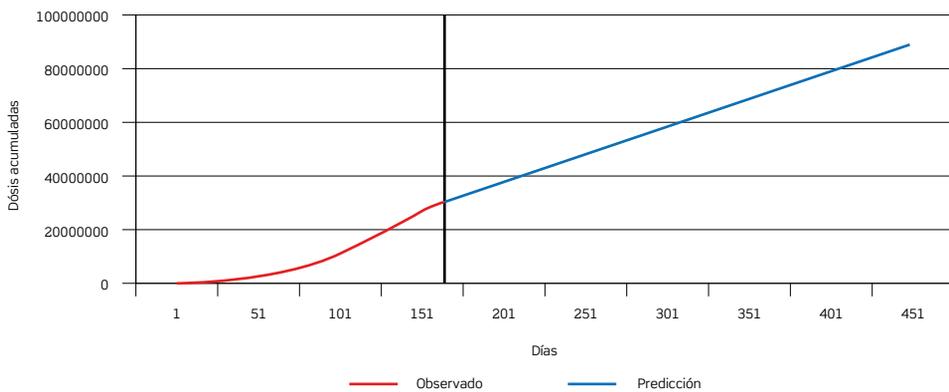
Fuente: el autor

En la figura 1 podemos apreciar en la línea de color rojo el valor observado de la dinámica de vacunación para COVID-19 en Colombia por días desde el 17 de febrero de 2021 y su respectiva predicción para los meses de agosto de 2021 a diciembre de 2021, y los meses de enero a mayo de 2022, con la línea azul. Con

lo cual podemos realizar un pronóstico del acumulado de las personas vacunadas para COVID-19 obtenido según el tiempo.

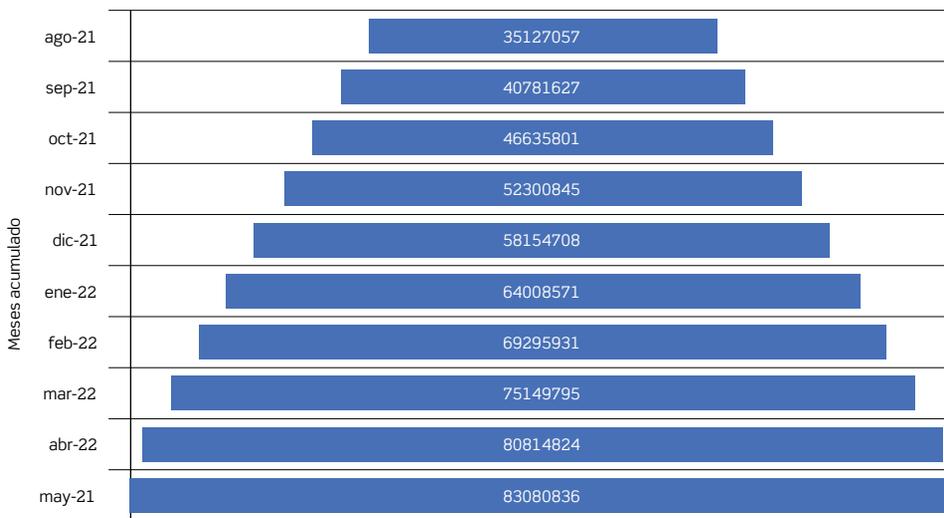
En la figura 2 se describe mes a mes, el acumulado de dosis aplicadas a la población colombiana, con esta información se aprecia que para el 12 de mayo del año 2022 se logrará obtener la inmunidad de rebaño, para esta fecha se habrán aplicado 82'889.096 dosis para inmunizar a una población de 45'944.548 millones de personas.

**FIGURA 1.** Proyección Modelo ARIMA, dosis acumuladas para COVID-19 en Colombia.



Fuente: el autor

**FIGURA 2.** Predicción de dosis acumuladas para COVID-19 en Colombia.



Fuente: el autor

## CONCLUSIONES

Se determinó el pronóstico del estimativo del tiempo para alcanzar la inmunidad de rebaño para COVID-19 en Colombia. Según el modelo predictivo ARIMA, utilizado en esta investigación arrojó que para el 12 de mayo del año 2022 se logrará obtener la inmunidad de rebaño del 90%, para esta fecha se habrán aplicado 82'889.096 dosis para inmunizar a la población.

Sin embargo, se espera que la efectividad después de dos dosis será algo mayor que con una dosis, un mayor número de personas se favorecerán de la

inmunización al ampliar el intervalo entre dosis en tiempos de carencia de vacunas; brindando a más personas un provecho directo y también la posibilidad de un beneficio indirecto al acrecentar la inmunidad de la población a la enfermedad COVID-19 (21).

De esta investigación se desprende el significativo papel que logran los modelos matemáticos a la hora de simular los procesos de vacunación y, de esta manera, se plantean a futuro vías de investigación en la modelización matemática para lograr la inmunidad de rebaño de cualquier proceso infeccioso (22,23).

## REFERENCIAS

1. Organización Mundial de la Salud. Cronología de la respuesta de la OMS a la COVID-19. [Internet]. 2020 [citado 28 Mar 2021]. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/detail/29-06-2020-covidtimeline>
2. Organización Mundial de la Salud. Coronavirus disease (COVID-19) [Internet]. 2021 [citado 10 Abr 2021] Disponible en: <https://covid19.who.int/SalasisituacionPBA>
3. Heinzerling A, Stuckey MJ, Scheuer T, Xu K, Perkins KM, Resseger H, et al. Transmission of COVID-19 to Health Care Personnel During Exposures to a Hospitalized Patient — Solano County, California, February 2020. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep.* 2020;69(15):472–6.
4. Silva A, Aguirre M, Ballejo C, Marro M, Gamarnik A, Vargas G, et al. Seroprevalencia de Infección por SARS-COV-2 en PS de la Región Sanitaria VIII, Provincia de Buenos Aires, Argentina. *Rev Argentina Salud Pública–Supl COVID-19.* 2020;14.
5. Coronavirus Vaccine Tracker. [citado 10 Abr 2021] Disponible en: <https://www.nytimes.com/interactive/2020/science/coronavirus-vaccine-tracker.htm>
6. Organización Mundial de la Salud. Hoja de ruta del SAGE de la OMS para el establecimiento de prioridades en el uso de vacunas contra la COVID-19 en un contexto de suministros limitados. [Internet]. 2020 [citado 10 Abr 2021] Disponible en: [https://cdn.who.int/media/docs/default-source/immunization/sage/covid/sageprioritization-roadmap-covid19-vaccineses.pdf?sfvrsn=bf227443\\_36&download=true](https://cdn.who.int/media/docs/default-source/immunization/sage/covid/sageprioritization-roadmap-covid19-vaccineses.pdf?sfvrsn=bf227443_36&download=true)
7. Plan Estratégico para la vacunación contra la COVID-19 en Argentina. [Internet]. 2021 [citado 10 Abr 2021] Disponible online en <https://www.argentina.gob.ar/coronavirus/vacuna/plan-estrategico>
8. Megalabs. ¿Qué es la inmunidad de rebaño? [Internet]. [citado abril 10 de 2021]. Disponible en: <https://megalabs.global/que-es-la-inmunidad-de-rebano/>
9. Boland, B. ¿Qué es la inmunidad de rebaño? [Internet]. [citado abril 10 de 2021]. Disponible en: <https://www.bannerhealth.com/es/health-careblog/teach-me/what-is-herd-immunity>
10. Cochrane Iberoamérica. Inmunidad de grupo (inmunidad de rebaño) y COVID-19. [Internet]. Colombia: DANE; 2000 [citado 2021 abril 10]; Disponible en: <https://es.cochrane.org/es/inmunidad-de-grupo-inmunidad-de-reba%C3%B1o-y-covid-19>
11. Gómez-Lucía, E. Ruiz-Santa-Quiteria, J. ¿Qué es la inmunidad de rebaño y por qué Reino Unido creía que podía funcionar? [Internet]. [citado abril 10 de 2021]. Disponible en: <https://www.ucm.es/otri/noticias-que-es-la-inmunidad-de-rebano-y-por-que-reino-unido-cree-que-puede-funcionar>
12. Ministerio de Salud y protección Social. Plan Nacional de Vacunación contra el COVID-19. [Internet]. [citado 16 de agosto de 2021]; Disponible en: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/pnv-contra-covid-19.pdf>

13. Infobae. 2021. Colombia necesita vacunar a más del 90% de la población para alcanzar la inmunidad de rebaño: MINSALUD. Disponible en: <https://www.infobae.com/america/colombia/2021/08/10/colombia-necesita-vacunar-a-mas-del-90-de-la-poblacion-para-alcanzar-la-inmunidad-de-rebano-minsalud/>
14. Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE. Proyecciones y retroproyecciones de población [Internet]. Colombia: DANE; 2000 [citado 2021 abril 10]; Disponible: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion>.
15. De la fuente, S. Modelo ARIMA (p, d, q). 2020. [citado 2020 noviembre 7]; Recuperado de: <http://www.estadistica.net/ECONOMETRIA/SERIES-TEMPORALES/modelo-arima.pdf>
16. Calvo, D. Análisis de series temporales en R. ARIMA. 2018. [citado 2020 noviembre 7]; Recuperado de: <https://www.diegocalvo.es/analisis-de-series-temporales-en-r-arima/>
17. Maté, C. Modelos ARIMA. 2012. [citado 2020 noviembre 7]; Recuperado de: [https://es2.slideshare.net/juan\\_churqui/modelo-arima-14236175?from\\_action=save](https://es2.slideshare.net/juan_churqui/modelo-arima-14236175?from_action=save)
18. Villareal, F. Introducción a los Modelos de Pronósticos. (2016). Disponible en: [https://www.matematica.uns.edu.ar/uma2016/material/Introduccion\\_a\\_los\\_Modelos\\_de\\_Pronosticos.pdf](https://www.matematica.uns.edu.ar/uma2016/material/Introduccion_a_los_Modelos_de_Pronosticos.pdf)
19. Díaz Pinzón, J. E. (2020). Medidas de frecuencia por COVID-19 en Bogotá DC. *Revista Repertorio De Medicina Y Cirugía*, 94-98. <https://doi.org/10.31260/RepertMedCir.01217372.1110>
20. Díaz Pinzón, J. E. (2020). Análisis de los resultados del contagio del COVID-19 respecto a su distribución geográfica en Colombia. *Revista Repertorio De Medicina Y Cirugía*, 60-64. <https://doi.org/10.31260/RepertMedCir.01217372.1082>
21. Luzuriaga, J. Mársico, F. García, E. González, V. Kreplak, N. Pífano, M. González, S. Impacto de la aplicación de vacunas contra COVID-19 sobre la incidencia de nuevas infecciones por SARS-COV-2 en PS de la Provincia de Buenos Aires. [Internet]. 2021 [citado 18 abr 2021]. Disponible en <https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.2068>
22. Díaz Pinzón, J. E. (2021). Perspectiva del tiempo para alcanzar la inmunidad de rebaño para COVID-19 a nivel mundial. *Revista Repertorio De Medicina Y Cirugía*, 61-66. <https://doi.org/10.31260/RepertMedCir.01217372.1245>
23. Díaz Pinzón, J. E. (2021). Proyección del tiempo para alcanzar la inmunidad de rebaño para COVID-19 en Bogotá. *Revista Repertorio De Medicina Y Cirugía*, 79-83. <https://doi.org/10.31260/RepertMedCir.01217372.1252>