



Artículo de investigación

Perspectiva del tiempo para alcanzar la inmunidad de rebaño para COVID-19 a nivel mundial

Jorge Enrique Díaz Pinzón^a

Estimated time to reach global herd immunity against COVID-19

^a Ingeniero. Magister en Gestión de la Tecnología Educativa, Especialista en Administración de la Informática Educativa. Docente de matemáticas e Investigador, Secretaría de Educación de Soacha, Cundinamarca.

RESUMEN

Introducción: la humanidad enfrenta la mayor campaña de vacunación de la historia. El proceso de inmunización contra el COVID-19 que comenzó a principios de diciembre 2020 en Estados Unidos, Reino Unido, Rusia y China, está en marcha en todo el mundo y se destaca en la mayoría de los países más ricos. **Objetivo:** calcular el tiempo para alcanzar la inmunidad de rebaño para COVID-19 a nivel mundial, a partir de la información de vacunación de Johns Hopkins University. **Metodología:** la información sobre vacunación diaria a nivel mundial se obtuvo de Johns Hopkins University. Se tomó el período hasta el 30 de junio 2021. **Resultados:** se determinó que para el 19 de enero 2022 se logrará obtener la inmunidad de rebaño, para esta fecha se habrán aplicado 11.034.357.235 dosis para inmunizar a la población mundial. **Conclusión:** se infiere el significativo papel que logran los modelos matemáticos a la hora de representar los procesos de vacunación y de esta manera se trazarán en el futuro vías de investigación en la modelización matemática para lograr la inmunidad de rebaño de cualquier proceso infeccioso.

Palabras clave: SARS-CoV-2, vacunas, inmunidad de rebaño, modelos matemáticos.

© 2021 Fundación Universitaria de Ciencias de la Salud - FUCS.
Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del artículo:
Fecha recibido: julio 8 de 2021
Fecha aceptado: julio 26 de 2021

Autor para correspondencia:
Ing. Jorge Enrique Díaz Pinzón
jediazp@unal.edu.co

DOI
10.31260/RepertMedCir.01217372.1245

ABSTRACT

Introduction: humanity faces the greatest vaccination campaign in history. The immunization process against COVID-19, which started in early December 2020 in the United States, United Kingdom, Russia and China, is underway worldwide and is emphasized in most of the wealthiest countries. **Objective:** to estimate the time to reach global herd immunity against COVID-19, relying on the vaccination data released by Johns Hopkins University. **Methodology:** global daily vaccination data was obtained from Johns Hopkins University. The period as to June 30 2021 was reviewed. **Results:** it was determined that herd immunity will be achieved by January 19 2022. As of this date 11.034.357.235 doses will have been administered to immunize the world's population. **Conclusion:** from this research we infer the significant role that mathematical models play when simulating vaccination processes, thus, future research avenues based on mathematical modeling to achieve herd immunity for any infectious process, will be designed.

Key words: SARS-CoV-2, vaccines, herd immunity, mathematical models.

© 2021 Fundación Universitaria de Ciencias de la Salud - FUCS.

This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

INTRODUCCIÓN

La humanidad enfrenta la mayor campaña de vacunación de la historia. El proceso de inmunización contra el COVID-19, que comenzó a principios de diciembre de 2020 en Estados Unidos, Reino Unido, Rusia y China, está en marcha en todo el mundo y se destaca en la mayoría de los países más ricos.¹

Desde que se inauguró la campaña las primeras personas en obtener la vacuna fueron los ancianos residentes en centros geriátricos, así como el personal sanitario de primera línea y los grandes dependientes. Conforme ha evolucionado el proceso de vacunación se han ido inoculando dosis de los diferentes sueros al resto de la población general, privilegiando a los grupos de mayor edad.¹

Según los datos compilados por la plataforma Our World in Data de la Universidad Johns Hopkins con corte al 31 de mayo, en el mundo se han aplicado 1.900 millones de vacunas contra el COVID-19, que han conseguido inmunizar a 840 millones de personas, equivalentes a 10% del total de la población mundial.² En la **figura 1** se observa el avance en la vacunación contra el COVID-19 en el mundo.

El país que más personas ha conseguido inocular, es decir que tiene una mayor proporción de sus habitantes con el croquis de vacunación completa es Israel con 59,28% del total. En segundo lugar, entre los países con mayor número de vacunados está Baréin, un conglomerado de islas en el Golfo Pérsico donde 45,98% de la población recibió inoculación completa con una reducción de 32% en los casos activos que reporta el país.² En la **figura 2** se aprecia la población con alguna dosis de la vacuna frente al coronavirus.

En la actualidad la "inmunidad de rebaño" o "inmunidad colectiva", también conocida como "inmunidad de la

población", es un concepto manejado 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 acrecientan una respuesta inmune dentro de las primeras semanas, pero no sabemos qué tan fuerte o perdurable es ni en qué se diferencia para diferentes personas. También hay informes de personas infectadas con COVID-19 por segunda vez.³

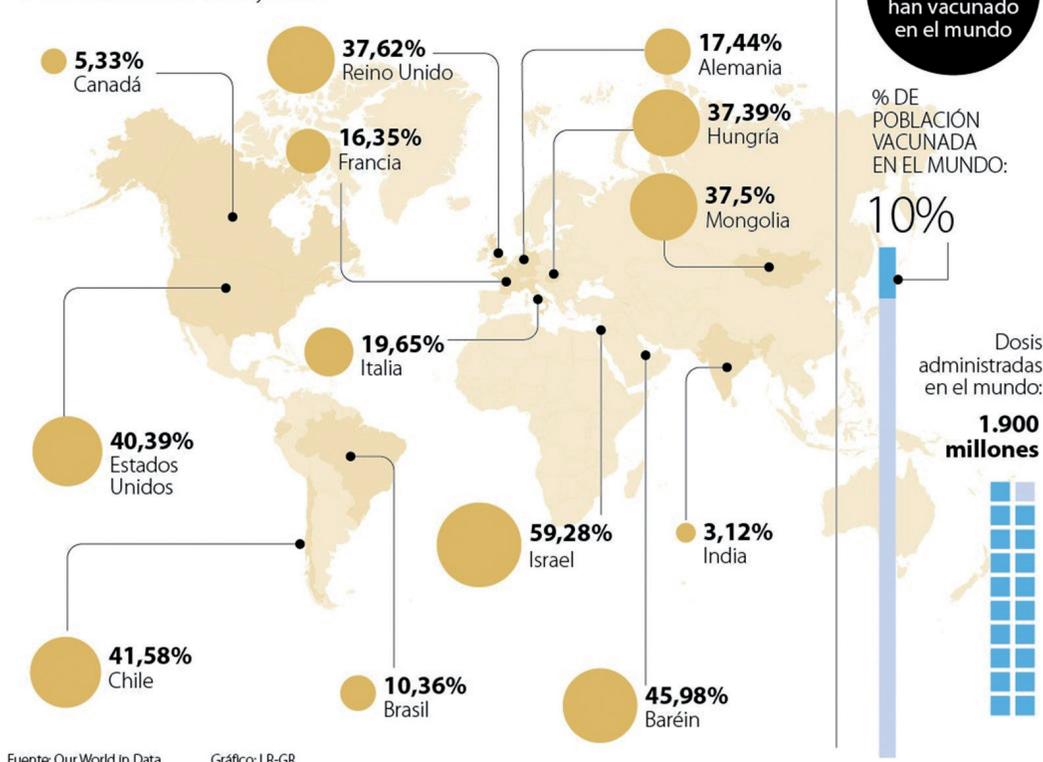
"El umbral de inmunidad de rebaño depende del número de reproducción básica (R_0) y se define como $1 - 1/R_0$. Mientras más contagioso sea un patógeno, mayores serán su R_0 y la proporción de la población que deberá ser inmune para poder bloquear la transmisión en forma sostenida. El umbral de inmunidad 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".⁴ 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 de 70% de las personas están protegidas.⁵

De acuerdo con la información anterior el presente trabajo tiene por objeto calcular el tiempo para alcanzar la inmunidad de rebaño para COVID-19 a nivel mundial a partir de la información de vacunación de Johns Hopkins University.⁶ La población proyectada a nivel mundial es de 7.875.000.000 personas en 2021 y así para alcanzar la inmunidad de rebaño se necesita que 5.512.500.000 habitantes en el mundo estén vacunados.

ASÍ AVANZA LA VACUNACIÓN CONTRA EL COVID-19 EN EL MUNDO

PAÍSES CON MAYOR PORCENTAJE DE SU POBLACIÓN TOTAL VACUNADA

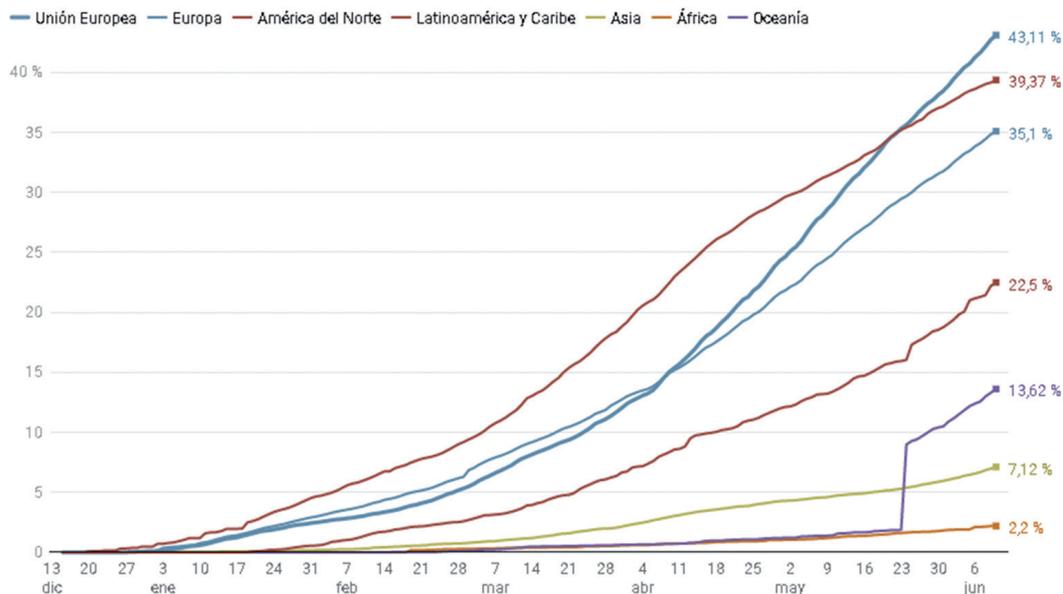
*Datos a corte de 31 de mayo 2021



Fuente: Our World in Data

Gráfico: LR-GR

Figura 1. Avance de la vacunación en el mundo contra el COVID-19. Fuente: Gutierrez.²



Este gráfico fue actualizado el 28 de mayo para adaptar la identificación de los territorios al criterio de la ONU.

Datos RTVE • Fuente: Our World in Data / ONU • Insertar

Figura 2. Población con alguna dosis de la vacuna frente al coronavirus. Fuente: Gutierrez.²

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.^{7,8}

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:

$$Y_t^{(d)} = C + \underbrace{\phi_1 \cdot Y_{t-1}^{(d)} + \dots + \phi_p \cdot Y_{t-p}^{(d)}}_{\text{Componente autorregresiva}} + \underbrace{\theta_1 \cdot \varepsilon_{t-1}^{(d)} + \dots + \theta_q \cdot \varepsilon_{t-q}^{(d)}}_{\text{Componente de media móvil}} + \varepsilon_t^{(d)}$$

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.⁹

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.⁹

El objetivo de los métodos de serie de tiempo es revelar un patrón en los datos históricos y luego extrapolarlo hacia el futuro; el pronóstico se cimenta sólo en valores pasados de la variable que tratamos de predecir.¹⁰

METODOLOGÍA

El trabajo de investigación se realizó mediante un tipo experimental que es el siguiente: “aquella que permite mayor seguridad al establecer relaciones de causa a efecto pues presenta una visión general y aproximada del objeto de estudio, además de contar con una investigación cuyo diseño establece un método experimental habitual del conjunto de las normas científicas”. Monje (2011) citado por Díaz.^{11,12} Según Shuttleworth citado por Díaz^{13,14}, menciona que “regularmente a estos experimentos se les nombra ciencia verdadera y manejan medios matemáticos y estadísticos cotidianos para evaluar los resultados de modo concluyente”.

Análisis estadístico

Se llevó a cabo con el software de análisis estadístico *SPSS versión 25*. Utilizando el modelo lineal ARIMA se realiza la proyección de los resultados del número de vacunados acumulados, para de esta manera llegar a obtener el tiempo para llegar a la inmunidad de rebaño de 5.512.500.000 millones de personas vacunadas a nivel mundial.

RESULTADOS

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

Tabla 1. Descripción del modelo ARIMA

ID de modelo	Vacunación - Mundial	Modelo_1	ARIMA (0,1,0)

Fuente: el autor.

En la **figura 3** podemos apreciar en la línea de color rojo el valor observado de la dinámica de vacunación para COVID-19 a nivel mundial por días desde diciembre 2020 hasta 30 de junio 2021 y su respectiva predicción por días desde el 1 de julio 2021 hasta el 19 de enero 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.

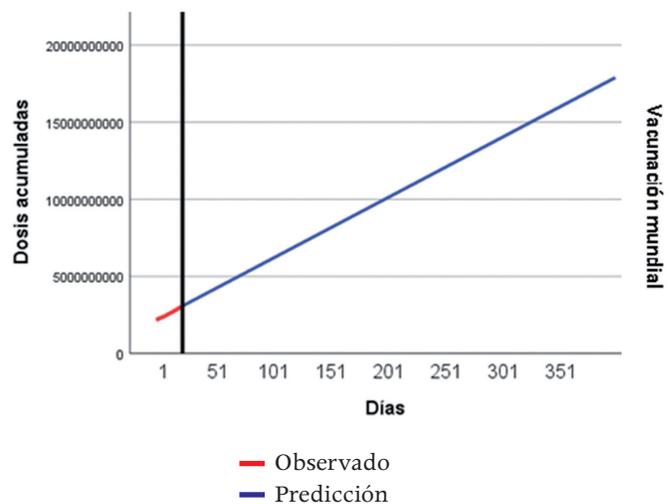


Figura 3. Proyección modelo ARIMA, dosis acumuladas para COVID-19 a nivel mundial. Fuente: el autor.

En la **figura 4** se describe día a día el acumulado de dosis aplicadas a la población mundial, con esta información se aprecia que para el 19 de enero 2022 se logrará

obtener la inmunidad de rebaño, pues se habrán aplicado 11.034.357.235 dosis para inmunizar a la población mundial.

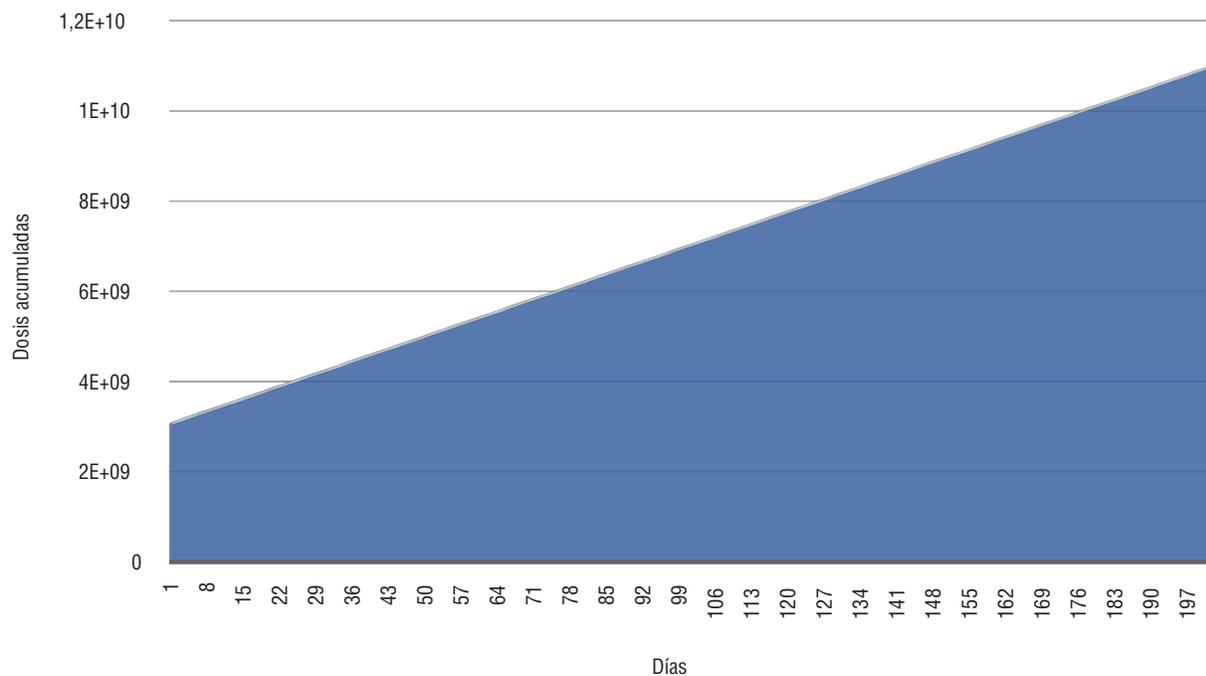


Figura 4. Predicción de dosis acumuladas para COVID-19 a nivel mundial. Fuente: el autor.

CONCLUSIONES

Se determinó el pronóstico del estimativo del tiempo para alcanzar la inmunidad de rebaño para COVID-19 a nivel mundial. Según el modelo predictivo ARIMA utilizado en esta investigación, arrojó que para el 19 de enero de 2022 se logrará obtener la inmunidad de rebaño, para esta fecha se habrán aplicado 11.034.357.235 dosis para inmunizar a la población mundial. Sin embargo, se espera que la efectividad después de dos dosis será algo mayor que con una dosis, un mayor número de personas se beneficiarán de la inmunización al ampliar el intervalo entre dosis en tiempos de insuficiencia de vacunas, brindando a más personas un provecho directo y también la posibilidad de un beneficio indirecto al ampliar la inmunidad de la población a la enfermedad COVID-19.¹⁵

De esta investigación se infiere el significativo papel que logran los modelos matemáticos a la hora de representar los procesos de vacunación y de esta manera se trazan a futuro vías de investigación en la modelización matemática para lograr la inmunidad de rebaño de cualquier proceso infeccioso.

REFERENCIAS

1. Ordaz A, Oliveres V, Sánchez R. Así avanza la vacunación: mapas y gráficos sobre su evolución en España y el mundo [Internet]. 2021 [citado junio 12 de 2021]; Disponible en: https://www.eldiario.es/sociedad/vacuna-covid-mapas-graficos-proceso-vacunacion-espana-mundo-junio-10_1_6782953.html
2. Gutiérrez, J. La competición por las vacunas pone en riesgo la inmunización en los países con menos recursos [Internet]. 2021 [citado junio 12 de 2021]. Disponible en: <https://www.rtve.es/noticias/20210611/vacuna-coronavirus-mundo/2073422.shtml>
3. Boland, B. ¿Qué es la inmunidad de rebaño? [Internet]. [citado abril 10 de 2021]; Disponible en: <https://www.bannerhealth.com/es/healthcareblog/teach-me/what-is-herd-immunity>
4. 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>

- 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>
- Johns Hopkins University. COVID-19 Data Repository by the Center for Systems Science and Engineering (CSSE) at Johns Hopkins University [Internet]. [citado junio 30 de 2021]; Disponible en: <https://www.arcgis.com/apps/dashboards/bda7594740fd40299423467b48e9ecf6>
- Calvo D. Análisis de series temporales en R. ARIMA [Internet]. 2018 [citado 2020 noviembre 7]; Disponible en: <https://www.diegocalvo.es/analisis-de-series-temporales-en-r-arima/>
- De la fuente, S. Modelo ARIMA (p, d, q) [Internet]. 2020 [citado 2020 noviembre 7]; Recuperado de: <http://www.estadistica.net/ECONOMETRIA/SERIES-TEMPORALES/modelo-arima.pdf>
- Maté C. Modelos ARIMA [Internet]. 2012 [citado 2020 noviembre 7]; Disponible en: https://es2.slideshare.net/juan_churqui/modelo-arima-14236175?from_action=save
- Villareal F. Introducción a los Modelos de Pronósticos [Internet]. 2016. [citado 2020 noviembre 7]; Disponible en: https://www.matematica.uns.edu.ar/uma2016/material/Introduccion_a_los_Modelos_de_Pronosticos.pdf
- Díaz Pinzón JE. Medidas de frecuencia por COVID-19 en Bogotá DC. *Repert Med Cir.* 2020;29(Núm. Supl.1):94-98. <https://doi.org/10.31260/RepertMedCir.01217372.1110>
- Díaz Pinzón JE. Estimación de la prevalencia del COVID-19 en Colombia. *Repert Med Cir.* 2020;29(Núm. Supl.1):99-102. <https://doi.org/10.31260/RepertMedCir.01217372.1115>
- Díaz Pinzón JE. Análisis de los resultados del contagio del COVID-19 respecto a su distribución geográfica en Colombia. *Repert Med Cir.* 2020;29(Núm. Supl.1):60-64. <https://doi.org/10.31260/RepertMedCir.01217372.1082>
- Díaz Pinzón JE. Estimación de las tasas de mortalidad y letalidad por COVID-19 en Colombia. *Repert Med Cir.* 2020;29(Núm. Supl.1):89-93. <https://doi.org/10.31260/RepertMedCir.01217372.1103>
- Luzuriaga J, Mársico F, García E, González V, Kreplak N, Pifano 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>

