
Multimed 2022; 26(4): e2501

Julio-Agosto

Artículo original

Dinámica y simulación computacional del COVID-19 en Paraguay en el mes de febrero del 2021

Dynamics and computational simulation of COVID-19 in Paraguay in February 2021

Dinâmica e simulação computacional do COVID-19 no Paraguai em fevereiro de 2021

Silverio Andrés Quintana^{1*}  <https://orcid.org/0000-0002-1877-3795>

Rodrigo Espinoza¹  <https://orcid.org/0000-0003-4157-5305>

Jorge Rojas¹  <https://orcid.org/0000-0002-9567-2410>

Samuel Gabaglio^{II}  <https://orcid.org/0000-0003-1272-6645>

^I Universidad Nacional de Asunción. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Paraguay.

^{II} University of Maryland. Department of Veterinary Medicine. Estados Unidos de América.

* Autor para la correspondencia: squintana@facen.una.py

RESUMEN

La enfermedad por coronavirus del 2019 es una preocupación a nivel mundial, su propagación está relacionada a características propias del virus y a la toma de acciones gubernamentales, de salud pública y hábitos sociales. Utilizar herramientas matemáticas y computacionales ayuda a tener un panorama de la situación actual y a futuro de esta problemática. Con el objetivo de reflejar el comportamiento de esta



enfermedad mediante simulación con dinámica de sistemas y evaluar la cantidad de contagios activos, muertes y recuperados en Paraguay en el mes de febrero del 2021 se utilizó el software Vensim aplicando una modificación del modelo básico de epidemiología de Kermack y McKendrick que considera a la población de susceptibles, infectados y recuperados. La simulación de esta dinámica ha presentado diferencias de 758 casos activos, 216 muertes y 37009 recuperados respecto a lo reportado, siendo los casos activos la aproximación más importante del estudio.

Palabras claves: Simulación; COVID-19; SIR; Vensim.

ABSTRACT

The 2019 coronavirus disease is a worldwide concern, its spread is related to the characteristics of the virus and the taking of government, public health and social habits. Using mathematical and computational tools help to have an overview of the current situation and a future of this problem. In order to reflect behavior of this disease through simulation with system dynamics and evaluating the number of active infections, deaths and recoveries in Paraguay in the month of February 2021, the Vensim software was released by applying a modification of the basic model of epidemiology of Kermack and McKendrick who consider the population of susceptible, processed and recovered. The simulation of this dynamic has presented differences of 758 active cases, 216 deaths and 37009 recovered with respect to what was reported, with active cases being the most important approximation of the study.

Keywords: Simulation, COVID-19, SIR, Vensim.

RESUMO

A doença do coronavírus 2019 é uma preocupação mundial, sua disseminação está relacionada às características do vírus e à toma de ações governamentais, de saúde pública e hábitos sociais. O uso de ferramentas matemáticas e computacionais ajudam a ter uma visão geral da situação atual e futura deste problema. Para refletir o comportamento desta doença através de simulação com dinâmica de sistemas e avaliar o número de infecções ativas, óbitos e recuperações no Paraguai no mês de



fevereiro de 2021, foi utilizado o software Vensim, aplicando uma modificação do modelo básico de epidemiologia de Kermack e McKendrick que considera a população de suscetíveis, infectados e recuperados. A simulação dessa dinâmica apresentou diferenças de 758 casos ativos, 216 óbitos e 37.009 recuperados em relação ao informado, sendo os casos ativos a aproximação mais importante do estudo.

Palavras-chave: Simulação, COVID-19, SIR, Vensim.

Recibido: 18/8/2021

Aprobado: 10/6/2022

Introducción

La enfermedad por coronavirus del 2019 conocida como COVID-19 es una enfermedad infecciosa causada por el virus coronavirus de tipo 2 causantes del síndrome respiratorio agudo severo(SARS-CoV-2) que se caracteriza por causar diversas complicaciones en la salud de los humanos. La partícula viral está compuesta por una envoltura lipídica, la nucleocápside y las proteínas de membrana (M), envoltura (E) y la espiga (S), siendo esta última estructura la que otorga mayor variabilidad genética al virus.⁽¹⁾

La aparición del virus en la población humana pudo darse probablemente por dos escenarios. El primero corresponde a un evento de selección natural en un hospedero animal antes de la transmisión zoonótica y el segundo corresponde a una selección natural en humanos luego de la transferencia zoonótica.⁽²⁾

La Organización Mundial de la Salud declaró el 11 de marzo de 2020 al COVID-19 como enfermedad epidémica y a nivel mundial hasta el 08 de febrero del 2021 se han confirmado tres variantes de preocupación de SARS-CoV-2 produciendo un total de 105.658.476 de casos acumulados llegando a producir una cantidad de 2.309.370 muertes.⁽³⁾



El primer caso de SARS-CoV-2 en Paraguay se reportó el 07 de marzo del 2020 y, luego de dos meses de aislamiento, las autoridades de salud pública aplicaron una estrategia de cuarentena inteligente, consistente en 4 fases que tenían varios niveles de restricciones para la realización de actividades. La última fase de la cuarentena inteligente se decretó el 18 de julio del 2020,⁽⁴⁾ donde si bien se levantó el aislamiento en casi todo el país, hubo excepción en la Capital y los departamentos de Alto Paraná y Central debido principalmente a la elevada cantidad de casos reportados en estas localidades. En Paraguay se reportaron hasta el 01 de febrero del 2021 una cantidad de 2734 fallecidos y 21820 casos activos.

Los modelos epidemiológicos como el de susceptibles, infectados y recuperados (SIR) de Kermack y McKendrick se aplicaron a nivel mundial para predecir futuros escenarios de la propagación del virus,⁽⁵⁾ para recrear dicho modelo se pueden usar diversas herramientas computacionales entre ellas Vensim.

El software Vensim permite realizar diagramas de los componentes del sistema a estudiar, las relaciones entre las variables e introducir ecuaciones o valores numéricos a las distintas variables ingresadas, este software ha sido utilizado en diferentes estudios de epidemiología,⁽⁶⁾ ayudando a la toma de decisiones, es por ello que se establece como objetivo utilizar una modificación del modelo básico de epidemiología(SIR) y simular la dinámica del COVID en febrero del 2021 en Paraguay mediante el software Vensim, evaluar la cantidad de contagios activos, muertes y recuperados a nivel país, y mostrar si lo obtenido por simulación tiene correspondencia con los datos reales presentados en los informes del Ministerio de Salud del Paraguay.⁽⁷⁾

Métodos

Se realizó una investigación observacional de tipo correlacional, en todos los pacientes que se enfermaron de Covid-19 durante el mes de febrero del 2021, en Paraguay.

Primeramente se realizaron las simulaciones con el software Vensim y luego se compararon con los datos publicados por el Ministerio de Salud de Paraguay.

Modelo matemático.

El modelo utilizado corresponde a una variación del modelo SIR.

$$\frac{dS}{dt} = -\frac{\beta I}{N} * S$$
$$\frac{dI}{dt} = \frac{\beta I}{N} * S - \gamma * I$$
$$\frac{dR}{dt} = \gamma * I$$
$$\frac{dM}{dt} = I * Tm$$

Donde β es la tasa de transmisión, γ es la inversa del periodo infeccioso, N es el tamaño de población, I son los infectados, S son los susceptibles, y Tm es la tasa de muerte. Las tres primeras ecuaciones corresponden al modelo SIR clásico y la cuarta ecuación es para obtener la cantidad de individuos muertos.

Se tienen además en cuenta las siguientes ecuaciones $Re = R_0 \times (S/N)$ donde Re es el número de reproducción efectiva y R_0 el número reproductivo básico cuya ecuación es $R_0 = \beta/\gamma$.

Herramienta computacional.

La simulación se realizó a través del software Vensim que pudo ser descargado de manera gratuita a través del sitio web del programa

Las ecuaciones utilizadas con Vensim son las siguientes

Individuos sanos= INTEG(-Nuevos contagiados). Valor Inicial= Población total

Tasa de contagio= $R_0 * \gamma$

Nuevos contagiados= Individuos contagiados*Tasa de contagio

Individuos contagiados= INTEG(Nuevos contagiados-Nuevos muertos-Nuevos recuperados). Valor Inicial=21820

Nuevos recuperados= Individuos contagiados*Tasa de recuperados

Individuos recuperados= INTEG(Nuevos recuperados). Valor Inicial=109227

Tasa de recuperados= γ

Individuos muertos= INTEG(Nuevos muertos). Valor Inicial=2734

Nuevos muertos= Tasa de muertes*Individuos contagiados

Tasa de muertes= Muertos/Población total.

Resultados

Se realizó un diagrama causal del tipo Forrester, teniendo en cuenta variables que permitan la interacción de contagiados, muertos y recuperados como se indica en la figura 1. Esto permitió observar de manera gráfica la relación entre los flujos y las variables.

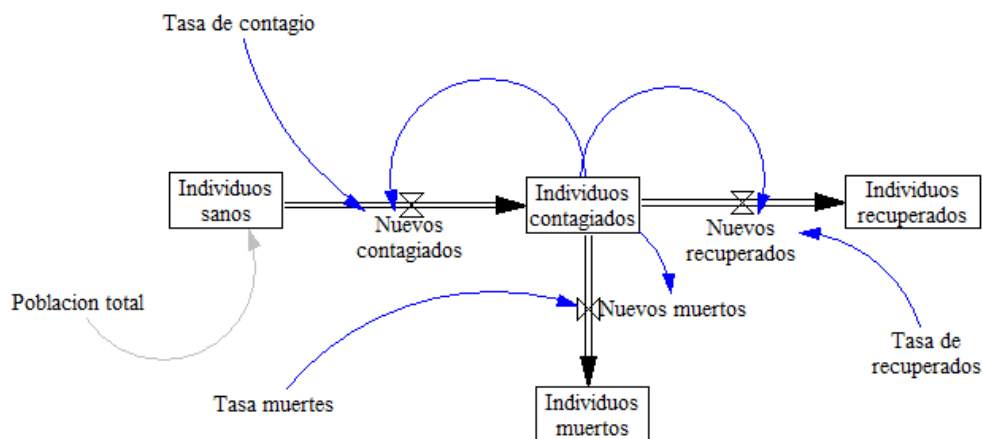


Fig. 1. Diagrama Forrester del modelo simulado en Vensim.

La dinámica de sistemas simulada a través de Vensim permitió obtener valores para los distintos tiempos de simulación. Luego de 27 días se obtiene que los individuos contagiados considerados como activos son de 23616 casos como lo observado en la figura 2.

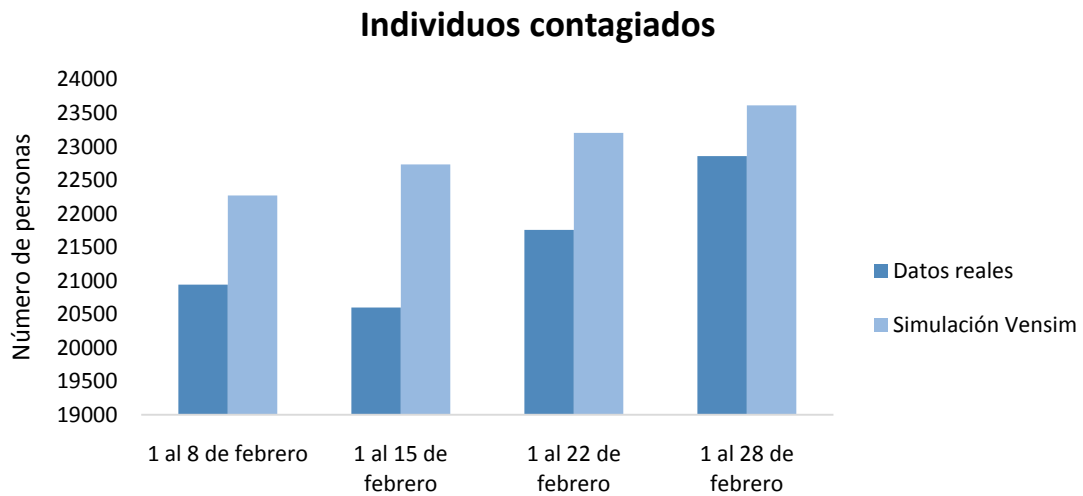


Fig. 2. Comparación de individuos contagiados activos obtenidos por simulación del modelo con los datos de informes.

Al realizar la simulación para la cantidad de decesos se obtiene un total de 2965 muertes como se visualiza en la figura 3.

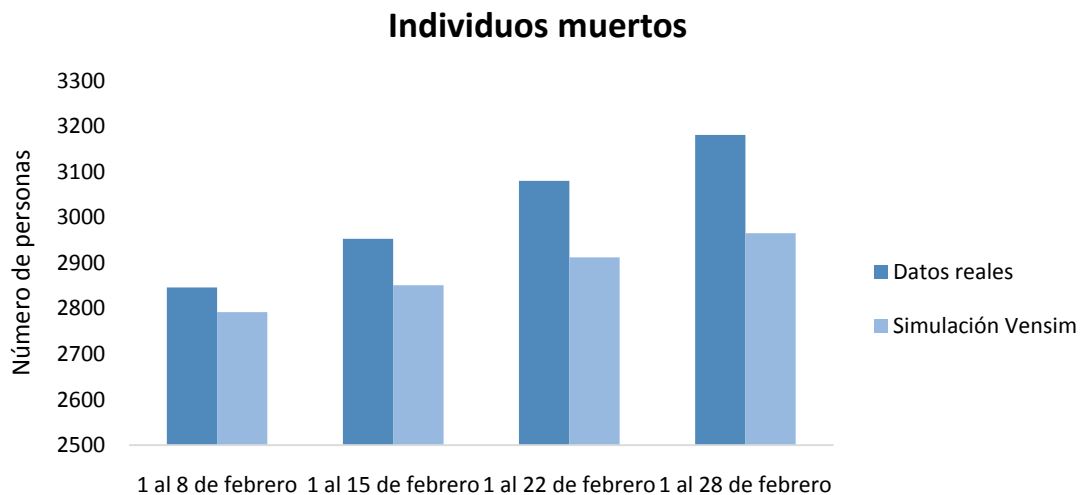


Fig. 3. Comparación de número de muertes estimadas por simulación del modelo con los datos de informes.

Así mismo se pudo realizar una estimación de la cantidad de recuperados, obteniendo una cantidad de 170444 recuperados, como se visualiza en la figura 4.

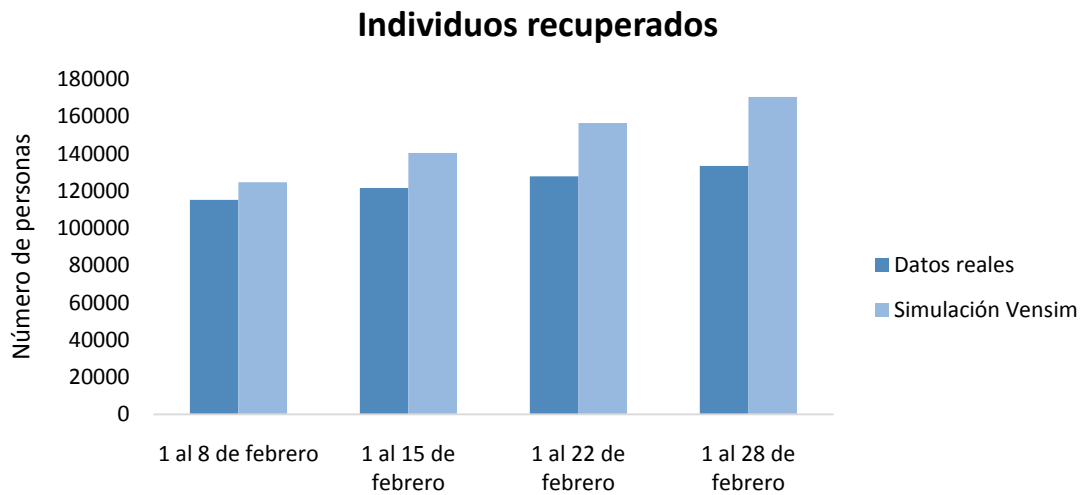


Fig. 4. Comparación de número de individuos recuperados obtenidos por simulación del modelo con los datos de informes.

Para evaluar la precisión de la simulación de manera visual, se graficaron los desvíos como el valor absoluto de la diferencia entre los valores simulados y valores reales de cada categoría, contra el transcurso del tiempo como se observa en la figura 5. Debido a la existencia de rangos de órdenes de magnitud distintos, estos desvíos fueron normalizados, dividiendo con cada media respectiva.

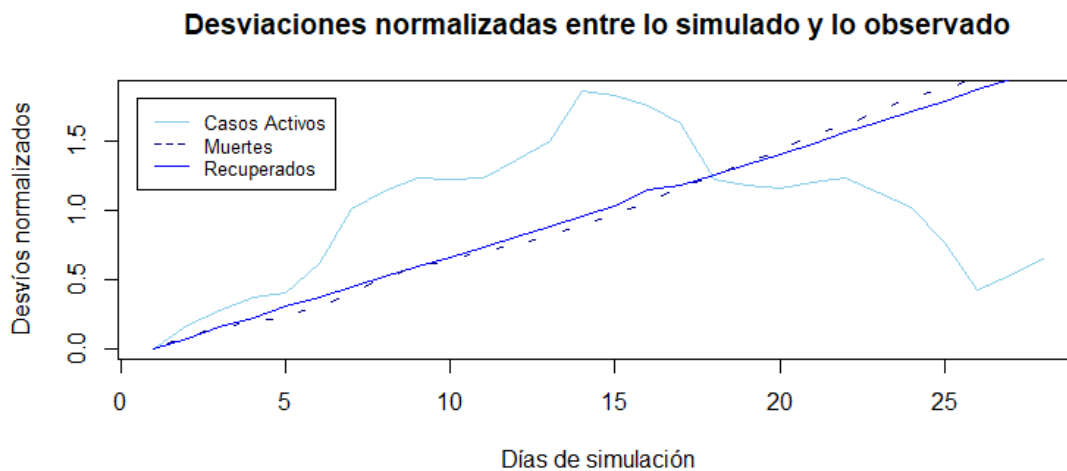


Fig. 5. Desviaciones normalizadas entre los datos simulados y los observados en los informes de las tres categorías.

Discusión

La complejidad de los distintos modelos epidemiológicos puede variar y de esta manera ofrecer resultados más cercanos a la realidad conforme a las variables que se lleguen a utilizar. En este caso no se utilizaron algunas variables que se tienen en cuenta en otros modelos como las variantes del virus SARS-CoV-2 o el número de personas hospitalizadas,⁽⁸⁾ sin embargo, la simulación realizada posee aproximaciones importantes respecto a la cantidad de casos activos reportados y los obtenidos a través del modelo. Se obtuvo que solo existe una diferencia de 758 casos entre los casos activos obtenidos por la simulación y los casos reportados del mes acertando en un 96,79%. Esta cantidad de casos activos también se ve reflejada con el número de reproducción efectiva reportado por el ministerio de salud del Paraguay que era de 1,03 para el 01 de febrero y fue el dato inicial con el que se inició el modelado. El número de reproducción efectiva indica el tipo de propagación que existe, donde valores superiores a 1 indican que la enfermedad seguirá propagándose,⁽⁹⁾ en este caso el número fue ligeramente superior a 1 por lo cual hubo un aumento en cuanto a los casos reportados inicialmente.

Los datos de tasa de transmisión utilizados para el modelo fueron obtenidos a partir del número reproductivo básico, que es igual a la razón entre la tasa de contagio y la tasa de recuperación. La tasa de recuperación establecida fue de 0,1 que corresponde a la inversa del periodo infeccioso, dicho valor fue escogido debido a que las personas confirmadas con COVID-19 en Paraguay deben presentar aislamiento por 10 días a partir del primer día en el que se tuvieron los síntomas. Esto coincide con otros estudios que refieren que los pacientes con síntomas leves pueden llevar 10 días de recuperación y que los que poseen una enfermedad crítica o inmunodeficiencia podrían tardar 15 días.⁽¹⁰⁾

Para los recuperados existe una mayor brecha entre lo simulado que corresponde a 170.444 y lo que se reportó 133.435 teniendo de esta manera una diferencia de 37.009 casos. Esto se debería a que cada persona en particular tiene una evolución distinta durante su recuperación. Existen individuos que por presentar enfermedades de base son consideradas de riesgo y son más propensos a tener una recuperación tardía incluso superior a 15 días. En Paraguay existe una prevalencia de 46,8% personas hipertensas.⁽¹¹⁾ Otras enfermedades de consideración que no se tienen en cuenta durante el modelado son la cantidad de personas con diabetes y cardiopatías donde se observa que estos pacientes necesitan de mayores cuidados.⁽¹²⁾

El modelo sencillo de SIR está representado por los individuos susceptibles, infectados y recuperados y no tiene en cuenta la cantidad de muertes,⁽¹³⁾ sin embargo, para realizar la simulación a través de Vensim se integró este flujo de manera a obtener la cantidad estimada de muertes durante el periodo de simulación. Las complicaciones inherentes de padecer COVID-19 con cuadros de base podría aumentar la tasa de fallecidos, la diferencia entre lo esperado y lo reportado fue de 216. Según los informes desde el 01 al 28 de febrero de 2021 se produjeron 447 muertes, de esta manera la simulación acertó en un 51,67% sobre la cifra total de decesos ya que la cantidad final de la simulación fue de 2965 muertos. Algunos aspectos a tener en cuenta y que influyen en el número de pacientes muertos es que no todos poseen el fácil acceso a medicamentos por su costo y por la disponibilidad en el mercado y los hospitales, así mismo existen ocasiones en las que no hay un rápido ingreso a unidades de terapia intensiva debido a que los mismos se encuentran llenos o viven lejos de los hospitales con dicho servicio. Cabe destacar que también existen muchas personas contagiadas que no acuden a los centros de salud y consumen medicamentos sin prescripción médica lo cual desemboca en la complicación del cuadro clínico.

El modelo propuesto y simulado a través de Vensim podría ayudar a la correcta toma de decisiones en cuanto a la estimación de individuos contagiados. Esto se visualizó mediante los valores obtenidos de los desvíos normalizados de las distintas categorías utilizadas en el modelo, sin embargo las aproximaciones respecto al escenario de personas recuperadas y la cantidad de decesos deberían ser mejoradas incluyendo

variables como capacidades de los hospitales para pacientes con COVID-19, ⁽¹⁴⁾ se debe tener en cuenta las afecciones de base que presenten las personas contagiadas y también a aquellos pacientes que presentan la enfermedad y no quieren recibir tratamientos médicos.⁽¹⁵⁾

Conclusiones

La simulación de la dinámica de sistemas es compleja y depende en gran medida de los datos de partida, en tal sentido si bien la simulación tuvo buena aproximación respecto a los casos activos hubo menor precisión en los valores de recuperados y muertes lo cual fue observado por la mayor diferencia entre lo esperado y lo reportado. Esta diferencia plantea la necesidad de realizar ajustes de los parámetros del modelo para futuras simulaciones. El tiempo de simulación se aplicó para un intervalo de 27 días sin embargo este tipo de simulaciones se puede realizar en otros periodos más amplios, no obstante, al tener un mayor intervalo de tiempo los resultados obtenidos podrían tener mayores variaciones debido a la aparición de nuevas variables que no se tienen en cuenta al principio del modelado como las características individuales relacionados a la salud de las personas, hábitos sociales y la toma de decisiones a nivel país.

Referencias bibliográficas

1. TroyanoHernández P, Reinos R, Holguín Á. Evolution of SARS-CoV-2 Envelope, Membrane, Nucleocapsid, and Spike Structural Proteins from the Beginning of the Pandemic to September 2020: A Global and Regional Approach by Epidemiological Week. *Viruses*. 2021; 13(2):243.
2. Andersen KG, Rambaut A, Lipkin WI, Holmes EC, Garry RF. The proximal origin of SARS-CoV-2. *Nat Med*. 2020; 26(4):450-2.
3. Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud. Actualización epidemiológica: Enfermedad por Coronavirus (COVID-19). [Internet].



- Washington, D.C.: OPS/OMS; 2021. [citado 18/07/2022]. Disponible en: https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/53378/EpiUpdate9February2021_spa.pdf?sequence=2&isAllowed=y
4. Paraguay. Ministerio de salud pública y bienestar social. Fase 3 de cuarentena inteligente significa mayor compromiso. [Internet]. Paraguay: MSPBS; 2021. [citado 14/06/2021]. Disponible en: <https://www.mspbs.gov.py/portal/21101/fase-3-de-cuarentena-inteligente-significa-mayor-compromiso.html>
5. Katul GG, Mrad A, Bonetti S, Manoli G, Parolari AJ. Global convergence of COVID-19 basic reproduction number and estimation from early-time SIR dynamics. PLoS One. 2020; 15(9):e0239800-e22.
6. Venkatasen M, Mathivanan SK, Jayagopal P, Mani P, Rajendran S, Subramaniam U, et al. Forecasting of the SARS-CoV-2 epidemic in India using SIR model, flatten curve and herd immunity. J Ambient Intell Humaniz Comput. 2020; 15: 1-9.
7. Paraguay. Ministerio de salud pública y Bienestar Social. Coronavirus / COVID-19 en Paraguay. [Internet]. Paraguay: MSPBS; 2021. [citado 10/06/2021]. Disponible en: <https://www.mspbs.gov.py/reporte-covid19.html>
8. Ibarra Vega D. Lockdown, one, two, none, or smart. Modeling containing covid-19 infection. A conceptual model. Sci Total Environ. 2020; 730:138917-23.
9. Ridenhour B, Kowalik JM, Shay DK. El número reproductivo básico (R_0): consideraciones para su aplicación en la salud pública. Am J Public Health. 2018; 108(Suppl 6):S455–65.
10. Seyed Alinaghi S, Abbasian L, Solduzian M, Ayoobi Yazdi N, Jafari F, Adibimehr A, et al. Predictors of the prolonged recovery period in COVID-19 patients: a cross-sectional study. Eur J Med Res. 2021;26(1):41.
11. Paraguay. Ministerio de salud pública y binestar social. ¡Controla regularmente tu presión arterial! [Internet]. Paraguay: MSPBS; 2021. [citado 16/06/2021]. Disponible en: <https://www.mspbs.gov.py/portal-19108/iexclcontrola-regularmente-tu-presion-arterial.html>
12. Salazar M, Barochiner J, Espeche W, Ennis I. COVID-19, hipertensión y enfermedad cardiovascular. Hipertens y Riesgo Vasc. 2020; 37(4):176–80.

13. Delgado JA. Modelo dinámico de la pandemia de COVID19. Sanid. Mil. 2021; 77(1): 7-16.
14. Niwa M, Hara Y, Sengoku S, Kodama K. Effectiveness of Social Measures against COVID-19 Outbreaks in Selected Japanese Regions Analyzed by System Dynamic Modeling. Int J Environ Res Public Health. 2020;17(17):6238–50.
15. Malik M, Tahir MJ, Jabbar R, Ahmed A, Hussain R. Self-medication during Covid-19 pandemic: challenges and opportunities. Drugs Ther Perspect. 2020; 36(12):565-7.

Conflicto de interés

Los autores del presente trabajo no poseen conflicto de interés, se autoriza la distribución y uso del presente artículo.

Contribuciones de los autores

Conceptualización Supervisión, Redacción – revisión y edición: Silverio Andrés Quintana y Samuel Gabaglio.

Curación de datos, Visualización, Redacción – borrador original: Silverio Andrés Quintana, Rodrigo Espinoza y Jorge Rojas.

Análisis formal, Metodología, Software, Validación: Silverio Andrés Quintana, Rodrigo Espinoza.

Adquisición de fondos, Administración del proyecto, Recursos: Silverio Andrés Quintana.

Investigación: Silverio Andrés Quintana, Jorge Rojas.

