

Estimación del factor de propagación R_0 del COVID-19 por medio del modelo de Kermack-McKendrick

Estimation of the propagation factor R_0 of the COVID-19 using the Kermack-McKendrick model

CARMEN MILAGRO VIÑA

Centro de Estudios Políticos y Sociales de América Latina CEPESAL

Facultad Ciencias Políticas

Universidad de Los Andes

Mérida Venezuela

vinac137@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4222-4294>

JOSE FRANK PERNALETE LUGO

Facultad Ingeniería Civil

Universidad Centro Occidental Lisandro Alvarado

Barquisimeto Venezuela

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-6625-1334>

RECIBIDO: 26/09/2020

ACEPTADO: 16/08/2021

DOI: <https://doi.org/10.24197/st.1.2022.257-272>

Resumen: El modelo epidémico SIR, es útil para medir la rapidez de propagación de la infección COVID-19 en términos de umbral epidemiológico R_0 a lo largo del tiempo. Se desarrolló un modelo matemático diferencial ordinario para medir el comportamiento del COVID-19 en el Perú, partiendo de la experiencia en el control de infecciones Kermack-McKendrick. Se estimó además la tasa de infectados β y de recuperados o eliminados γ , haciendo uso del conjuntos de datos oficiales de la Organización Mundial de la Salud, partiendo del histórico entre el 07 de Marzo y el 24 de Septiembre de 2020 y; proyectado hasta el 28 de Octubre de 2021. Explicando que la menor tasa de infectados ocurrirá a partir del 30 de Junio de 2021 $\beta=0,24$. Evidenciando un pronóstico de erradicación para el 28 de Octubre de 2021 con una tasa de infectados ($\beta=0,21$) y umbral ($R_0=0,03$), además se cuantificó la exactitud del modelo en 93,012%, con 6,988 % de error porcentual medio de mitigación COVID-19, siendo el valor promedio temporal $R_0 <1$, así que

Abstract: The SIR epidemic model is useful to measure the speed of spread of the COVID-19 infection in terms of the epidemiological threshold R_0 over time. An ordinary differential mathematical model was developed to measure the behavior of COVID-19 in Peru, based on the experience in the control of Kermack – McKendrick infections. The rate of infected β and of recovered or eliminated γ was also estimated, using the official data sets of the World Health Organization, starting from the historical between March 07J and September 24, 2020 and; projected until October 28, 2021. Explaining that the lowest rate of infected will occur from June 30, 2021 $\beta = 0.24$. Evidence of an eradication prognosis for October 28, 2021 with a rate of infected ($\beta = 0.21$) and threshold ($R_0 = 0.03$), in addition the accuracy of the model was quantified in 93.012%, with a 6.988% error COVID-19 mitigation mean percentage, with the temporal average value being $R_0 <1$, so each person who

cada persona que contrae la enfermedad infectará a menos de una persona antes de morir o recuperarse, por lo que el brote desaparecerá.

Palabras Clave: infectado; recuperado; propagación; mitigación: umbral epidemiológico.

contracts the disease will infect less than one person before dying or recovering, so the outbreak will disappear.

Keywords: infected, recovered, spread, mitigation, epidemiological threshold.

1. Introducción

El paciente cero del virus Coronavirus SARS-COV2 beta causante de la enfermedad denominada Covid-19 fue ubicado en un paciente de 55 años habitante de la provincia de Hubei en China el 17 de noviembre del año 2019. Posteriormente casi dos meses después del caso Hubei, fue declarada la epidemia en la ciudad Wuhan, localizando el foco en un mercado donde se expenden especies vivas (Sánchez, Arce & Rodríguez, 2020). Las velocidades de propagación, aunado a la alta tasa de mortalidad derivaron en que el Comité de Emergencia para el Reglamento Sanitario Internacional de la Organización Mundial de la Salud (OMS) declarara la emergencia de Salud Pública en marzo de 2020 (Caparó & Del Carmen, 2020). Aunado a ello el 11 de marzo del 2020 la OMS califica a la enfermedad causada por le COVID-19 como pandemia, divulgando que los mecanismos de contagio se encuentran asociados a las exhalaciones y gotitas emanadas por las personas enfermas e infectadas asintomáticas (Organización Mundial de la Salud, 2020). Ante el avance de la enfermedad y las experiencias epidemiológicas en países como China, Italia y España los Estados a nivel mundial asumieron drásticas medidas sanitarias que incluyeron el distanciamiento social, el confinamiento obligatorio e intensivas campañas de prevención orientadas a que la población implementara estrategias de protección individual y colectiva conducentes a contener la propagación del virus (Correa & Muñoz, 2020). No obstante, las medidas sanitarias y las políticas de salud pública implementadas en los diferentes países, no han logrado contener la propagación de la enfermedad, registrándose al 25 de septiembre de 2020 un total de 32,4 millones de contagiados y 985 mil fallecidos.

En el caso de los países en desarrollo como Perú, las políticas públicas sanitarias orientadas hacia la mitigación del Coronavirus SARS-COV2, confrontó y confronta los obstáculos derivados de la presión económica de la población dedicada a la economía informal fundamentalmente, que constituyen el 71,1% de la población económicamente activa. En ese orden tras la detección del paciente 0 en el Perú el día 7 de marzo de 2020 identificado como turista quien transitó por España, República Checa y Francia; el gobierno decretó el Estado de Emergencia e implementó medidas de confinamiento como mecanismo de impacto para contener a enfermedad a partir del 15 de marzo 2020 (Decreto Supremo N.º 0044-2020-PCM). La ejecución de medidas de emergencia y el confinamiento, no lograron detener la curva ascendente en los casos de infectados y fallecidos hasta alcanzar las cifras registradas en septiembre 2020. En ese orden

es fundamental la implementación de modelos dinámicos que permitan estimaciones confiables referidas a la dinámica epidemiológica del Covid-19 que vislumbren los escenarios científicamente comprobados donde se produce la mitigación y/o erradicación de la enfermedad. (Díaz, 2020).

Los investigadores han estado observando la propagación del virus, se han congregado para acelerar diagnósticos lo más asertivos y están trabajando en una serie de vacunas para proteger contra el COVID-19 (Lozano, 2020). En el presente estudio se desarrolla un modelo matemático diferencial ordinario o también denominado SIR modificado para proyectar la curva de contagio; este medido con el parámetro umbral epidemiológico (R_0) (Paiva et al., 2020; Zhao, 2020). La investigación tiene como objetivo, estimar el factor de propagación R_0 del COVID-19 por medio del modelo de Kermack-McKendrick, para la República del Perú, partiendo de la experiencia en el control de infecciones de modelos de dinámica poblacional.

2. Metodología

La investigación utilizó metodología de nivel teórico y empírico para la intuición del conjunto de datos estadísticos COVID-19 de la OMS para el Perú, sustentado en el análisis documental y bibliográfico (Trujillo, 2020). Se utilizó la observación directa para la construcción de los indicadores, en conjunto con la modelación de Kermack–McKendrick.

El modelo SIR, que conecta el número de susceptibles S , infectados y diseminando la infección I y eliminados R , se aplicó. Los parámetros de este modelo se estimaron con el histórico del número diario de casos, desde el 07 de Marzo hasta el 24 de Septiembre de 2020 (Manrique et al., 2020). Validando los resultados con el suavizado exponencial Holt-Winters y así cuantificar la bondad de ajuste del modelo (Abdulmajeed et al., 2020).

La hipótesis de la investigación es: El modelo de Kermack–McKendrick, explica la rapidez de propagación del COVID-19 en el contexto de evolución de la infección en la República del Perú 2020-2021.

2.1 Modelo Kermack-McKendrick

En el área de la epidemiología, el modelo de Kermack-McKendrick considera el proceso de eliminación de infectados. Asume que durante una epidemia de una enfermedad contagiosa, algunos infectados se recuperan o mueren; una vez que un individuo se recupera de la enfermedad, será considerado inmune a esta. Así, cada persona permanece en uno de los tres estados en cualquier condición: susceptible, infeccioso, eliminado. Cualquier poblador en el sistema tiene la transición de estado (susceptible \rightarrow infeccioso \rightarrow eliminado) o permanece en el estado susceptible en un tiempo finito.

El modelo Kermack-McKendrick es también denominado modelo SIR. Para la presente investigación del COVID-19, se estudia a personas en las tres condiciones, en el contexto de evolución de la infección en la República del Perú, partiendo del histórico entre el 07 de Marzo y el 24 de Septiembre de 2020 y; proyectado hasta el 28 de Octubre de 2021. Para explicar el crecimiento y decrecimiento de las variables del modelo SIR, fue tomado como valor representativo el umbral epidemiológico R_0 (Pinasco, 2020). Se asume que el tamaño de la población es fijo, el período de incubación del agente infeccioso de 5 a 14 días y la duración de la infectividad es la misma que la duración de la enfermedad (Kaxiras et al., 2020).

Sea $I(t)$ el número de infectados en el tiempo t . Usamos $R(t)$ para denotar el número de eliminados de huéspedes previamente infecciosos en el tiempo t . Un individuo eliminado de la población infectada en el momento t es un huésped que alguna vez estuvo infectado pero que ha sido desinfectado o descartado de la circulación antes del tiempo t . Sea $F(t)$ el número de infectados en el tiempo t si y solo si, todavía están en estado infeccioso o han sido eliminados.

El modelo se constituye de ecuaciones diferenciales ordinarias articuladas:

$$F(t) = I(t) + R(t) \quad (1)$$

$$\frac{dF(t)}{dt} = \beta F(t)[N - F(t)] \quad (2)$$

$$\frac{dR(t)}{dt} = \gamma I(t) \quad (3)$$

$$F(t) = I(t) + R(t) = N - S(t) \quad (4)$$

donde β es la tasa de infección; γ es la tasa de eliminación de infectados de la circulación; $S(t)$ es el número de huéspedes susceptibles en el tiempo t ; N es el tamaño de la población. Se define, $\rho \equiv \gamma / \beta$ como la tasa de remoción relativa. La solución definitiva del modelo es:

$$\frac{dI(t)}{dt} > 0 \quad (5)$$

si y solo si $S(t) > \rho$

El valor clave que rige la evolución temporal de estas ecuaciones es el llamado umbral epidemiológico,

$$R_0 = \frac{\beta S}{\gamma} \quad (6)$$

Dado que no se generará ningún individuo susceptible nuevo, el número de personas susceptibles $S(t)$ es una función monótonamente decreciente del tiempo t . Si $S(t=0) < \rho$, entonces $S(t) < \rho$ y $dI(t) / dt < 0$ para todo el tiempo futuro $t > t=0$. En otras palabras, si el número inicial de huéspedes susceptibles es menor que algún valor crítico, $S(0) < \rho$, no habrá COVID-19 ni brote.

Entonces, las condiciones del modelo final serán:

- Cuando $R_0 < 1$, cada persona que contrae la enfermedad infectará a menos de una persona antes de morir o recuperarse, por lo que el brote desaparecerá ($dI/dt < 0$).
- Cuando $R_0 > 1$, cada persona que contraiga la enfermedad infectará a más de una, por lo que la epidemia se extenderá ($dI/dt > 0$) (Arango et al., 2020).

2.2. El suavizado exponencial Holt-Winters

Holt-Winters es una técnica robusta para para construir series de temporales con tendencia aditiva $Y(p+1)$ y 500 iteraciones con α, β, γ optimizado. (Díaz et al., 2020). La forma recursiva de la ecuación de suavizado exponencial de Holt-Winters se expresa así:

$$J_t(m) = (S_t + mb_t)C_{t-L+m} \quad (7)$$

$$S_{t>L} = \alpha + \frac{X_t}{C_{t-L}} + (1-\alpha)(S_{t-1} + b_{t-1}) \quad (8)$$

$$b_{t>L} = \beta(S_t - S_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1} \quad (9)$$

$$C_{t>L} = \gamma \left(\frac{X_t}{S_t} \right) + (1 - \gamma)C_{t-L} \quad (10)$$

Dónde:

X_t es el valor de la serie de tiempo en el tiempo t .

L es la longitud de la estación o duración.

S_t es un estimado del suavizado del componente de nivel.

b_t es un estimado del suavizado del componente de tendencia.

C_t es un estimado del suavizado del componente de índice de temporada.

α es el nivel de coeficiente de suavizado.

β es la tendencia del coeficiente de suavizado.

γ es el coeficiente de suavizado estacional.

$J_t(m)$ es el valor pronóstico de suavizado en el paso adelantado m para X en el tiempo t .

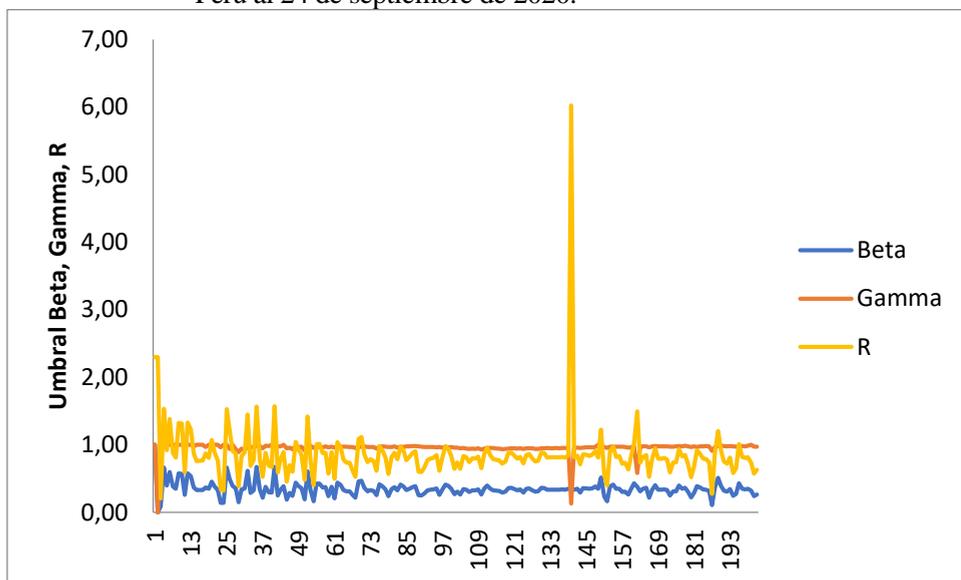
Se tasaron tres series exponenciales simples no dependientes de nivel, tendencia y estacionales. Son interdependientes en el sentido de que los tres componentes deben actualizarse cada período. En el estudio se partió del histórico de infectados, muertes y eliminados en el Perú, con proyección hasta el 28 de Octubre de 2021 (González et al., 2020).

3. Resultados

3.1 Modelo de Kermack-McKendrick

En la Figura 1, se explica la curva de contagio histórico para el Perú, evidenciando la tendencia en comportamiento de la tasa de infectados β , tasa de recuperación γ , eliminados o recuperados S y el umbral epidemiológico R , calculado por el modelo de Kermack-McKendrick; para 199 días de pandemia COVID-19 desde el 07 de marzo al 24 de Septiembre de 2020. El día 1 representa un R_0 de 2,3 pero que evolucionó un mes después a 1,38, incrementándose al 10 de abril en 1,56 y así sucesivamente hasta llegar al día 199 con un valor de 0,63. Este valor representa la cantidad de personas que son infectadas por un contagiado. Por lo tanto, como $R_0 < 1$, cada persona que contrae la enfermedad infectará a menos de una persona antes de morir o recuperarse, por lo que el brote desaparecerá.

Figura 1. Curva de contagio del modelo de Kermack-McKendrick para Perú al 24 de septiembre de 2020.



Fuente: elaboración propia

3.2 Modelo de proyección SIR

En la Tabla 1, el MAPE estima en 19,440 el porcentaje promedio del error de pronóstico un paso adelante para el Umbral epidemiológico R_0 , en promedio indica que el pronóstico es acertado en una diferencia porcentual de 80,56%. El valor MPE para las series es 6,988 y manifiesta el error porcentual medio, es decir entre la

predicción y los valores reales. En este sentido, el pronóstico futuro para el 28 de octubre 2021 cuantifica una exactitud del modelo en 93,012 %.

Tabla 1. Bondad de ajuste del pronóstico del modelo de Kermack-McKendrick para el umbral R_0

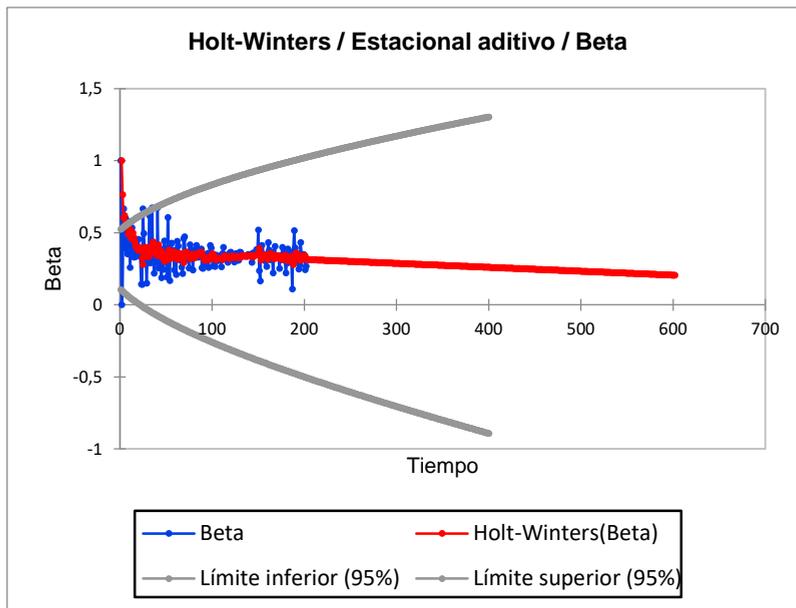
Estadístico	Valor
Observaciones	202
GL	197
SEC	45,693
MEC	0,232
RMSE	0,482
MAPE	19,440
MPE	6,988
MAE	0,213
R^2	
Iteraciones	Sí

Fuente: elaboración propia

En la Figura 2, se demuestra la predicción de la tasa de infección β a partir del histórico de la pandemia, desde el 7 de marzo hasta el 24 septiembre de 2020 y proyectada hasta el 28 de octubre del año 2021. Como se ve en los puntos de atenuación azul; pues hay una tendencia de decrecimiento en la pendiente de distribución desde el 17 de Septiembre del año 2020 ($\beta=0,308$), con un incremento el 23 de Septiembre ($\beta=0,314$), que varía según la cantidad de infectados diarios.

La tendencia real está explicada en la curva roja, nos indica el número de contactos suficientes para la transmisión de una persona por unidad de tiempo. Para el inicio de la proyección al 25 de Septiembre de 2020 es ($\beta=0,313$), para finales de año al 30 de Diciembre es ($\beta=0,287$) y expone una disminución de 8.30% en la tasa de infección. Continuando, se estima un valor ($\beta=0,253$) para el 05 de Mayo de 2021, expresando una diferencia porcentual de 11.84% con relación al periodo anterior. Finalmente, la tasa de infección para el 28 de Octubre de 2021 será de ($\beta=0,205$). Entonces, el parámetro β es el producto de la cantidad de contactos promedio por persona y unidad de tiempo y ; la probabilidad de infección en un solo contacto entre un individuo contagiado y uno susceptible (Pharaon & Bauch, 2018).

Figura 2. Pronostico Holt-Winters para la tasa de infección β al 28 de Octubre de 2021.

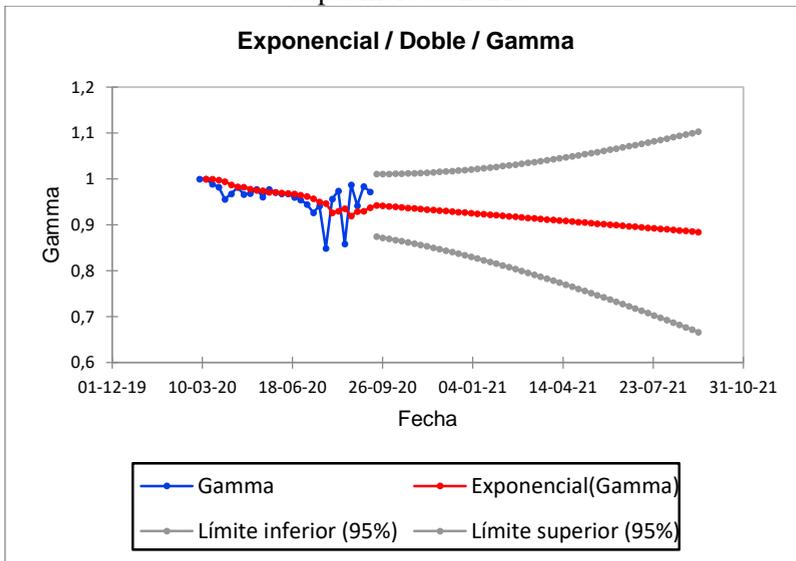


Fuente: elaboración propia

En la Figura 3, se expone el pronóstico de recuperados γ a partir del histórico de la pandemia, desde el 7 de marzo de 2020 y proyectada hasta el 11 de septiembre del año 2021. Como se ve en los puntos de atenuación azul; pues hay un incremento pronunciado en la pendiente de distribución en dos fechas; 22 de Agosto ($\gamma=0,987$) y 05 de Septiembre ($\gamma=0,984$) de 2020 pero que desciende el 12 de Septiembre ($\gamma=0,972$).

Los puntos grises muestran el mejor y el peor escenario. Es importante observar en el modelo ideal de Kermack-McKendrick, que estima para el mejor, una disminución de los recuperados a partir del 24 de Octubre de 2020 ($\gamma=0,862$).y para el peor, un incremento de ($\gamma=1,024$) para el 16 de Enero del 2021. Ahora, la tendencia real está explicada en la línea de tendencia roja, cuyo pronóstico en base al histórico es de ($\gamma=0,885$) recuperados para el 11 de Septiembre de 2021. Esto nos indica la tasa por unidad de tiempo a la cual los individuos infectados se recuperan o se consideran eliminados según el modelo SIR.

Figura 3. Pronostico Holt-Winters para la tasa de recuperados γ al 11 de Septiembre de 2021.



Fuente: elaboración propia

En la Figura 4, se manifiesta el pronóstico de defunciones a partir del histórico de la pandemia, desde el 7 de marzo de 2020 y proyectada hasta el 28 de octubre del año 2021. Como se ve en los puntos de atenuación azul; pues hay una disminución pronunciada en la pendiente de distribución hasta el 04 de Septiembre del año 2020 ($R_0=0,871$), pero que se incrementa de forma abrupta a ($R_0=1,204$) el 10 de Septiembre, decreciendo posteriormente en la semana del 17 de Septiembre ($R_0=1,012$).

En el modelo ideal de Kermack-McKendrick proyectado por Holt-Winters, la tendencia real está explicada en la curva roja. Para finales del año 2020, específicamente el 30 de Diciembre, el umbral epidemiológico será ($R_0=0,564$). Posteriormente, disminuye a ($R_0=0,332$) para el 09 de mayo de 2021; cuyo pronóstico final en base al histórico es ($R_0=0,025$) para el 28 de Octubre de 2021. A partir de esta fecha, la tasa reproductiva R_0 , nos indica el número de nuevos infectados, en promedio, por un solo infectado a lo largo del periodo de duración de la enfermedad COVID-19. Estos valores son el resultado de 500 iteraciones en la suavización aplicada al modelo matemático.

Tabla 2. Predicciones del Modelo Holt-Winters en la proyección del COVID-19

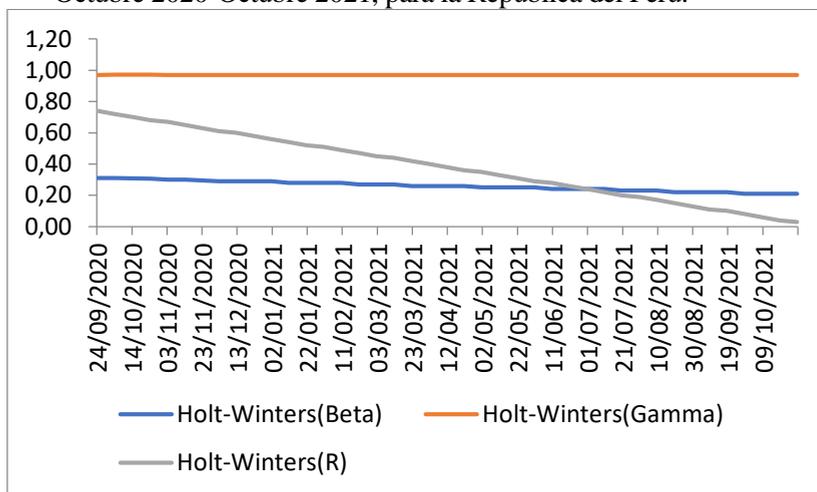
Tiempo	Holt-Winters(β)	Holt-Winters(γ)	Holt-Winters(R_0)
24/09/2020	0,31	0,97	0,74
04/10/2020	0,31	0,97	0,72
14/10/2020	0,31	0,97	0,70
24/10/2020	0,31	0,97	0,68
03/11/2020	0,30	0,97	0,67
13/11/2020	0,30	0,97	0,65
02/12/2020	0,29	0,97	0,61
12/12/2020	0,29	0,97	0,60
22/12/2020	0,29	0,97	0,58
01/01/2021	0,29	0,97	0,56
11/01/2021	0,28	0,97	0,54
21/01/2021	0,28	0,97	0,52
31/01/2021	0,28	0,97	0,51
10/02/2021	0,28	0,97	0,49
20/02/2021	0,27	0,97	0,47
02/03/2021	0,27	0,97	0,45
12/03/2021	0,27	0,97	0,44
22/03/2021	0,26	0,97	0,42
01/04/2021	0,26	0,97	0,40
11/04/2021	0,26	0,97	0,38
21/04/2021	0,26	0,97	0,36
01/05/2021	0,25	0,97	0,35
11/05/2021	0,25	0,97	0,33
21/05/2021	0,25	0,97	0,31
31/05/2021	0,25	0,97	0,29
10/06/2021	0,24	0,97	0,28
20/06/2021	0,24	0,97	0,26
30/06/2021	0,24	0,97	0,24
10/07/2021	0,24	0,97	0,22
20/07/2021	0,23	0,97	0,20
30/07/2021	0,23	0,97	0,19

09/08/2021	0,23	0,97	0,17
19/08/2021	0,22	0,97	0,15
29/08/2021	0,22	0,97	0,13
08/09/2021	0,22	0,97	0,11
18/09/2021	0,22	0,97	0,10
28/09/2021	0,21	0,97	0,08
08/10/2021	0,21	0,97	0,06
18/10/2021	0,21	0,97	0,04
28/10/2021	0,21	0,97	0,03

Fuente: elaboración propia

En la Figura 5, se dibuja la curva de contagio del COVID-19 desde el 24 de septiembre de 2020 al 28 de octubre de 2021 para la República del Perú. Evidenciando que la intensidad del COVID-19 disminuye progresivamente; dando indicios de decrecimiento en la rapidez de propagación. Por ejemplo, para el 30 de junio de 2021 se estima que el umbral R_0 disminuye a 0,24; igualmente la tasa de infección $\beta=0.24$. Posteriormente, al final del periodo pronóstico del 28 de octubre de 2021, R_0 disminuye a 0,03 y la tasa de infección a $\beta=0.21$. Mientras que la tasa de recuperación γ se ha mantenido constante durante la infección, específicamente 0.97. Éste resultado explica la ratio entre el número de recuperados o eliminados y el número de personas infectadas por unidad de tiempo.

Figura 5. Pronostico de la curva de contagio del COVID-19 en el periodo Octubre 2020-Octubre 2021, para la República del Perú.



Fuente: elaboración propia

En base a los resultados del estudio, se recomienda adoptar un levantamiento por completo de las medidas de contingencia a partir del 30 de Junio de 2021, de parte del gobierno central del Perú. A partir de este periodo se manifiesta la erradicación casi por completo de la enfermedad. El modelo de Kermack-McKendrick explica que, desde el 24 de Septiembre de 2020, se mantiene el umbral de contagio con un valor $R_0 < 1$, por lo tanto cada persona que contrae la enfermedad infectará a menos de una persona antes de morir o recuperarse, por lo que el brote desaparecerá (Martins et al., 2020; Magno et al., 2020).

4. Conclusión

El patrón de comportamiento del COVID-19 para la República del Perú, se modeló por medio del predictivo de Kermack-McKendrick, específicamente para medir las variables: umbral epidemiológico R_0 , tasa de infectados β y tasa de recuperados o eliminados γ . La estimación de R_0 , también conocido como índice de la curva de contagio, coadyuva en la valoración epidemiológica, es decir, determinar el número de personas infectadas por contacto con una sola persona infectada antes de su muerte o recuperación (Hamidah et al., 2020). La modelación se inició desde el 24 de Septiembre de 2020, con pronóstico al 28 de Octubre de 2021, evidenciando un pronóstico de erradicación del COVID-19 para el 30 de Junio de 2021 con una tasa de infectados mínima ($\beta=0,24$) y ($R_0=0,24$), considerando que la evolución en la transmisión por contacto es una de las principales rutas del COVID-19 (Li et al., 2019).

En líneas generales, el mejor pronóstico del modelo de Kermack-McKendrick ocurrirá a partir del 28 de Septiembre de 2021, donde la curva de contagio empezará a mostrar una pendiente de decrecimiento abrupta, hasta desaparecer por completo a partir del 28 de octubre de 2021, ($\beta=0,21$) y ($R_0=0,03$). El modelo matemático diferencial ordinario implementado en el estudio, se ajusta al contexto de propagación del COVID-19 en la República del Perú de forma optimizada.

Se calcula una disminución centesimal del umbral epidemiológico de 95,94%, desde el inicio de la pandemia, además se cuantificó la exactitud del modelo en 93,012%, con 6,988 % de error porcentual medio de mitigación COVID-19.

Se recomienda adoptar un levantamiento por completo de las medidas de contingencia a partir del 30 de Junio de 2021, de parte del gobierno central del Perú. A partir de este periodo se manifiesta la erradicación casi por completo de la enfermedad, ya que el umbral de contagio con un valor $R_0 < 1$, explica que cada persona que contrae la enfermedad infectará a menos de una persona antes de morir o recuperarse, por lo que el brote desaparecerá. Este resultado, es sinónimo de control epidemiológico de la infección COVID-19 para la República del Perú. Por lo tanto, se confirma la hipótesis de investigación: El modelo de Kermack-McKendrick, explica la rapidez de propagación del COVID-19 en el contexto de evolución de la infección en la República del Perú.

En conclusión, la curva de contagio para el Perú dependerá directamente de las medidas de mitigación que tienen como fin, disminuir la rapidez de la propagación de la infección y anticiparse a la transmisión sostenida hasta tener una vacuna para suprimir el COVID-19; siempre que se implementen medidas preventivas por parte de la población (Gonzales et al., 2020).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdulmajeed, K., Adeleke, M., & Popoola, L. (2020). Onlineforecasting of COVID-19 cases in Nigeria using limited data. *Journal Data in Brief*, 20(1), <https://doi.org/10.1016/j.dib.2020>
- Arango-Londoño, D., Ortega-Lenis, D., Muñoz, E., Cuartas, D., Caicedo, D., Mena, J., Torres, M., & Méndez, F. (2020). Predicciones de un modelo SEIR para casos de COVID-19 en Cali, Colombia. *Revista de Salud Pública*, 22(2), 1-6. doi: <https://doi.org/10.15446/rsap.v22n2.86432>
- Caparó, F., & Del Carmen Sara, J. (2020). Coronavirus y las amenazas a la salud mundial. *Horizonte Médico (Lima)*, 20(1), 4-5. <https://doi.org/10.24265/horizmed.2020.v20n1.01>
- Correa-Cuadros, Jennifer P., & Muñoz-Rodríguez, Manuel A... (2020). SARS-COV.2/COVID-19 en Colombia: tendencias, predicciones y tensiones sobre el sistema sanitario. *Revista de Salud Pública*, 22(2), e386614. Epub July 30, 2020. <https://dx.doi.org/10.15446/rsap.v22n2.86614>
- Díaz Pinzón J. E. (2020). Uso de modelo predictivo para la dinámica de transmisión del COVID-19 en Colombia. *Revista Repertorio De Medicina Y Cirugía*, 34-44. <https://doi.org/10.31260/RepertMedCir.01217372.1056>
- Díaz-Narváez, Víctor, San-Martín-Roldán, David, Calzadilla-Núñez, Aracelis, San-Martín-Roldán, Pablo, Parody-Muñoz, Alexander, & Robledo-Veloso, Gonzalo. (2020). Which curve provides the best explanation of the growth in confirmed COVID-19 cases in Chile?. *Revista Latino-Americana de Enfermagem*, 28, e3346. Epub June 26, 2020. <https://doi.org/10.1590/1518-8345.4493.3346>
- Du, Z., Wang, L., Cauchemez, S., Xu, X., Wang, X., Cowling, B.J., Meyers, L. (2020). Riesgo de transporte de la enfermedad por coronavirus desde Wuhan a otras ciudades de China. *Enfermedades infecciosas emergentes*, 26(5), 1049-1052. <https://dx.doi.org/10.3201/eid2605.200146>
- Enoki-Miñano, E., & Ruiz-Barrueto, M. (2020). Danger of major outbreaks of COVID-19 in the Peruvian prison population. *Revista Española de Sanidad*

- Penitenciaria, 22(2), 91-92. Epub 20 de julio de 2020. <https://dx.doi.org/10.18176/resp.00016>
- Gonzales-Castillo, Jorge R., Varona-Castillo, Luis, Domínguez-Morante, Moisés G., & Ocaña-Gutierrez, Víctor R. (2020). Pandemia de la covid-19 y las Políticas de Salud Pública en el Perú: marzo-mayo 2020. *Revista de Salud Pública*, 22(2), e387373. Epub June 24, 2020. <https://dx.doi.org/10.15446/rsap.v22n2.87373>
- González-Jaramillo, V., González-Jaramillo, N., Gómez-Restrepo, C., Franco, O., Palacio-Acosta, C., & Gómez-López, A. (2020). Proyecciones de impacto de la pandemia COVID-19 en la población colombiana, según medidas de mitigación. Datos preliminares de modelos epidemiológicos para el periodo del 18 de marzo al 18 de abril de 2020. *Revista de Salud Pública*, 22(2), 1-6. doi: <https://doi.org/10.15446/rsap.v22n2.85789>
- Hamidah N., Herlina J., Evi R., Ismail H. (2020) Model of Spread of Infectious Diseases. *Systematic Reviews in Pharmacy*, 11(2), 685-689. doi: <http://dx.doi.org/10.5530/srp.2020.2.99>
- Kaxiras, E., Neofotistos, G., & Angelaki, E. (2020). The first 100 days: Modeling the evolution of the COVID-19 pandemic. *Chaos, Solitons and Fractals*, 138. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2020.110114> 3
- Li R., Xuyu C., Ying W., Wenwen W., Ling Z., Xiaodong T. (2019). Risk Factors of Healthcare Workers With Coronavirus Disease 2019: A Retrospective Cohort Study in a Designated Hospital of Wuhan in China, *Clinical Infectious Diseases*, ciaa287, <https://doi.org/10.1093/cid/ciaa287>
- Lozano-Vargas, A. (2020). Impacto de la epidemia del Coronavirus (COVID-19) en la salud mental del personal de salud y en la población general de China. *Revista de Neuro-Psiquiatría*, 83(1), 51-56. <https://dx.doi.org/10.20453/rmp.v83i1.3687>
- Magno, L., Rossi, T. A., Mendonça-Lima, F.W., Santos, C. C., Campos, G. B., Marques, L., Pereira, M., Prado, N.M., & Dourado, I. (2020). Desafios e propostas para ampliação da testagem e diagnóstico para COVID-19 no Brasil. *Ciência & Saúde Coletiva*, 25(9), 3355-3364. Epub August 28, 2020. <https://doi.org/10.1590/1413-81232020259.17812020>
- Maguiña Vargas, Ciro. (2020). Reflexiones sobre el COVID-19, el Colegio Médico del Perú y la Salud Pública. *Acta Médica Peruana*, 37(1), 8-10. <https://dx.doi.org/10.35663/amp.2020.371.929>
- Manrique-Abril, Fred G., Agudelo-Calderon, Carlos A., González-Chordá, Víctor M., Gutiérrez-Lesmes, Oscar, Téllez-Piñerez, Cristian F., & Herrera-Amaya, Giomar. (2020). Modelo SIR de la pandemia de COVID-19 en Colombia. *Revista de Salud Pública*, 22(2), e185977. Epub April 07, 2020. <https://dx.doi.org/10.15446/rsap.v22.85977>

- Martins, C., Gomes, R., Zanetti, Muller, E. V., Borges, P., Coradassi, C. E., & Montiel, E. M. (2020). Predictive model for COVID-19 incidence in a medium-sized municipality in Brazil (Ponta Grossa, Paraná). *Texto & Contexto - Enfermagem*, 29, e20200154. Epub July 31, 2020. <https://doi.org/10.1590/1980-265x-tce-2020-0154>
- Organización Mundial de la Salud. (9 de julio de 2020). ¿Cómo se transmite el coronavirus que causa COVID-19?. <https://www.who.int/news-room/q-a-detail/q-a-how-is-covid-19-transmitted>
- Paiva H.M., Afonso R.J.M., de Oliveira I.L., Garcia G.F. (2020). A data-driven model to describe and forecast the dynamics of COVID-19 transmission. *PLoS ONE* 15(7): e0236386. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0236386>
- Pharaon, J. & Bauch, C. (2018). The influence of social behaviour on competition between virulent pathogen strains. *Journal of Theoretical Biology*, 455(1), 47-53. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2018.06.028>
- Pinasco, J. P. (2020). Las Simulaciones: Otras herramientas para entender una epidemia. *Revista De Educación Matemática*, 35(2), 35-50. Recuperado a partir de <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/REM/article/view/29728>
- Sánchez-Duque, J. A., Arce-Villalobos, L. R., & Rodríguez-Morales, A. J. (2020). *Enfermedad por Coronavirus 2019 (COVID-19) en América Latina: Papel de la atención primaria en la preparación y respuesta. Atención Primaria*. doi:10.1016/j.aprim.2020.04.001
- Santaella-Tenorio, Julián. (2020). SARS-CoV-2 diagnostic testing alternatives for Latin America. *Colombia Médica*, 51(2), e4272. Epub May 11, 2020. <https://dx.doi.org/10.25100/cm.v51i2.4272>
- Trujillo Sainz, J. (2020). Metodología para la organización de los Recursos Educativos Abiertos en la carrera de Educación Laboral-Informática. *Mendive. Revista de Educación*, 18(1), 102-115. Recuperado de <http://mendive.upr.edu.cu/index.php/MendiveUPR/article/view/1672>
- Viceconte, G., & Petrosillo, N. (2020). COVID-19 R0: Magic number or conundrum?. *Infectious disease reports*, 12(1), 8516. <https://doi.org/10.4081/idr.2020.8516>
- World Health Organization. (2020). Visible body: WHO Coronavirus Disease (COVID-19) Dashboard. Ginebra, SUI: WHO Health Emergency Dashboard. Recuperado de <https://covid19.who.int/>
- Zhao, S., Chen, H. (2020). Modeling the epidemic dynamics and control of COVID-19 outbreak in China. *Quant Biol* 8, 11–19. <https://doi.org/10.1007/s40484-020-0199-0>.