v. 3, n. 90, 2023

International Journal of Health Science

MODELO MATEMÁTICO SIRF PARA EPIDEMIAS Y PANDEMIAS

Geovanni Daniel Cherrez Escobar
Universidad Internacional SEK
Quito – Pichincha
https://orcid.org/0000-0003-1356-2849?lang=es

Ronald Darwin Velez Zambrano
Instituto Superior Tecnológico Juan Bautista Aguirre
Daule – Guayas
https://orcid.org/0000-0003-0176-7716

Dario Xavier Romero Santistevan
Instituto Superior Tecnológico Juan Bautista Aguirre
Daule – Guayas
https://orcid.org/0000-0002-5702-7496

José Antonio León Delgado
Instituto Superior Tecnológico Juan Bautista Aguirre
Daule – Guayas
https://orcid.org/0009-0004-8818-2618

Ana Patricia Cabrera Sanmartin
Universidad Tecnológica ECOTEC
Guayaquil – Guayas
https://orcid.org/0000-0003-4979-5169

Resumen: Los modelos matemáticos epidemiológicos son esenciales cuando se quiere predecir el avance de una enfermedad o pandemia para la ayuda a la toma de decisiones de salud pública en los cuales han demostrado la utilidad desde la creación del modelo SIR en 1928 hasta la última crisis de la Covid-19, pero ya en la actualidad este modelo no toma en cuenta una variable importante que ayuda para la toma de decisiones y en los datos estadísticos para su estudio. La variable fallecidos debe incluirse ya que toda pandemia o epidemia tiene su tasa de letalidad, además de otros factores como el socioeconómico y de salud que pueden influir en la tasa de contagio, recuperación y letalidad para ciertos sectores de vulnerabilidad que pueden afectar a estos índices de mayor o menor manera. El nuevo modelo SIRF desarrollado a partir del modelo SIR toma en cuenta los fallecidos y factores que pueden incidir en los índices que pueden afectar al final de un determinado tiempo de estudio. Con este nuevo modelo se pudo comprobar la veracidad del mismo con las pruebas realizadas además de ser comparados con valores reales obtenidos del Ministerio de Salud, como es el caso del sector de San Roque ubicado en la ciudad de Quito que tuvo un mejor aproximado a comparación del modelo tradicional y que no tenía la variable fallecidos. Por lo que este modelo puede servir para las enfermedades donde se pueda predecir su avance y tomar las acciones necesarias para un mejor control del mismo.

Palabras Claves: Covid-19, predicción, enfermedad, índices, contagio.

INTRODUCCION

Los modelos matemáticos epidemiológicos son herramientas importantes para analizar y predecir la propagación de enfermedades infecciosas como epidemia y pandemias, permitiendo a analistas y profesionales de la salud tomar decisiones informadas y desarrollar estrategias efectivas de control y prevención. Estos modelos emplean principios matemáticos y estadísticos para representar el avance de una enfermedad en la población y que han demostrado su utilidad en numerosos contextos a lo largo de la historia, desde la pandemia de la gripe española en 1918 hasta la crisis de la COVID-19 (Vidal Ledo y otros, 2020).

Los modelos matemáticos son representaciones simplificadas de la realidad que permiten explicar características importantes de los fenómenos que se están estudiando. Dentro de los cuales, estos modelos epidemiológicos se destacan como herramientas cruciales para analizar y comprender cómo se propagan y controlan las epidemias y pandemias. Además, permiten describir el avance de una enfermedad al considerar factores o indicadores que influyen en su propagación, lo que a su vez facilita la adopción de medidas apropiadas a medida que la enfermedad se desarrolla (Hernández ávila y otros, 2022).

Los modelos matemáticos para epidemias y pandemias desempeñan un papel fundamental en la toma de decisiones objetivas y eficaces para el control y la erradicación de enfermedades. A lo largo de la historia, varios de estos modelos han proporcionado información valiosa sobre pandemias anteriores y han contribuido al desarrollo de políticas públicas destinadas a prevenir complicaciones relacionadas con enfermedades, reducir la velocidad de propagación del virus y minimizar la aparición de casos graves que puedan sobrecargar los sistemas de salud (Casazola Cruz & Delgado Lopez, 2014).

Los modelos compartimentales dividen la población en compartimentos o grupos que representan diferentes estados epidemiológicos, como susceptibles, infectados, recuperados, expuestos (conocidos como modelos SIR, SEIR, SEIRS, SIS). Estos modelos son adecuados para enfermedades en las que la población puede clasificarse en categorías discretas y siguen patrones de transmisión específicos (Perez Hernandez & Fuentes Velásquez, 2021).0

El desarrollo y la aplicación de modelos matemáticos epidemiológicos se han vuelto aún más relevantes en el siglo XXI debido a la globalización y al desarrollo de tecnología, ya que la población sigue en aumento y los modelos deben ajustarse a la población para que sea más exacta y por ello es necesario que los modelos se ajustes a la población y a cómo va desarrollándose la enfermedad que han aumentado la susceptibilidad de las poblaciones a la propagación de enfermedades infecciosas además de las muertes y que en los modelos actuales no existen (Quintana Cruz, 2019).

Durante la pandemia ocasionada por la COVID-19 los modelos matemáticos fueron efectivos a nivel mundial de manera general para poblaciones grandes, pero para poblaciones pequeñas hubo algunos errores ya que estos modelos no tenían en cuenta los fallecidos como el SIS, SIR, SEIR, SEIRS, además de otros factores de la región como socioeconómico que dentro de este incluyen: vivienda, educación empleo. Otro factor es el sistema de salud regional donde no se tenían camas hospitalarias, asignación presupuestaria, personal médico que no abastecía a todas las personas en dicho momento. Todos estos factores hacían que los modelos tradicionales llegasen a tener ciertas fallas y porque no tomaban en cuenta a los fallecidos.

En los modelos matemáticos antes mencionados no cuentan con la variable fallecidos y a otros factores que influyen en los datos estadísticos para tener datos más reales para poblaciones pequeñas que inciden en los contagios; por ello se desarrollara a partir del modelo SIS, un modelo donde cuente también los fallecidos y los factores externos que influyen en la tasa de contagios y mortalidad, como son factores socioeconómicos y de salud.

MATERIALES Y METODOS

La investigación que se utiliza en este trabajo tiene un enfoque cuantitativo ya que se caracteriza por la recolección y el análisis de datos numéricos con el objetivo de examinar patrones, relaciones y tendencias en un contexto específico. Según Hernández (2018), la investigación cuantitativa es aquella en la que se recogen y analizan datos cuantitativos sobre variables, el objetivo principal de este tipo de investigación es el establecimiento de relaciones entre variables medidas con instrumentos confiables y válidos (Hernández Sampieri & Mendoza Torres, 2018, pág. 9).

En este caso se hace uso del modelo SIR, el cual consiste en recopilar datos sobre la propagación de una enfermedad infecciosa como la Covid-19 y ajustar las ecuaciones diferenciales del modelo para describir y predecir su comportamiento. Para ello, se utilizarían técnicas estadísticas y matemáticas para ajustar el modelo SIR a los datos recopilados y evaluar la calidad del ajuste. Se hace uso de un software de modelamiento matemático para analizar los resultados.

En esta investigación, se usó una investigación con alcance explicativo, esto se debe a que se involucra el uso de un modelo matemático de ecuaciones diferenciales para estudiar un fenómeno complejo, como es la propagación de la Covid-19. Para ello, se realizó en un inicio una investigación exploratoria, ya que se investigó en la literatura sobre el modelo SIR y como las variables involucradas en el modelo se relacionan para analizar la evolución de una pandemia en una población determinada (Roselli, Diego, 2020).

Para el desarrollo del presente proyecto se realiza se da inicio a partir del modelo SIR que toma en cuenta las variables: susceptibles, infectados y recuperados para aumentar la variable fallecidos y también otros factores que puede afectar el índice de contagios y de mortalidad para el nuevo modelo matemático para cualquier pandemia o epidemia.

Este modelo es uno de los más utilizados desde su creación en 1927, ya que en una población determinada determina tres grupos que sin susceptibles, infectados y recuperados con dos parámetros como que detalla la tasa de infección que va a depender que tan contagiosa puede llegar a ser el virus o la enfermedad y también β que es la tasa de recuperación el cual permite conocer la rapidez con la que la persona infectada puede recuperarse.

Este modelo al igual que los demás anteriormente mencionados trabaja con ecuaciones diferenciales lineales y con los parámetros α y β que son determinantes para conocer con precisión los infectados o recuperados al momento de predecir la pandemia o epidemia, en la cual la *Figura 1*, indica la representación del modelo SIR incluyendo los parámetros de contagio y recuperación.

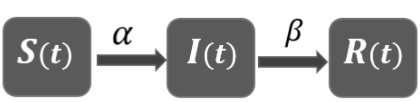

Figura 1. Modelo SIR en función del tiempo

Estos parámetros se encuentran en función del tiempo ya que son ecuaciones diferenciales que van a depender de los parámetros α y β y también de una población inicial e infectados si se tiene al momento de realizar el modelo.

$$\begin{cases} \dfrac{dS}{dt} = -\alpha S(t)\dfrac{I(t)}{N}, \\ \dfrac{dI}{dt} = \alpha S(t)\dfrac{I(t)}{N} - \beta I(t), \\ \dfrac{dR}{dt} = \beta I(t). \end{cases} \tag{1}$$

Donde N es la población, I es Infectados y R es recuperados. Para tener un ejemplo del modelo SIR dadas con ecuaciones diferenciales se puede tomar una población pequeña de $N = 2000$, $I = 15$, los parámetros $\alpha = 1$, $\beta = 0{,}3$ donde la enfermedad ya ha transcurrido un año

La evolución de la enfermedad como se muestra en la *Figura 2*, comienza con 15 persona contagiadas de un total de 2000 personas que es el total de la población y que mientras pasa los meses los infectados aumentan hasta llegar a un pico para después disminuir. Mientras que los recuperados también van aumentando los susceptibles disminuyen, y al final del año la suma de susceptibles, infectados y recuperados suman la población total.

Como se indicó en el modelo SIR, falta una variable más que son los fallecidos ya que toda enfermedad tiene una tasa de mortalidad y que los modelos matemáticos epidemiológicos convencionales no lo tienen, es decir, se debería dividir la tasa de recuperación en: tasa de recuperación y tasa de mortalidad ya que cualquier enfermedad epidémica llega con una tasa de mortalidad, por lo que se puede denotar en la *Figura 3.*

Como se indica en la *Figura 3,* el aumento de la variable ***F*** es acertada para acercarse más a los datos reales que puede tener una enfermedad y por consecuencia los factores que inciden en la tasa de recuperación y de mortalidad β_1 y β_2 respectivamente los cuales se detallan a continuación.

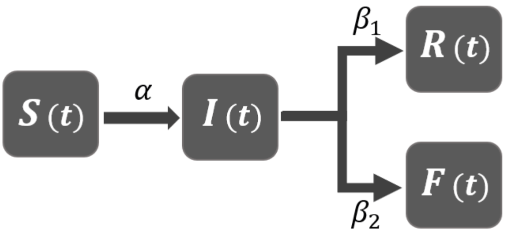

Figura 3. Modelo SIRF en función del tiempo

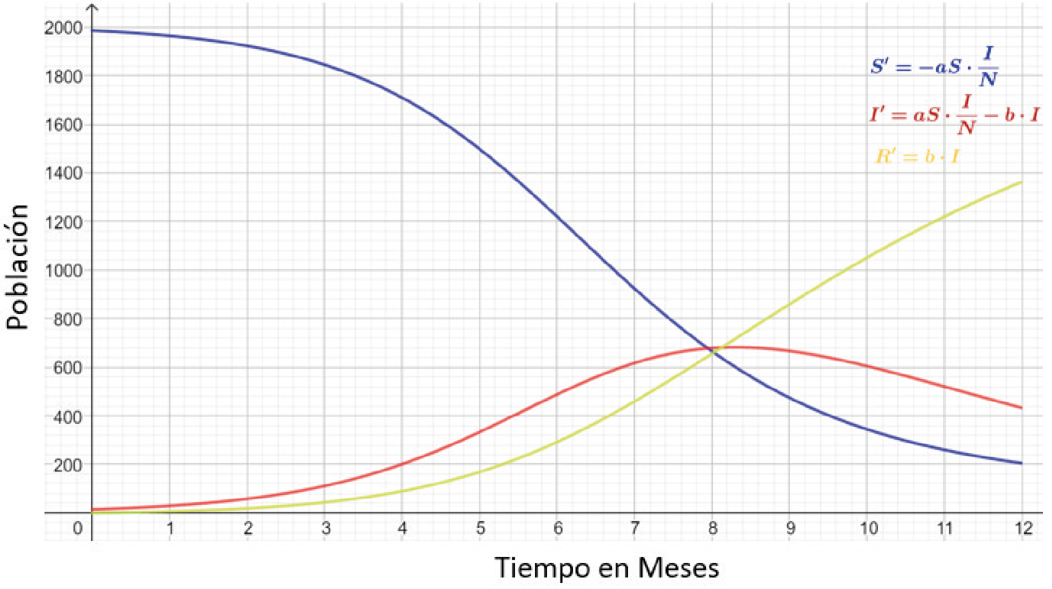

Figura 2. Evolución de Una enfermedad con el Modelo SIR en 12 Meses

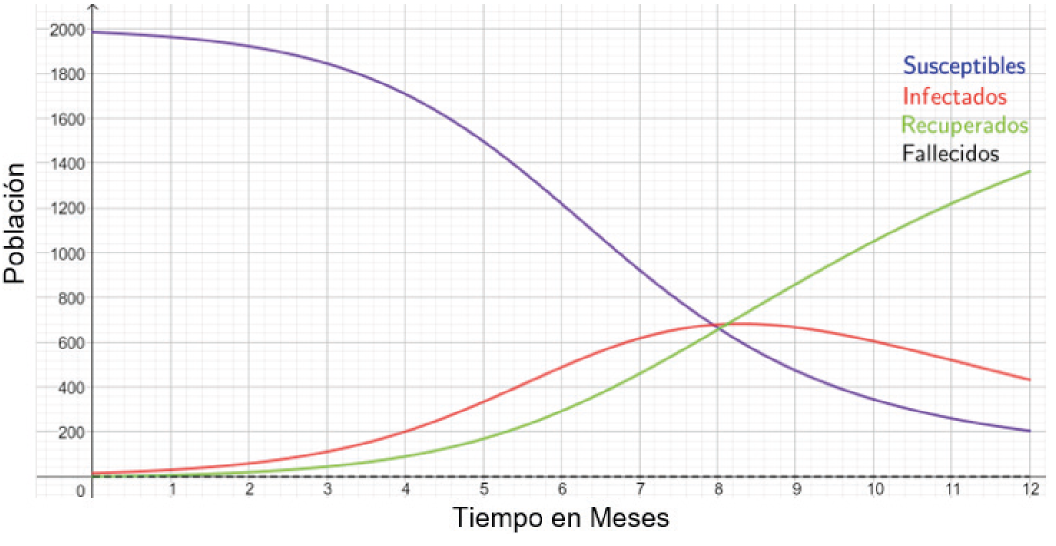

Figura 4.. Modelo SIR F con $\beta_2 = 0$

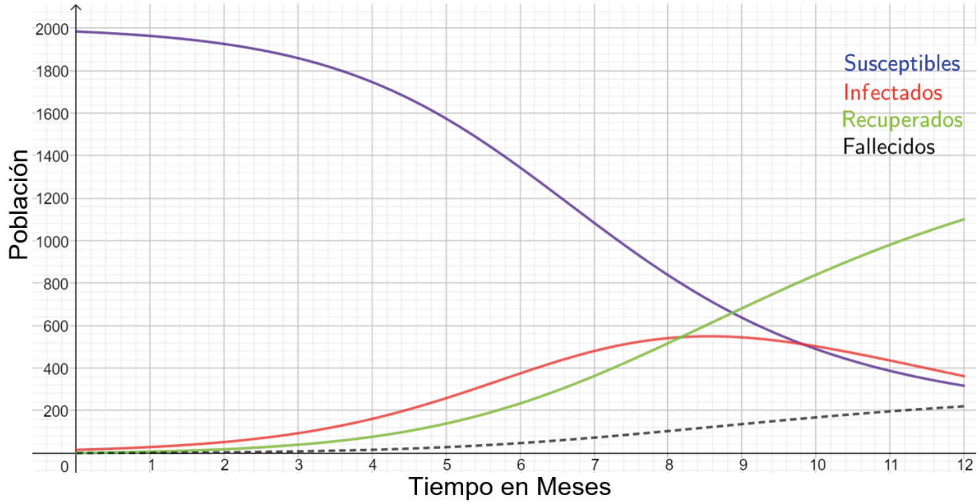

Figura 5. Modelo SIRF con $\beta_2 = 0.06$

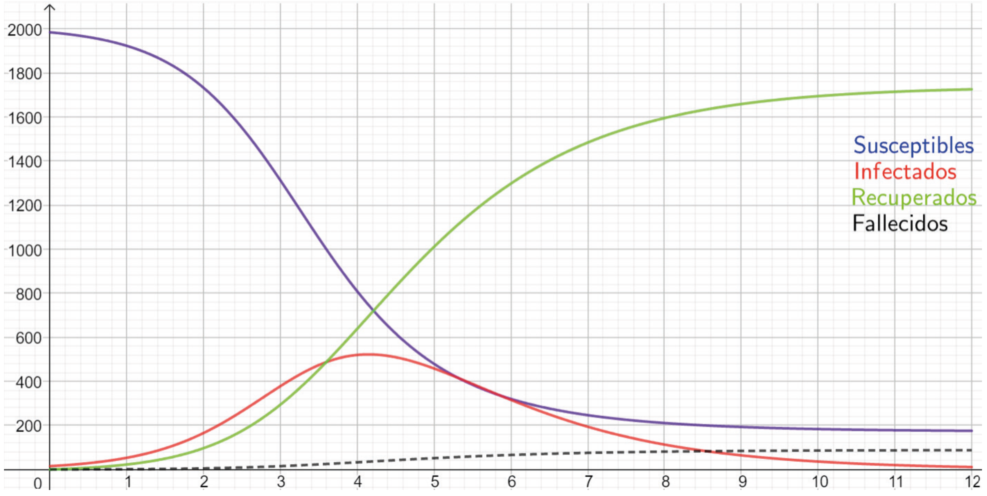

Figura 6. MODELO SIRF con los factores exógenos

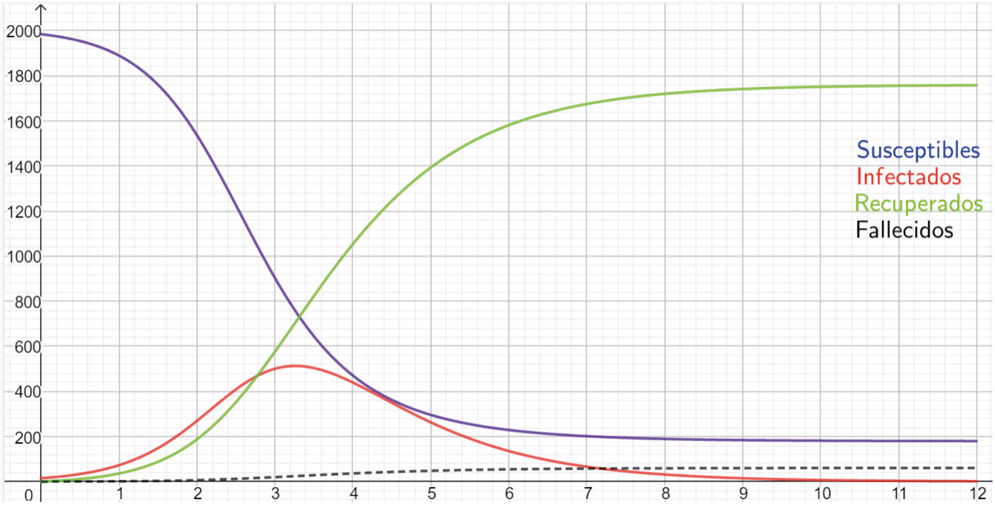

Figura 7. Modelo SIRF con índices dados por la OMS

Parámetro	Modelo SIR-F	Modelo Propuesto
α	Tasa de transmisión	Tasa de trasmisión
β_1	Tasa de Recuperación	Tasa de recuperación
β_2	Tasa de letalidad	Tasa de letalidad

Tabla 1. Parámetros del Modelo SIRF

Del modelo SIR se aumenta la variable ***F*** y se sustituye β por β_1 y β_2 que son la tasa de recuperación y de letalidad respectivamente añadiendo factores que pueden influir la recuperación o letalidad, por lo que a partir de las ecuaciones del modelo SIR se modifica para tener modelo SIRF.

$$\begin{cases} \frac{dS}{dt} = -\alpha S(t)\frac{I(t)}{N}, \\ \frac{dI}{dt} = \alpha S(t)\frac{I(t)}{N} - (\beta_1 + \beta_2)I(t), \\ \frac{dR}{dt} = \beta_1 I(t), \\ \frac{dF}{dt} = \beta_2 I(t). \end{cases} \tag{2}$$

Como se visualiza las ecuaciones del modelo SIRF es una modificación del modelo SIR que aumentan los factores que inciden en los contagios, recuperación y fallecimiento de las personas. Estos pueden mejorar o empeorar por diferentes factores como lo son los socioeconómicos que engloba la educación, vivienda, agua potable, alcantarillado, que para estos motivos puede aumentar o disminuir cualquiera de los índices.

Además de los factores socioeconómicos también puede influir los indicadores de salud para cada región que engloba las camas hospitalarias, personal médico y asignación presupuestaria y UCI, por parte del estado donde cada uno de estos puede influir la tasa de contagios recuperación y letalidad del modelo SIRF.

Todos estos indicadores de pueden alterar al modelo, por lo que en *Tabla II,* se muestran los índices a ser tomados en cuenta para el desarrollo que influyen en la tasa de infección, recuperación que se denota en las ecuaciones siguientes

Coeficiente	Denominación	Nomenclatura de la OPS
α_{21}	Agua Potable	Potable / Entubada
α_{22}	Educación	Años de escolaridad
α_{23}	Empleo	Seguridad laboral
α_{24}	Vivienda	Propia / Rentada / Otra
β_{i1}	Asignación presupuestaria	Presupuesto asignado por el Gobierno para salud
β_{i2}	Camas hospitalarias	Asignación de camas para enfermedad
β_{i3}	Personal médico	Doctores / Enfermeras
β_{i4}	UCI	Unidades de Cuidados Intensivos

Tabla 2. Indicadores que influyen en el modelo SIRF

$$\alpha = a_1\alpha_{11} + a_2\sum_{j=1}^{6}\alpha_{2j}. \tag{3}$$

$$\beta_1 = b_1\beta_{11} + b_2\sum_{j=3}^{6}\beta_{1j}. \tag{4}$$

$$\beta_2 = b_1\beta_{21} + b_2\sum_{j=3}^{6}\beta_{2j}. \tag{5}$$

Se define el valor de j=3,6 para que no tenga confusión con la definición de los cause conflicto con la definición los β previamente establecidos en la *Ecuación 4* y *Ecuación 5,* de β_{11} y β_{21} que son inherentes a cualquier tasa de enfermedad por ejemplo a la última pandemia. También hay que tomar en cuenta los índices en general dado por la Organización Mundial de Salud (OMS), que son inherentes de manera mundial pero los factores nombrados en la *Tabla 2*, pueden influir de manera local sabiendo que. Estos factores son $a_1 + a_2 = 1$; *y*, , $b_1 + b_2 = 1$, respectivamente para la tasa de contagios de recuperación y de letalidad donde los pesos de los índices pueden afectar de manera significativa al modelo (Sarkar & Sen, 2020).

Para comprender el objetivo del nuevo modelo matemático se toma en cuenta las tasas de contagio, letalidad y recuperación de la última pandemia que es la Covid-19. Los coeficientes del modelo se deben tener en cuenta los indicadores de la *Tabla 2*, en la cual todos los coeficientes deben estar en la misma dimensión. Los datos tomados para la evaluación del modelo SIRF es para Quito que detallan en la *Tabla 3*.

Coeficiente	Quito
α_{11}	2.65
β_{11}	0.97
β_{21}	0.022
α_{21}	0.064
α_{22}	0.059
α_{23}	0.035
α_{24}	0.079
β_{i1}	0.026
β_{i2}	0.0014
β_{i3}	0.0234
β_{i4}	0.000064

Tabla 3. Indicadores α, β_1 y β_2 para ser calculados

Donde los valores de α_{11}, β_{11} *y* β_{21} son los índices establecidos por la OMS para la Quito de la Covid-19 y utilizando las ecuaciones 3, 4, 5 se obtiene los siguientes valores:

$$\alpha = 2.65\, a_1 + 0.361\, a_2 \tag{6}$$

$$\beta_1 = 0.97\, b_1 + 0.050864 b_2 \tag{7}$$

$$\beta_2 = 0.033\, b_1 + 0.050864 b_2 \tag{8}$$

Después de las operaciones realizadas el valor de $\alpha = 2.65$, $\beta_1 = 0.97$ y $\beta_2 = 0.033$ se añade factores exógenos que pueden influir al momento de realizar los datos estadísticos. Los datos de a_1, a_2, b_1 y b_2 son datos que al sumar el resultado es 1, es decir si $a_1 = 60\%$ entonces $a_2 = 40\%$ igualmente para los datos de β_1 y β_2. Por lo que los valores que están alado de a_1, b_1 , son las tasas dadas por la OMS y los valores que están a lado de a_2, b_2, son datos propios de la región que pueden afectar solamente a la localidad ya que son factores socioeconómicos y de salud que inciden en las tasas de recuperación, contagios y letalidad de la enfermedad.

RESULTADOS

Para la validación del modelo SIRF el valor de $\beta_2 = 0$ para que no existan alteraciones como se detalla en la siguiente

$$\begin{cases} \dfrac{dS}{dt} = -\alpha S(t)\dfrac{I(t)}{N}, \\ \dfrac{dI}{dt} = \alpha S(t)\dfrac{I(t)}{N} - (\beta_1 + \beta_2)I(t) = \alpha S(t)\dfrac{I(t)}{N} - (\beta + 0)I(t) \\ \dfrac{dR}{dt} = \beta_1 I(t) = \beta\, I(t), \\ \dfrac{dF}{dt} = \beta_2 I(t) = 0\, I(t) = 0. \end{cases} \tag{9}$$

Por lo que a simple vista quedaría el modelo SIR para ser comprobado con los mismos datos de la *Figura 2,* pero se aumenta una línea entrecortada en la *Figura 4.*

Como se visualiza en la *Figura 4, el modelo SIRF es el mismo que en la Figura 2* ya que $\beta_2 = 0$ y por consiguiente no existe ninguna alteración para el modelo clásico ya que a partir del mismo se modifico al nuevo modelo SIRF. Para la veracidad del modelo SIRF el β_2 tendría un valor diferente a 0 para conocer los fallecidos de dicha enfermedad en un tiempo determinado como se muestra en la *Figura 5,* donde la suma de todas las variables al termino de los 12 meses da 2000, igual que la *Figura 2* pero esta se acerca más a la realidad ya que se aumenta la variable de fallecidos que toda enfermedad tiene.

Para la utilización de los valores socioeconómicos y de salud se toma en cuenta las *Ecuaciones 6, 7 y 8* para que exista un modelo más acertado para la región; en este caso se realizó para la ciudad de Quito tomando como ejemplo el cual los valores proporcionales para a_1, b_1 sean 75% ya que son datos proporcionados por la OMS a nivel regional de manera general y a_2, b_2, son el 25%, ya que solamente pueden influir en dicha cifra dependiendo el sector de la región para que los todos los valores dados por la OMS y los índices socioeconómicos y de salud sean tomados en cuenta y que pueden influir en los contagios, recuperación o letalidad de la localidad.

Cabe mencionar que como ejemplo los datos de contagio de recuperación y de letalidad son de la Covid-19 y los factores socioeconómicos y de salud son obtenidos hasta la fecha de realización de la presente investigación. A continuación, se muestra el desarrollo tomando en cuenta que a_1, b_1 y a_2, b_2 los porcentajes de 75% y 25% en *Figura 5.*

$$\begin{aligned} \alpha &= 2.65\ (0.75) + 0.361\ (0.25) && \Rightarrow \alpha = 2.08 \\ \beta_1 &= 0.97\ (0.75) + 0.050864(0.25) && \Rightarrow \beta_1 = 0.74 \\ \beta_2 &= 0.033\ (0.75) + 0.050864(0.25) && \Rightarrow \beta_2 = 0.0375 \end{aligned} \tag{9}$$

Con los valores dados se añade una población de recuperados , por consecuencia *I = 15, S = 1985, F = 0*

En la *Figura 6*, se realiza el modelo epidemiológico SIRF solamente con los datos brindados por la OMS. Que son $\alpha = 2.65$ $\beta_1 = 0.97$ $\beta_2 = 0.0333$ sin tomar en cuenta los factores socioeconómicos o índices de salud

Como se puede diferenciar la *Figura 6* con la *Figura 7* el porcentaje de las personas fallecidas son menos ya que los índices dados por la OMS no toman en cuenta los factores de la región como lo son los socioeconómicos y de salud que pueden afectar en mayor o menor número dependiendo la región como lo está afectando en la *Figura 7*.

DISCUSIÓN

El modelo SIRF ayuda a que el modelo tradicional tenga un mejor resultado a final del tiempo establecido ya que aumenta la variable fallecidos y que se realiza una comparación tomando en cuenta índices generales e índice con datos que afectan a las tasas de contagio, recuperación y letalidad

EVALUACIÓN	ÍNDICES	DATOS	VALORES MODELO SIRF
Índices normales de la OMS	$\alpha = 2.65$ $\beta_1 = 0.97$ $\beta_2 = 0.0333$	$N = 2000$ $S = 1985$ $I = 15$ $R = 0$ $F = 0$	$N = 2000$ $S = 180$ $I = 2$ $R = 1761$ $F = 57$
Índices de OMS con Factores Exógenos	$\alpha = 2.08$ $\beta_1 = 0.74$ $\beta_2 = 0.0375$	$N = 2000$ $S = 1985$ $I = 15$ $R = 0$ $F = 0$	$N = 2000$ $S = 176$ $I = 11$ $R = 1726$ $F = 87$

Tabla 4. Comparación de Modelo SIRF con índices dados por OMS y con factores exógenos

*El modelo esta realizado en un lapso de 12 meses

Como se muestra en la *Tabla 4,* la comparación de los datos con los valores obtenidos con factores dados por la OMS y con los valores exógenos establecidos en la *Ecuación 9*, resalta un aumento de fallecidos al tomar en cuenta una influencia del 25% de los factores exógenos y un 75% de influencia de los datos de la OMS.

Para poder comprobar la efectividad del modelo SIRF incluido los datos exógenos de la región se tomó en cuenta la pandemia de la Covid-19 con los índices dados para el desarrollo de las figuras y además una población igual a los ejemplos puestos con una población aproximada a los 2000 habitantes.

El sector de San Roque ubicado en la ciudad de Quito tiene una población de aproximadamente 2500 habitante y fue uno de los más afectados por la Covid-19 ya que es uno de los sectores que más incidencia y vulnerabilidad ocasionados por los factores socioeconómicos y de salud que influyeron en la tasa de contagio, recuperación y letalidad. Estos datos se detallan en la *Tabla 5.*

EVALUACIÓN	ÍNDICES	DATOS	VALORES MODELO SIRF
Índices normales de la OMS	$\alpha = 2.65$ $\beta_1 = 0.97$ $\beta_2 = 0.0333$	$N = 3599$ $S = 3594$ $I = 5$ $R = 0$ $F = 0$	$S = 288$ $I = 6$ $R = 3194$ $F = 111$
Índices de OMS con Factores Exógenos	$\alpha = 2.08$ $\beta_1 = 0.74$ $\beta_2 = 0.0375$	$N = 3599$ $S = 3594$ $I = 5$ $R = 0$ $F = 0$	$S = 329$ $I = 45$ $R = 3074$ $F = 151$
Datos de fallecidos infectados datos por el MSP Y Registro Civil		$N = 3599$ $S = 3594$ $I = 5$ $R = 0$ $F = 0$	$S = 350$ $I = 72$ $R = 3062$ $F = 115$

Tabla 5. Datos de mólelo SIRF con datos del Ministerio de Salud Pública

Realizando la comparación de la *Tabla 5*, tomando en cuenta los factores exógenos e índice tradicionales de contagio, recuperación y letalidad, además por los datos obtenidos del Ministerio de Salud Pública en promedio con el registro civil, el modelo SIRF se apega más a la realidad en comparación Y0con los índices tradicionales dados por la OMS

CONCLUSIONES

En el modelo desarrollado se destaca la importancia de considerar la tasa de letalidad en los modelos epidemiológicos, ya que esta variable proporciona información crucial sobre el impacto de una enfermedad en una población. Al incorporar los datos de fallecidos, el nuevo modelo SIRF demostró ser más preciso en sus predicciones en comparación con el modelo SIR tradicional, lo que sugiere que los modelos epidemiológicos deben evolucionar para reflejar con mayor precisión la gravedad de una epidemia o pandemia.

También, Los resultados del estudio muestran la importancia de considerar otros factores, como condiciones socioeconómicas y de salud, que pueden influir en la propagación, la recuperación y la letalidad de una enfermedad en diferentes grupos de la población.

Teniendo otro punto de vista también el modelo SIRF puede ser una herramienta útil para la toma de decisiones de salud pública, ya que permite estimar el avance y el impacto de una enfermedad o pandemia, así como evaluar posibles medidas de control y prevención.

REFERENCIAS

Bergero, P., & Guisoni, *N*. (2021). Modelo matemático de coinfección de dengue y COVID-19. *Revista Argentina de Salud Pública, 13*, 15-15.

Casazola Cruz, O. D., & Delgado Lopez, C. *R*. (2014). Comportamiento de enfermedades epidémicas a través del modelo matemático SIR: una revisión de la literatura. *Interfases*(14), 164-183. https://doi.org/ttps://doi.org/10.26439/interfases2021.n014.5400

Hernández ávila, J. A., Villafuerte Segura, *R*., Eduardo, V. V., & Ávila Pozos, *R*. (2022). Cómo coadyuvan los modelos matemáticos a entender y combatir a la COVID-19. *9*(18), 135-145. https://doi.org/https://doi.org/10.29057/icbi.v9i18.8161

Hernández Sampieri, *R*., & Mendoza Torres, C. P. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill Interamericana.

Perez Hernandez, J. A., & Fuentes Velásquez, J. A. (2021). Estimación de proyecciones para determinar el alcance de una endemia o epidemia en una población especifica utilizando modelos matemáticos de propagación de enfermedades infecciosas. *Revista de Investigación, 12*(12), 46-54.

Quintana Cruz, Y. (2019). Matemáticas y epidemiología: modelos y conclusiones.

Roselli, Diego. (2020). Epidemiología de las pandemias. *Medicina, 42*(2), 168-174. https://doi.org/https://doi.org/10.56050/01205498.1511

Vidal Ledo, M., Guinovart Díaz, *R*., Baldoquín Rodriguez, W., Valdivia Onega, *N*. C., & Morales Lezca, W. (1 de Junio de 2020). Modelos matemáticos para el control epidemiológico. *Educación Médica Superior, 34*(2). http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0864-21412020000200026&script=sci_arttext&tlng=en