

ESTABILIDAD DE UN MODELO SIS NO LINEAL Y SUS IMPLICACIONES EN POLÍTICAS PÚBLICAS DE SALUD

STABILITY OF A NONLINEAR SIS MODEL AND ITS IMPLICATIONS FOR PUBLIC HEALTH POLICIES

Artículo recibido el: 10/9/2025

Artículo aceptado el: 1/9/2026

Jhonny Javier Albitres-Infantes*

*Universidad Nacional del Santa, Chimbote,
Chimbote, Perú

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6217-7344>
jalbitres@unjfsc.edu.pe

Héctor Alexis Herrera-Vega**

**Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-7739-3012>
hherrerav@uni.edu.pe

Alex Fidel Torres-Calderon***

***Universidad Nacional José Faustino Sánchez
Carrión, Huacho, Perú

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3077-1159>
atorresc@unjfsc.edu.pe

Miguel Angel Castañeda-Samanamu***

***Universidad Nacional José Faustino Sánchez
Carrión, Huacho, Perú

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9883-5759>
mcastaneda@unjfsc.edu.pe

Jaime Augusto Pinto-Borja***

***Universidad Nacional José Faustino Sánchez
Carrión, Huacho, Perú

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4213-5291>
jpinto@unjfsc.edu.pe

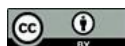
The authors declare that there is no conflict of interest

Resumen

El presente trabajo del modelo SIS no lineal desarrolla un análisis de estabilidad y un estudio cualitativo de un modelo epidemiológico con incidencia cuadrática de la forma $\beta S^2 I$, con la finalidad de describir de manera más realista los procesos de transmisión en escenarios de alta interacción social. La investigación se centra en la determinación de los puntos equilibrio y el análisis de su estabilidad local, aplicando la matriz jacobiana y el cálculo de los autovalores correspondientes en cada punto de equilibrio. Se determinó el valor del umbral llamado número básico de reproducción R_0 , que permite identificar entre la erradicación de la enfermedad

Abstract

This work on the nonlinear SIS model develops a stability analysis and a qualitative study of an epidemiological model with quadratic incidence of the form $\beta S^2 I$, with the aim of more realistically describing transmission processes in scenarios of high social interaction. The research focuses on determining the equilibrium points and analyzing their local stability, applying the Jacobian matrix and calculating the corresponding eigenvalues at each equilibrium point. The threshold value called the basic reproduction number R_0 was determined, which allows us to distinguish between disease eradication and endemic persistence.



y su persistencia endémica. Asimismo, se realizan algunas simulaciones numéricas para confirmar los resultados teóricos y como ende visualizar el impacto de la incidencia no lineal sobre la dinámica de la población. En conclusión, estos resultados obtenidos permiten fortalecer la comprensión de dinámicas epidémicas complejas y ofrecen una base teórica útil para diseñar estrategias de control sanitario más efectivas, así como para la formulación de políticas públicas orientadas a la protección del derecho a la salud.

Palabras clave: Modelo SIS no Lineal. Estabilidad. Número Básico de Reproducción. Epidemiología Matemática. Políticas Públicas de Salud.

Likewise, some numerical simulations are performed to confirm the theoretical results and thus visualize the impact of the nonlinear incidence on population dynamics.

In conclusion, these results strengthen the understanding of complex epidemic dynamics and offer a useful theoretical basis for designing more effective health control strategies, as well as for formulating public policies aimed at protecting the right to health.

Keywords: Nonlinear SIS Model. Stability. Basic Reproduction Number. Mathematical Epidemiology. Public Health Policies.

1 INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas los modelos matemáticos epidemiológicos basados en sistemas de ecuaciones diferenciales ordinarias constituyen herramienta crucial en el estudio de enfermedades, permitiendo describir la dinámica temporal de una enfermedad y evaluar estrategias de control (Hethcote, 2000). Unos de los modelos más aplicados con respecto a los modelos compartimentales se encuentra el SIS (Susceptible -Infectado - Susceptible), el cual es apropiado para describir enfermedades que no confieren inmunidad permanente tras la recuperación (Anderson y May, 1991).

Estos modelos permiten no solo representar el comportamiento dinámico de las epidemias, sino también anticipar escenarios, evaluar estrategias de control y contribuir a la toma de decisiones en políticas de salud pública.

Los modelos SIS clásicos emplean una tasa de incidencia lineal, donde la probabilidad de contagio depende directamente del número de susceptibles e infectados. La tasa de incidencia suele asumirse bilineal, proporcional al producto entre individuos susceptible e infectados. Un concepto importante en los modelos epidemiológicos matemáticos es el número básico de reproducción R_0 , definido como un número esperado de casos secundarios producidos por una persona infectada durante todo el periodo de infección en una población susceptible respectivamente (Diekmann, Heesterbeek y Robert, 2010). Bajo esta perspectiva, se ha comprobado que el número básico de reproducción R_0 , actúa como un parámetro umbral que determina la erradicación de la

enfermedad si $R_0 < 1$ o persistencia de una enfermedad si $R_0 > 1$ (Van den Driessche y Watmough, 2002).

Diversos autores han realizado estudios acerca de modelos SIS no lineales con sus respectivas variantes, incorporando términos de incidencia que reflejan saturación, dependencia de razón o comportamiento más complejos de los contactos entre individuos. Es así, Li, Song y Zhu (2008) realizaron un estudio sobre el modelo SIS con una incidencia no lineal, demostrando que tales formulaciones pueden inducir fenómenos dinámicos ricos como bifurcaciones y múltiples equilibrios. Por otro lado, tenemos a Zhu y Zhang (2024) analizaron un modelo SIS con una incidencia no lineal y control pulsado dependiente de razón, comprobando condiciones de estabilidad y existencia de soluciones periódicas en escenarios controlados. Asimismo, tenemos otros estudios donde se aplica las ecuaciones diferenciales estocásticas para capturar efectos de variabilidad y ruido en la transmisión no lineal, resaltando la importancia de considerar aspectos más realistas en la modelización (Builes, Coletti y Valencia, 2024).

El presente trabajo se enfoca en el análisis cualitativo de un modelo SIS no lineal, cuya tasa de incidencia adopta la forma $\beta S^2 I$, introduciendo una componente cuadrática que refleja de manera más adecuada situaciones donde la interacción entre susceptibles es más intensa o masiva, como podría ocurrir en agrupaciones sociales densas o eventos de alta transmisión. Mediante técnicas de linealización, el uso de la matriz Jacobiana y el análisis de autovalores en los puntos de equilibrio, se determinan las condiciones en las cuales la enfermedad se extingue o persiste de forma endémica, expresadas en términos del número básico de reproducción R_0 .

Por lo tanto, el estudio tendrá mucha importancia para la epidemiología matemática proporcionando un análisis cualitativo riguroso que puede ser de gran ayuda para otros modelos o para el sector salud pública interesados en comprender la estabilidad de dinámicas epidémicas complejas.

2 MODELO MATEMÁTICO EPIDEMIOLÓGICO SIS NO LINEAL COMO HERRAMIENTA DE GESTIÓN

Los modelos matemáticos epidemiológicos son herramientas de gran importancia para el entendimiento de los procesos de transmisión de enfermedades infecciosas y constituyen de gran fuente para el conocimiento científico y la toma de decisiones en la

salud pública. En particular, los modelos compartimentales permiten representar de manera simplificada, pero matemáticamente rigurosa, la evolución temporal de una enfermedad dentro de una población, aportando evidencia cuantitativa relevante que orienta a la toma de decisiones en contextos de alta incertidumbre sanitaria (Kermack & McKendrick, 1927; Anderson & May, 1991).

Dentro de este contexto, el modelo SIS no lineal, especialmente aquel que incorpora una tasa de incidencia cuadrática de la forma $\beta S^2 I$, es adecuado para describir enfermedades de transmisión recurrentes en la que no se desarrolla inmunidad permanente. Este modelo no lineal representa la manera más realista en situaciones donde la interacción entre susceptibles es más intensa o masiva, tales como concentraciones urbanas densas, espacios cerrados o eventos masivos, donde los supuestos de incidencia lineal pueden subestimar la dinámica real de transmisión (Liu et al., 1987; Korobeinikov, 2002).

Un elemento importante, para la gestión sanitaria es el número básico de reproducción R_0 el cual actúa como un umbral epidemiológico que resume el potencial de propagación de la enfermedad. Donde $R_0 < 1$ indica que la enfermedad tiende a desaparecer de forma natural es decir no logra mantenerse en la población, mientras que $R_0 > 1$ indica la presencia endémica del proceso infeccioso y que se sugiere la necesidad de implementar medidas de control adicionales (van den Driessche & Watmough, 2002; Diekmann et al., 2010). Desde el punto de vista aplicado, este indicador permite traducir los resultados del análisis matemático, no solo tienen valor teórico, si no que pueden traducirse en criterios prácticos para la adopción de cuarentenas, campaña de vacunación, regulación de eventos masivos y asignación más eficiente de recursos sanitarios disponibles.

Desde esta perspectiva, las instituciones internacionales de salud pública han reconocido explícitamente la importancia de los modelos epidemiológicos como instrumentos de apoyo para la toma de decisiones estatales, especialmente en situaciones de emergencia sanitaria, donde la anticipación de escenarios resulta decisiva para la protección de derechos fundamentales como la vida y la salud (World Health Organization, 2020). Por consiguiente, el modelo SIS no lineal constituye una herramienta importante que vincula el rigor matemático con la gestión en la salud pública, brindando interpretaciones sólidas que contribuyen al diseño de estrategias sanitarias

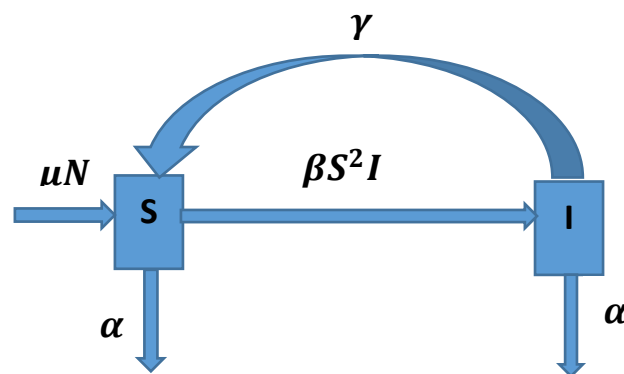
proporcionales, justificadas y basada en evidencia científica (Hethcote, 2000; Zhu & Zhang, 2024).

3 FORMULACIÓN DEL MODELO SIS NO LINEAL

En este modelo SIS consideramos una población total dividida en dos comportamientos: susceptibles(S) e infectados (I). Dicho modelo incorpora dinámica vital y tiene como entrada la tasa de nacimiento (μN) y la salida de la tasa de muerte natural, como se muestra a continuación en la siguiente figura.

Figura 1

Diagrama del modelo SIS con dinámica vital.



Está gobernado por un sistema de ecuaciones diferenciales y está representado por:

$$(J^*) \quad \begin{cases} \frac{dS}{dt} = \mu N - \beta S^2 I + \gamma I - \alpha S & \dots \\ \frac{dI}{dt} = \beta S^2 I - \gamma I - \alpha I & \dots \end{cases} \quad (1)(2)$$

donde:

S: número de individuos susceptibles

I: número de individuos infectados en el tiempo *t*.

μN : Tasa de nacimiento

β : Tasa de transmisión (número promedio de contactos adecuados para la infección de una persona por unidad de tiempo).

α : Tasa de muerte natural.

γ : Tasa de pérdida de inmunidad.

3.1 Interpretación de la derivada

La primera ecuación nos representa a $\frac{dS}{dt}$ que significa **Cambio promedio de la población de susceptibles (S) por unidad de tiempo (t)**. Donde μT representa la población susceptible que ingresa al modelo a la cual se le restan las personas que pasan a formar parte de la población de infectados ($\beta S^2 I$). Asimismo, se le suma la proporción de la población infectada que pasa a ser susceptible (γI) y se le resta la población susceptible que muere por causas diferentes a la infección (αS).

La segunda ecuación $\frac{dI}{dt}$ significa **Cambio promedio de la población de infectados (I) por unidad de tiempo (t)**. La expresión ($\beta S^2 I$) representa a los susceptibles que pasaron a ser infectados a la cual se le resta la expresión (γI), que representa la población que después de ser infectada pasa a ser nuevamente susceptible, y adicionalmente se le resta la población infectada que muere por causas diferentes a la infección αI .

4 ANÁLISIS CUALITATIVO DEL MODELO SIS

4.1 Positividad y acotamiento del modelo

Un aspecto muy importante en los modelos epidemiológicos es garantizar que las soluciones del sistema sean viables biológicamente, es decir, que las poblaciones involucradas permanezcan positivas y acotadas en el tiempo. Por consiguiente, el modelo SIS no lineal (J^*) propiedades fundamentales sobre la positividad y acotamiento.

En particular, se comprueba que el conjunto:

$$\Omega = \left\{ (S(t), I(t)) \in \mathbb{R}_+^2 \cup \{0\} : S(t) + I(t) \leq \frac{\Lambda}{\alpha}, t \geq 0 \right\} \quad (3)$$

Es una región positivamente invariante para el sistema (J^*), donde $\Lambda = \mu N$.

Por consiguiente, implica que, para condiciones iniciales no negativas, las soluciones del modelo (J^*) permanecen en el primer cuadrante y la población total se mantiene acotada superiormente por $\frac{\Lambda}{\alpha}$.

Para la obtención de los resultados, se parte de la ecuación del sistema (J^*) y se define la población total $N = S + I$, que representa la población total del modelo, al sumar las dos ecuaciones del sistema (J^*) se obtiene:

$$\frac{dS}{dt} + \frac{dI}{dt} = \Lambda - \alpha S - \alpha I \quad (4)$$

Realizando una serie de artificios, se llega a:

$$\begin{aligned} N(t) &\leq \frac{\Lambda}{\alpha} + [T(0) - \frac{\Lambda}{\alpha}]e^{-\alpha t} \\ N(t) &\leq \frac{\Lambda}{\alpha} \quad \text{cuando } t \rightarrow +\infty \end{aligned} \quad (5)$$

Esto significa que $N(t)$ converge asintóticamente hacia $\frac{\Lambda}{\alpha}$.

Por lo tanto, desde el punto de vista epidemiológico, esta afirmación o prueba nos asegura que el modelo describe un sistema cerrado y realista, en el cual la población no crece de manera no controlada ni adquiere valores biológicamente inconsistentes.

4.2 Puntos de equilibrio

los puntos críticos del sistema (J^*) se obtienen al igualar a cero cada ecuación del sistema, es decir

$$\begin{aligned} \Lambda - \beta S^2 I + \gamma I - \alpha S &= 0 & \dots \\ \beta S^2 I - \gamma I - \alpha I &= 0 & \dots \end{aligned} \quad (6)$$

$$\text{➤} \quad \text{Para } I = 0 \rightarrow S \neq \sqrt{\frac{\alpha + \gamma}{\beta}}$$

Se obtiene el equilibrio libre de infección

$$P_1^* = (S_0^*, I_0^*) = \left(\frac{\Lambda}{\alpha}, 0\right) \quad (7)$$

Para: $I \neq 0 \rightarrow S^2 = \frac{\alpha+\gamma}{\beta}$ o $S = \sqrt{\frac{\alpha+\gamma}{\beta}}$ obtenemos el punto de equilibrio endémico:

$$P_2^* = (S_1^*, I_1^*) = \left(\sqrt{\frac{\alpha+\gamma}{\beta}}, \frac{\Lambda}{\alpha} - \sqrt{\frac{\alpha+\gamma}{\beta}}\right) \quad (8)$$

El punto de equilibrio endémico existe siempre y cuando que la población infectada sea positiva ($I_1^* > 0$).

4.3 Análisis de estabilidad local

Debido a que el sistema de ecuaciones (J^*) es un sistema de ecuaciones no lineales, resulta conveniente aplicar el proceso de linealización con el propósito de facilitar su análisis cualitativo. Para ello, se procederá al cálculo de la matriz Jacobiana asociada al sistema

$$J(S_0^*, I_0^*) = \begin{bmatrix} -2\beta SI - \alpha & -\beta S^2 + \gamma \\ 2\beta SI & \beta S^2 - (\gamma + \alpha) \end{bmatrix} \quad (9)$$

4.3.1 Equilibrio libre de infección

Este punto de equilibrio resulta clave para comprender el comportamiento del sistema a lo largo del tiempo.

$$J_1\left(\frac{\Lambda}{\alpha}, 0\right) = \begin{bmatrix} -\alpha & -\beta S^2 + \gamma \\ 0 & \beta S^2 - (\gamma + \alpha) \end{bmatrix} \quad (10)$$

donde:

$$\det(J_1 - \lambda I) = 0$$

Se obtiene los valores propios

$$\lambda_1 = -\alpha, \quad \lambda_2 = \beta S^2 - (\gamma + \alpha) \quad (11)$$

Dado que $\alpha > 0$, resultando que $\lambda_1 < 0$, ahora analizaremos λ_2

Caso 1:

$$\lambda_2 = \beta S^2 - (\gamma + \alpha) > 0 \rightarrow \underbrace{\frac{\beta S^2}{\gamma + \alpha}}_{R_0} > 1 \quad (12)$$

Si $\lambda_1 < 0$ y $\lambda_2 > 0$ entonces P_1^* es un punto inestable.

Caso 2:

$$\lambda_2 = \beta S^2 - (\gamma + \alpha) < 0 \rightarrow \underbrace{\frac{\beta S^2}{\gamma + \alpha}}_{R_0} < 1 \quad (13)$$

Entonces P_1^* es un punto estable.

En consecuencia, se define el número básico de reproducción como:

$$R_0 = \frac{\beta S^2}{\gamma + \alpha} \quad (14)$$

Si $R_0 < 1$, ambos valores propios son negativos y el equilibrio libre de infección es localmente asintóticamente estable. En cambio, si $R_0 > 1$, el equilibrio resulta inestable.

4.3.2 Equilibrio endémico

La matriz jacobiana evaluada en el punto endémico P_2^* toma la forma siguiente:

$$J_2(S^*, I^*) = \begin{bmatrix} -2\beta SI - \alpha & -\beta S^2 + \gamma \\ 2\beta SI & 0 \end{bmatrix} \quad (15)$$

Y los valores propios de la matriz J_2 satisfacen:

$$\begin{aligned}\lambda_1 + \lambda_2 &= -2\beta SI - \alpha < 0, \\ \lambda_1 \cdot \lambda_2 &= (\beta S^2 - \gamma)(2\beta SI) = 2\alpha\beta SI > 0\end{aligned}\quad (16)$$

Esto implica que λ_1 y λ_2 tienen partes reales negativas.

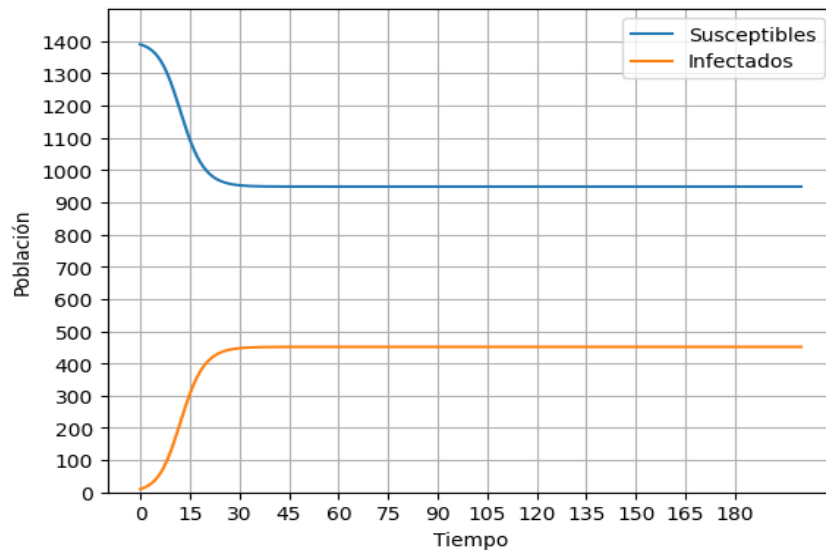
Por consiguiente,

$$\underbrace{\frac{\beta S^2}{\gamma + \alpha}}_{R_0} > 1 \quad (17)$$

Por lo tanto, se concluye que el punto P_2^* es localmente asintóticamente estable.

5 SIMULACIÓN NUMÉRICA

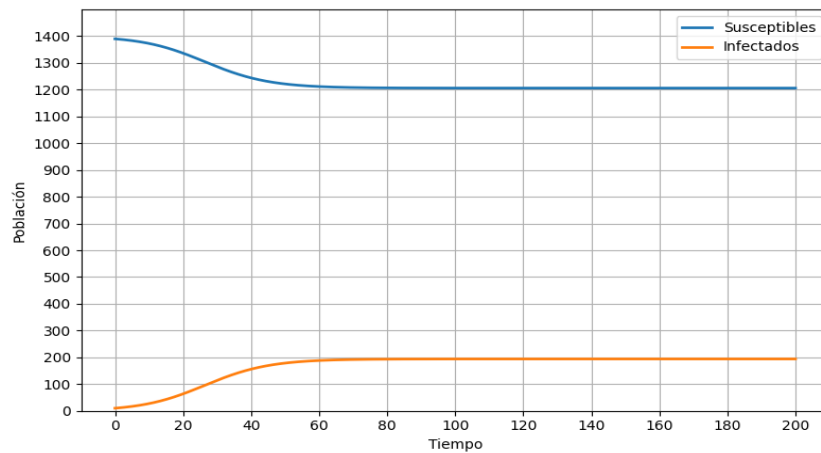
Con la finalidad de observar el comportamiento dinámico del modelo SIS no lineal propuesto, se realizaron simulaciones numéricas considerando una población total de $N = 1400$, con una población inicial de $S(0) = 1390$ individuos susceptibles e $I(0) = 10$ individuos infectados. Los valores de los parámetros fueron seleccionados estratégicamente para evidenciar de manera clara los distintos regímenes dinámicos del sistema, en función del número básico de reproducción R_0 .

Figura 2*Modelo SIS no lineal con dinámica vital*

Nota: $S(0) = 1390$, $I(0) = 10$, $\alpha = 0.02$, $\gamma = 0.25$, $\beta = 3 \times 10^{-7}$, $\mu = 0.02$

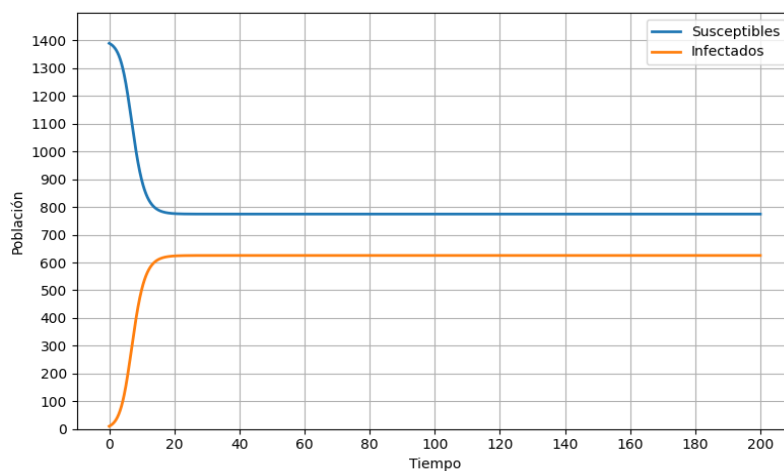
En la figura 2 se muestra la simulación de un modelo SIS no lineal con dinámica vital en el cual se observa la dinámica de dos poblaciones epidemiológicas (S) y (I) como consecuencia podemos afirmar que la población de susceptibles decrece rápidamente debido a una fracción de infectada, lo que explica el rápido aumento de la población infectada seguido de una estabilización, resultando del balance entre transmisión, recuperación y mortalidad natural.

La población susceptible experimenta una disminución inicial leve y posteriormente se estabiliza, evidenciando la convergencia del sistema hacia un régimen dinámico estable regulado por la incidencia no lineal y la reposición demográfica.

Figura 3*Modelo SIS no lineal bajo la condición $R_0 < 1$* 

Nota: $S(0) = 1390, I(0) = 10, \alpha = 0.02, \gamma = 0.30, \beta = 2.2 \times 10^{-7}, \mu = 0.02$

En la figura 3 se puede observar la dinámica de dos poblaciones epidemiológicas (S) y (I) como consecuencia podemos afirmar que cuando el número básico de reproducción es menor que la unidad, la población susceptible decrece levemente debido a los infectados de manera transitoria y decrece progresivamente hasta extinguirse. Estos resultados concuerdan con el análisis del jacobiano, el cual garantiza estabilidad local del equilibrio libre de enfermedad bajo la condición que el número básico de reproducción R_0 sea menor que la unidad.

Figura 4*Modelo SIS no lineal bajo la condición $R_0 > 1$* 

Nota: $S(0) = 1390, I(0) = 10, \alpha = 0.02, \gamma = 0.25, \beta = 4.5 \times 10^{-7}, \mu = 0.02$

En la figura 4 se observa la dinámica de dos poblaciones epidemiológicas (S) y (I) como consecuencia podemos afirmar que la población de susceptibles decrece y alcanza un estacionario menor al total de la población, mientras que la población infectada crece inicialmente y se estabiliza en un nivel positivo, reflejando la aparición de un equilibrio endémico, esto debido a la coexistencia persistente de ambas poblaciones. Los resultados concuerdan con el análisis del jacobiano, que confirma la estabilidad local del equilibrio endémico cuando el número básico de reproducción R_0 sea mayor que la unidad.

6 DISCUSIÓN

Los resultados reafirman que la inmersión de una tasa de incidencia no lineal modifica enormemente la dinámica del modelo SIS en comparación con las formulaciones clásicas. En específico, la dependencia cuadrática de la población susceptible intensifica los procesos de transmisión en escenarios de alta interacción social, lo que permite capturar comportamientos epidemiológicos más realistas.

Este hallazgo es coherente con estudios previos que destacan la capacidad de las incidencias no lineales para generar dinámicas más complejas y transiciones más marcadas entre regímenes epidemiológicos (Li et al., 2008).

Además, nuestros resultados confirman que el número básico de reproducción R_0 desempeña un papel crucial como parámetro umbral en la dinámica del modelo SIS no lineal analizado. Nuestros resultados son consistentes con los resultados clásicos analizados por Kermack y McKendrick (1927) y posteriormente sistematizados por Anderson y May (1991), así como con estudios más recientes sobre la estabilidad de modelos SIS con incidencia estándar (Korobeinikov, 2002). Sin embargo, la presente investigación muestra que, aunque el umbral epidemiológico se conserva, la dinámica transitoria del sistema se ve claramente influenciada por la incidencia cuadrática, lo que afecta la velocidad de convergencia hacia los equilibrios epidemiológicos.

Por otro lado, otros resultados indicaron que las incidencias no lineales pueden modificar la velocidad de la convergencia hacia el equilibrio endémico sin alterar la existencia del umbral epidemiológico (Lui et al., 1987). En nuestro estudio, la formulación βS^2 intensifica el efecto de la población susceptible en la transmisión, lo que resulta relevante en escenarios de alta interacción social. Este hallazgo resulta relevante para la

gestión sanitaria y la regulación de eventos masivos, donde pequeñas variaciones en el comportamiento social pueden desencadenar brotes significativos.

Por lo tanto, desde una perspectiva jurídica, los resultados refuerzan el valor del número básico de reproducción como criterio técnico fundamental para la aplicación del principio de prevención en salud pública. En este sentido, el modelo epidemiológico puede servir de fundamento para la adopción de medidas proporcionales orientadas a la protección del derecho a la salud, contribuyendo a procesos de toma de decisiones públicas más transparente y basada en evidencia científica, fortaleciendo la legitimidad de las intervenciones públicas y la confianza social en la gestión de emergencias sanitarias (Gostin, 2008; Gostin y Wiley, 2020).

7 CONCLUSIONES

El estudio presentó un análisis cualitativo de un modelo epidemiológico SIS con incidencia cuadrática no lineal con dinámica vital, determinándose explícitamente sus puntos de equilibrio y sus condiciones de estabilidad local. Los resultados confirmaron que el número básico de reproducción R_0 actúa como un parámetro umbral fundamental para identificar la persistencia o extinción de la enfermedad. La incorporación de una incidencia no lineal permite identificar dinámicas de transmisión más realistas en contextos de alta interacción social, donde pequeñas variaciones pueden amplificar la dinámica de transmisión en el comportamiento poblacional. Las simulaciones numéricas corroboraron los resultados teóricos o analíticos, evidenciando la convergencia hacia el equilibrio libre de infección cuando el número básico de reproducción es menor que la unidad y la aparición de un equilibrio endémico estable cuando el número básico de reproducción es mayor que la unidad. En este sentido, el estudio contribuye a una base matemática sólida para el estudio de enfermedades recurrentes y también para la gestión sanitaria y la formulación de políticas públicas, fortaleciendo el vínculo entre la ciencia, derecho y salud pública. Futuras investigaciones podrían extender el modelo incorporando controles óptimos, dinámica estocástica o datos empíricos, ampliando su aplicabilidad práctica.

REFERENCIAS

- Anderson, R. M., & May, R. M. (1991). *Infectious diseases of humans: Dynamics and control*. Oxford University Press.
- Builes, J. S., Coletti, C. F., & Valencia, L. A. (2024). *A stochastic differential equation approach for an SIS model with non-linear incidence rate* (Preprint). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2404.13469>
- Diekmann, O., Heesterbeek, J. A. P., & Roberts, M. G. (2010). The construction of next-generation matrices for compartmental epidemic models. *Journal of the Royal Society Interface*, 7(47), 873–885. <https://doi.org/10.1098/rsif.2009.0386>
- Gostin, L. O. (2008). Public health law: Power, duty, restraint. *Journal of Law, Medicine & Ethics*, 36(4), 676–682. <https://doi.org/10.1111/j.1748-720X.2008.00306.x>
- Gostin, L. O., & Wiley, L. F. (2020). Governmental public health powers during the COVID-19 pandemic: Stay-at-home orders, business closures, and travel restrictions. *JAMA*, 323(21), 2137–2138. <https://doi.org/10.1001/jama.2020.5460>
- Hethcote, H. W. (2000). The mathematics of infectious diseases. *SIAM Review*, 42(4), 599–653. <https://doi.org/10.1137/S0036144500371907>
- Kermack, W. O., & McKendrick, A. G. (1927). *A contribution to the mathematical theory of epidemics*. Proceedings of the Royal Society of London. Series A, 115(772), 700–721. <https://doi.org/10.1098/rspa.1927.0118>
- Korobeinikov, A. (2002). *Global properties of basic virus dynamics models*. Bulletin of Mathematical Biology, 64(5), 879–883. <https://doi.org/10.1006/bulm.2002.0302>
- Li, J., Song, X., & Zhu, H. (2008). Global stability of an epidemic model with nonlinear incidence. *Applied Mathematics and Computation*, 198(1), 263–272. <https://doi.org/10.1016/j.amc.2007.08.049>
- Liu, W. M., Hethcote, H. W., & Levin, S. A. (1987). *Dynamical behavior of epidemiological models with nonlinear incidence rates*. Journal of Mathematical Biology, 25(4), 359–380. <https://doi.org/10.1007/BF00277162>
- van den Driessche, P., & Watmough, J. (2002). Reproduction numbers and sub-threshold endemic equilibria for compartmental models of disease transmission. *Mathematical Biosciences*, 180, 29–48. [https://doi.org/10.1016/S0025-5564\(02\)00108-6](https://doi.org/10.1016/S0025-5564(02)00108-6)
- World Health Organization. (2020). *Managing epidemics: Key facts about major deadly diseases*. World Health Organization. <https://www.who.int/publications/i/item/WHO-WHE-IHM-2018.12>
- Zhu, L., & Zhang, T. (2024). Dynamics of an SIS epidemic model with nonlinear incidence and pulse control. *Chaos, Solitons & Fractals*, 179, 114511. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2024.114511>

Contribución de los autores

Todos los autores contribuyeron por igual al desarrollo de este artículo.

Disponibilidad de datos

Todos los conjuntos de datos relevantes para los resultados de este estudio están disponibles en su totalidad en el artículo.

Cómo citar este artículo (APA)

Albitres-Infantes, J. J., Herrera-Vega, H. A., Torres-Calderon, A. F., Castañeda-Samanamu, M. A., & Pinto-Borja, J. A. ESTABILIDAD DE UN MODELO SIS NO LINEAL Y SUS IMPLICACIONES EN POLÍTICAS PÚBLICAS DE SALUD. Veredas Do Direito, e234603. <https://doi.org/10.18623/rvd.v23.n4.4603>