

Implementación de un Modelo epidemiológico tipo SEIR para covid-19 en La Paz, Baja California Sur.

Cavieses-Núñez Ricardo¹

¹Universidad Autónoma de Baja California Sur

Departamento de Ingeniería en Pesquerías

cavieses@uabcs.mx

Introducción

Actualmente a la fecha del 4 de abril de 2020 en México se han confirmado al rededor de 1890 casos de COVID-19, enfermedad que ha cobrado la vida de 79 personas. Mundialmente se ha observado una legalidad del virus en un 5.4% (Secretaría de Salud, 2020). En la ciudad de La Paz en Baja California Sur, se tienen 6 casos activos y 2 defunciones (Secretaría de Salud de Baja California Sur). Debido a la gran capacidad de contagio de esta enfermedad se corre el riesgo de un colapso de los servicios médicos, por lo que se han tomado medidas de distanciamiento social, el cual busca disminuir el contacto entre personas, de este modo evitando el contagio. El distanciamiento social tiene diferentes niveles, que van desde ninguna, hasta el completo aislamiento de la sociedad en sus hogares, poder estimar el ritmo de contagio para la planificación de la logística medica es fundamental, por lo que se han desarrollado diversos modelos matemáticos que describen los procesos epidemilógicos. Uno de ellos es el modelo Suceptible-Expuesto-Infectado-Recuperado (Montesinos-López, & Hernández-Suárez, 2007), el cual consiste en un sistema de ecuaciones diferenciales. Este modelo siendo uno de los más simples ya que no considera diversos factores es el más empleado para obtener una primera estimación del potencial de casos de infección. El objetivo de este trabajo es dar un primer número de los posibles casos que se den en la ciudad ante diferentes niveles de distanciamiento social, estimando la proporción de personas que requerirán ser hospitalizados, o deberán ser ingresados a la unidad de cuidados intensivos.

Método

El modelo SEIR es un sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias no lineales, el cual se utiliza para simular el contagio de una población finita en un tiempo t , se plantean cuatro categorías de la población: Susceptibles $S(t)$, Expuestos $E(t)$, Infectados $I(t)$, Recuperados $R(t)$ (Montesinos-López & Hernández-Suárez 2007).

Para el modelo se requieren tres parámetros que se estiman con datos reales, los parámetros que se utilizaron para este modelo fueron obtenidos de referencias bibliográficas.

El sistema de ecuaciones diferenciales es:

$$\begin{aligned}\dot{S} &= -\rho\beta SI \\ \dot{E} &= \rho\beta SI - \alpha E \\ \dot{I} &= \alpha E - \gamma I \\ \dot{R} &= \gamma I \\ N &= S + E + I + R\end{aligned}$$

Los parámetros son:

β : es la probabilidad de que un susceptible se infecte.

γ : es la tasa de recuperación

α : es el tiempo promedio de incubación

ρ : nivel de distanciamiento social

Estos parámetros definen R_0 , que es la tasa básica de reproducción.

$$R_0 = \frac{\beta}{\gamma}$$

El modelo considerando las medidas de restricción al movimiento de la gente, donde se cancelan aglomeraciones y se busca un distanciamiento social, para ello se introduce un parámetro ρ , el cual varía de 0 a 1, donde 0 es un completo aislamiento de la persona y 1 es una interacción aleatoria del sujeto, en este caso se prueba el caso de cero medidas restrictivas $\rho=1$, luego medidas de distanciamiento social $\rho=0.8$, y medidas de restricción al movimiento a solo movimiento muy necesario $\rho=0.5$, las condiciones iniciales que se estimaron son:

$N=300\,000$ habitantes (es una estimación ya que según INEGI para el 2015 se tenían 244,219 habitantes)

$\beta=\{1.7, 4\}$ (Hellewell et al. 2020)

$\alpha=0.2$ (Donnelly CA et al. 2003)

$\gamma=0.5$ (Hubbs 2020)

casos iniciales = 8

$t=200$ días

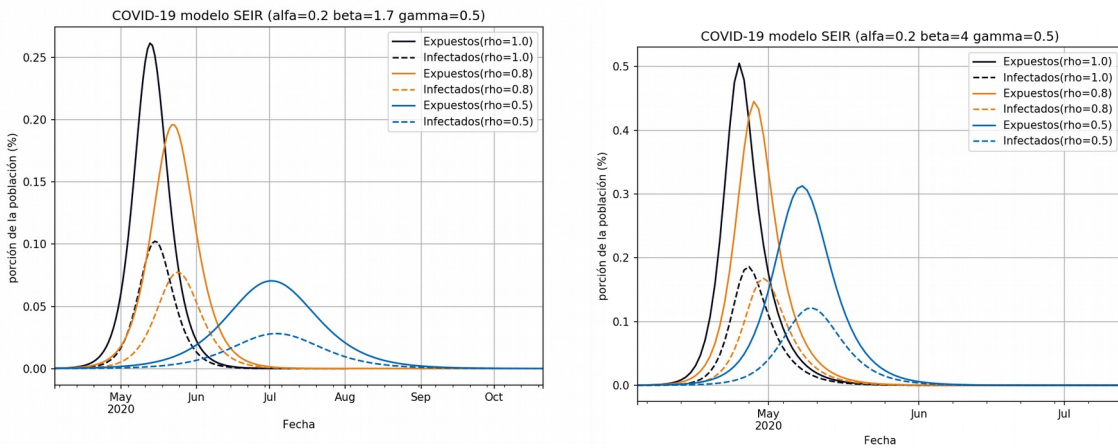
$t_0= 4/04/2020$

$\rho=\{1, 0.8, 0.5\}$

Los parámetros corresponden a los valores proporcionados por la OMS, se considera como valor inicial a 8 personas infectadas (reportadas por la secretaría estatal de salud al día 4 de abril a las 14:00 horas).

Para realizar el experimento se utilizó un entorno de Python 3.0, el código puede ser revisado en este [link1](#) o [link2](#)

Resultados



a) b)
 Figura 1. Estimación de proporción de población infectada comparando las tres medidas restrictivas a) $\beta=1.64$ y b) $\beta=4$.

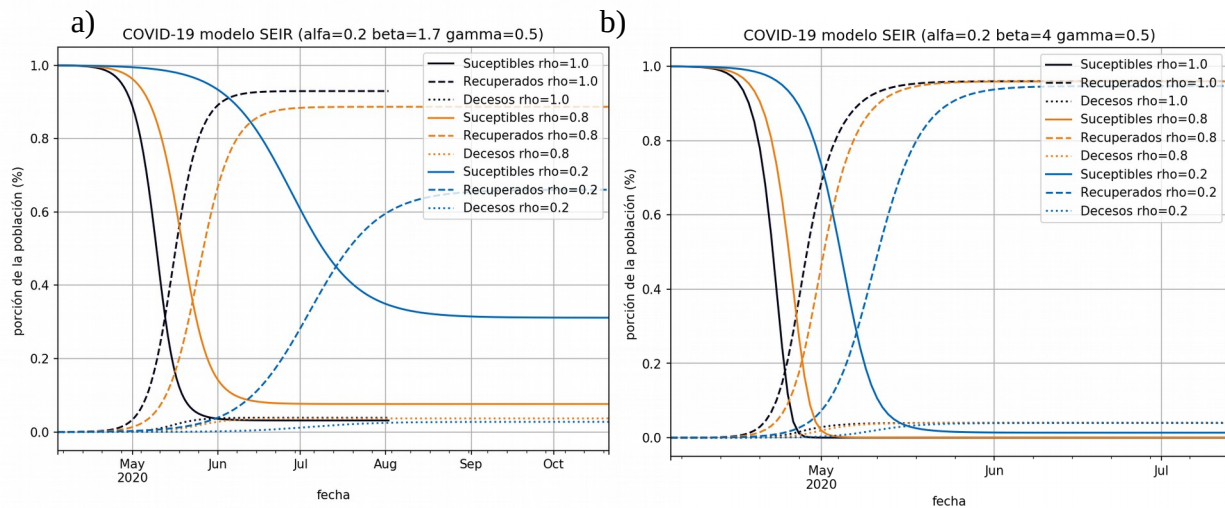


Figura 2, la comparación de los tres niveles de distanciamiento social con valores de $\rho = \{1, 0.8, 0.5\}$ y diferentes valores de $\beta = \{1.64, 4\}$

Utilizando las proporciones de personas que han requerido ser hospitalizadas (14%) o han entrado a la Unidad de Cuidados Intensivos (5%; UCI) se estima la cantidad de personas que van a requerir de estos cuidados, para cada una de las curvas según el ρ empleado y se calculó su numero máximo.

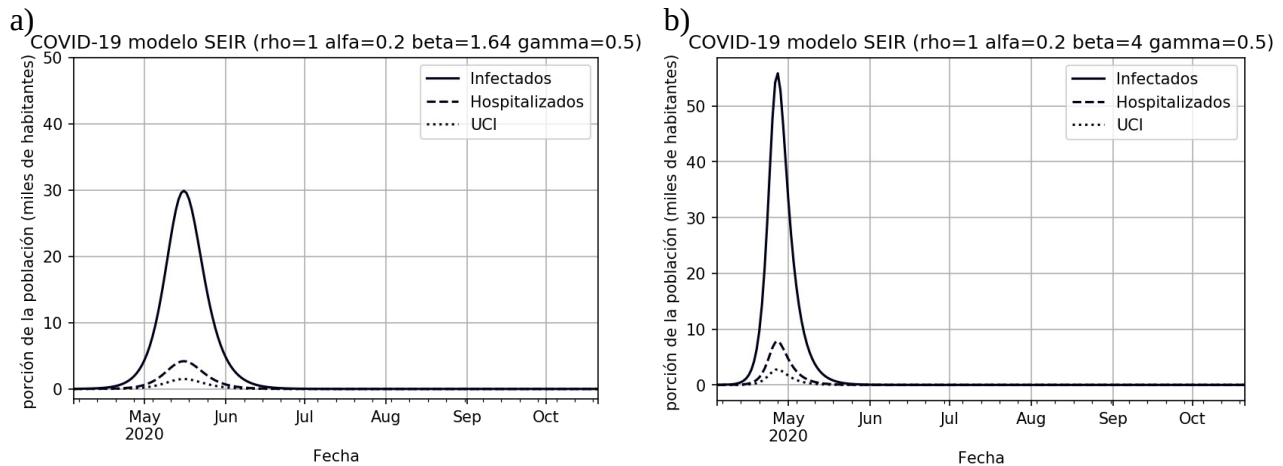


Figura 3. Curva de posible numero de habitantes infectados, hospitalizados y que requieran UCI para un valor de $\rho=1$, máximo de habitantes que requieran UCI($\beta=1.64$) = 1495 personas UCI($\beta=4$) = 2792.

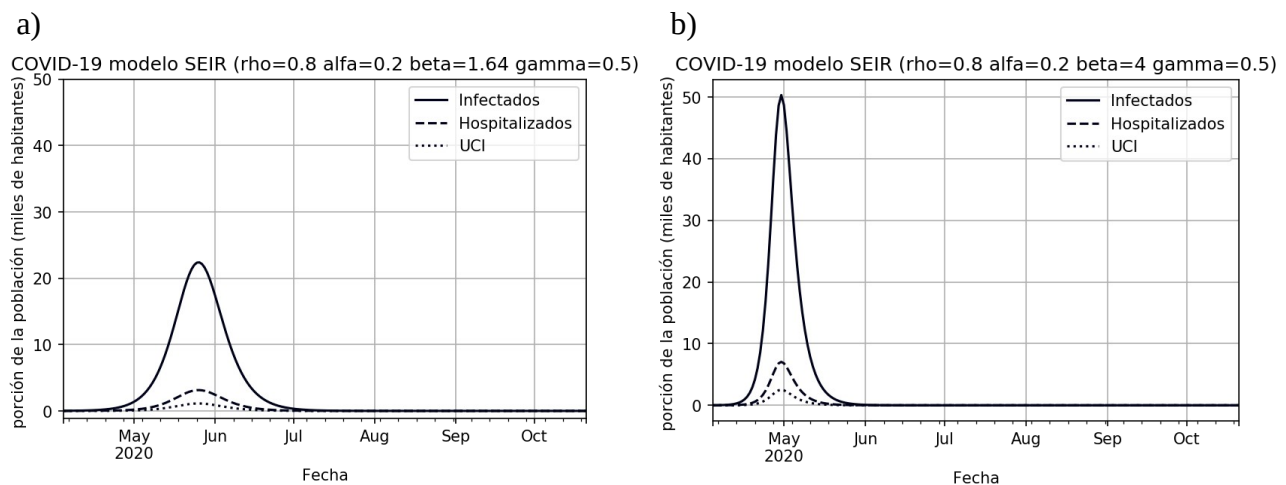


Figura 4. Curva de posible numero de habitantes infectados, hospitalizados y que requieran UCI para un valor de $\rho=0.8$, máximo de habitantes que requieran UCI($\beta=1.64$) = 1120 personas y UCI($\beta=4$) = 2515.

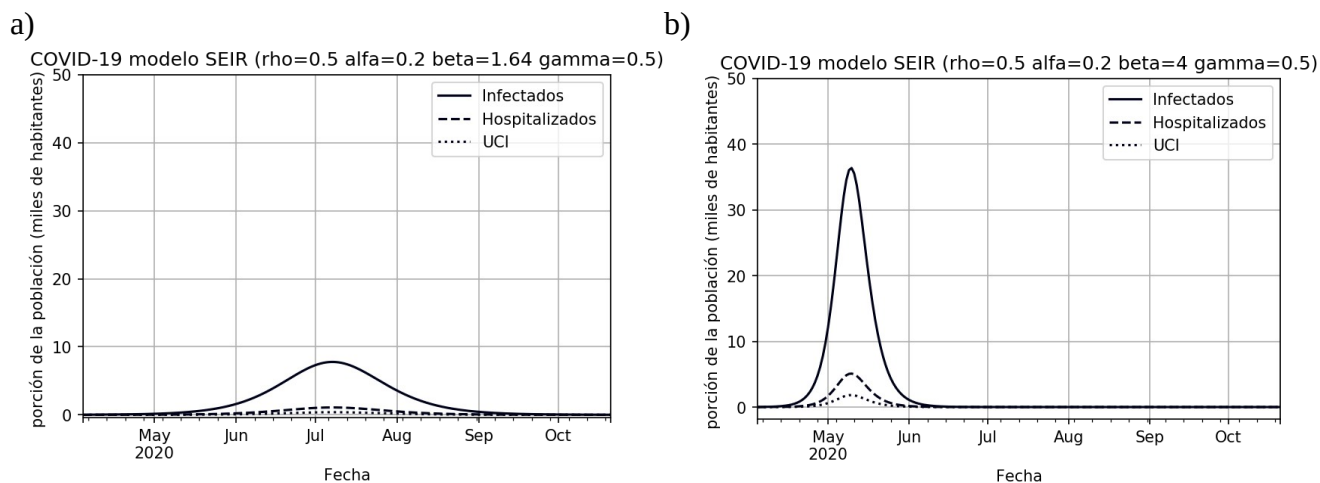


Figura 5. Curva de posible número de habitantes infectados, hospitalizados y que requieran UCI para un valor de $\rho=0.8$, máximo de habitantes que requieran UCI ($\beta=1.64$)= 388 personas y UCI ($\beta=4$)=1818

Discusión y conclusiones

De la figura 1, se puede observar que de no haberse tomado ninguna medida de distanciamiento, el potencial de gente expuesta al virus sería al rededor de un 25% de la población, de los cuales el 10 % se podría infectar, llegando a sus máximos en la segunda a tercera semana. Actualmente ya se han tomado algunas medidas de distanciamiento social, por lo que el escenario más probable es con $\rho=0.8$, estimando una población expuesta del 20% y aproximadamente 7% de infectados, llegando a su máximo en la última semana de Mayo. El escenario ideal se presenta con un $\rho=0.5$, ya que la población expuesta sería aproximadamente del 7%, y un 3% de infectados. Hay que destacar que los parámetros empleados corresponden a otras poblaciones y hay que observar la evolución del evento, de esta forma se podrán deducir los valores aproximados de los parámetros del modelo a partir de un mayor número de datos. Se puede discutir que tanto la secretaría de salud como la OMS señalan un estimado de infección del 70% de la población, lo cual se contrasta con el 25% en el peor de los casos de este modelo. De la figura 2 se puede ver que existe una gran diferencia en el ritmo de contagio y recuperados entre los diferentes niveles de aislamiento, lo cual afecta directamente en la capacidad de servicio de los hospitales de la ciudad. Cuando se emplea una probabilidad de contagio $\beta = 4$

Cuando se compara los dos niveles de contagio aplicando el distanciamiento social se destaca el potencial número de personas que requieran de servicios de UCI con una diferencia entre ambos de casi 1300 personas, en este punto el modelo puede ser determinante para la buena preparación de este servicio, si se extremen medidas de distanciamiento social se puede llegar al número de 388 personas en UCI en el mejor de los escenarios y a 1818 en el peor de los escenarios

En conclusión según este modelo el escenario más adverso para la ciudad se presentaría a mediados de mayo y su punto más alto es de 50 mil personas infectadas de las cuales aproximadamente 5000 requerirían ser hospitalizadas. El escenario optimista presenta para la primera semana de julio al rededor de 10 mil personas infectadas, de las cuales solo 1000 requerirían de ser hospitalizadas y casi 390 dependería de la UCI.

Indudablemente es necesario ajustar los parámetros del modelo conforme se avance en el número de casos. También es necesario considerar el componente espacial para incrementar la confiabilidad del modelo, el cual se lograría con datos de movilidad en transporte público y privado en la ciudad. Otro paso necesario es poder calcular la verosimilitud de este modelo, ya sea con el método de Akaike u otro.

Referencias

Donnelly, C. A., Ghani, A. C., Leung, G. M., Hedley, A. J., Fraser, C., Riley, S., ... & Chan, K. P. (2003). Epidemiological determinants of spread of causal agent of severe acute respiratory syndrome in Hong Kong. *The Lancet*, 361(9371), 1761-1766.

Hellewell, J., Abbott, S., Gimma, A., Bosse, N. I., Jarvis, C. I., Russell, T. W., ... & Flasche, S. (2020). Feasibility of controlling COVID-19 outbreaks by isolation of cases and contacts. *The Lancet Global Health*.

Montesinos-López, O. A., & Hernández-Suárez, C. M. (2007). Modelos matemáticos para enfermedades infecciosas. *salud pública de méxico*, 49, 218-226.

Verity, R., Okell, L. C., Dorigatti, I., Winskill, P., Whittaker, C., Imai, N., ... & Dighe, A. (2020). Estimates of the severity of coronavirus disease 2019: a model-based analysis. *The Lancet Infectious Diseases*.

Enlaces consultados

<https://towardsdatascience.com/social-distancing-to-slow-the-coronavirus-768292f04296>

<https://towardsdatascience.com/how-quickly-does-an-influenza-epidemic-grow-7e95786115b3>

<http://institucional.us.es/blogimus/2020/03/covid-19-analisis-por-medio-de-un-modelo-seir/>

<http://institucional.us.es/blogimus/2016/11/epidemias/>

<https://www.lewuathe.com/covid-19-dynamics-with-sir-model.html>

[https://www.thelancet.com/journals/langlo/article/PIIS2214-109X\(20\)30074-7/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/langlo/article/PIIS2214-109X(20)30074-7/fulltext)

[https://www.thelancet.com/.../PIIS1473-3099\(20\)30243.../fulltext](https://www.thelancet.com/.../PIIS1473-3099(20)30243.../fulltext)

<https://arxiv.org/pdf/2002.06563.pdf>

<https://www.gob.mx/salud>