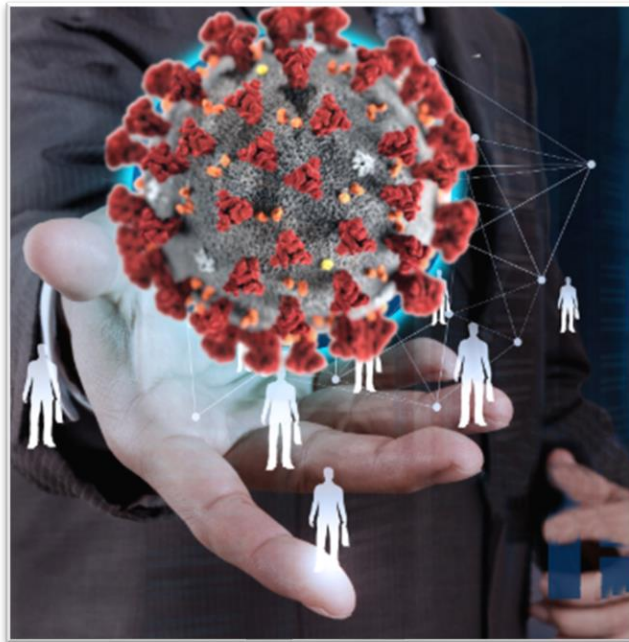


Tres escenarios posibles de la pandemia de COVID-19 en el estado de Coahuila, México. 2020-21

Three possible scenarios of the COVID-19 pandemic in the state of Coahuila, Mexico. 2020-21



Recuperado de:

<https://thelogisticsworld.com/historico/estrategia-empresarial-ante-el-covid-19-2/>

Dr. José Soto-Balderas, Dra. María Magdalena Gómez-Guijarro

Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, Universidad Autónoma de Coahuila,
Unidad Torreón. Boulevard Revolución y García Carrillo, Torreón, Coahuila,
México. CP 27000

Correspondencia para autor: María Magdalena Gómez-Guijarro
Universidad Autónoma de Coahuila
Correo electrónico: mgg11890@uadec.edu.mx

Resumen

Este estudio investiga la evolución y magnitud de la enfermedad del COVID-19 y su control por medio del modelaje de diversos escenarios con distintos niveles de intervención como acciones de distanciamiento social y de reducción de contactos en el estado de Coahuila. Se utilizaron los datos del COVID-19 publicados por la Dirección General de Epidemiología de la Secretaría de Salud de México. Se analizaron los datos con el modelo Susceptibles-Infectados-Recuperados (SIR) recurriendo a las proyecciones del número de reproducción básico (R_0) y el número de reproducción efectivo (R_t) para conocer la curva epidémica en el estado. Posteriormente se modelaron las curvas del estado, en la evolución de la infección y la inmunidad del COVID-19 bajo tres niveles de intervención de reducción de contactos. En general se encontró que, con el conocimiento preciso de los parámetros de la epidemia, el número reproductivo básico y efectivo, es posible modelar y explicar el impacto, la evolución de la pandemia y establecer escenarios de comportamiento de la enfermedad. Los resultados sugieren que el comportamiento y la magnitud de la pandemia está vinculada con los procesos de distanciamiento social, las características de la población, los periodos de la infección, nivel de contagio, gravedad de la infección, las intervenciones basadas en el aislamiento de caso y la reducción de contactos, los cuales influyen significativamente en el desarrollo e impacto de las epidemias.

Palabras clave: COVID-19, modelado, número reproductivo básico, curva epidémica, reducción de contactos.

Abstract

This study investigates the evolution and magnitude of the COVID-19 disease and its control through the modeling of various scenarios with different levels of intervention such as actions of social distancing and reduction of contacts in the state of Coahuila. The COVID-19 data published by the General Directorate of Epidemiology of the Ministry of Health of Mexico was used. The data were analyzed with the Susceptible-Infected-Recovered (SIR) model resorting to the projections of the basic reproduction number (R_0) and the effective reproduction number (R_t) to know the epidemic curve in the state. Subsequently, the state curves were modeled, in the evolution of the infection and the immunity of COVID-19 under three levels of contact reduction intervention. In general, it was found that, with the precise knowledge of the parameters of the epidemic, the basic and effective reproductive number, it is possible to model and explain the impact, the evolution of the pandemic

and establish behavioral scenarios of the disease. The results suggest that the behavior and magnitude of the pandemic is linked to the processes of social distancing, the characteristics of the population, the periods of infection, the level of contagion, the severity of the infection, the interventions based on the isolation of the case. and the reduction of contacts, which significantly influence the development and impact of epidemics.

Keywords: COVID-19, modelling, basic reproductive number, epidemic curve, reduction of contacts.

Introducción

La epidemia de la infección de COVID-19 representa un desafío mundial que se extiende rápidamente sin control alguno y sin ninguna expectativa de solución a corto plazo considerando los medios tecnológicos disponibles desde que apareció por primera vez en Wuhan, China.

La pandemia del nuevo coronavirus ha provocado la enfermedad COVID-19 en al menos 47 millones de casos en el mundo, más de 1 millón 200 mil muertos en al menos 190 países, desde que China dio cuenta oficialmente de la aparición de la enfermedad por primera vez el 31 de diciembre de 2019 (Universidad Johns Hopkins; Centro de Ciencia e Ingeniería de Sistemas, 2020).

Mientras tanto, en México los casos de coronavirus siguen en aumento. La cifra global subió a 933 mil 155, 39 mil sospechosos, 92 mil defunciones, 687 mil recuperados y aproximadamente 28 mil casos activos de acuerdo con la información publicada el 2 de noviembre del año en (Gobierno de México, 2020).

Las cifras mencionadas no son definitivas, considerando que aún vastas regiones del mundo están en un incremento acelerado y en otras existen rebrotes de la enfermedad COVID-19. Las cifras son una muestra de la gravedad de la infección, la letalidad, la capacidad de distribución e infección mundial del virus, de tal modo que la OMS la clasifica como pandemia desde el 12 de marzo del año en curso.

Estas circunstancias han obligado a los distintos países y gobiernos a implantar políticas y medidas de vigilancia sociales, económicas y particularmente de salubridad con el propósito de poder controlar y atender la pandemia de COVID-19.

Para el caso México, otro aspecto de la complejidad es el tamaño de la población y la extensión del territorio en el país que configura no una curva de pandemia sino varias, por consiguiente, es posible hablar de las pandemias o las curvas de la enfermedad. En este sentido estamos hablando de escalas espaciales y de tiempos diferentes que concurren con el fenómeno de la pandemia.

Con el desarrollo y gravedad de la enfermedad del COVID-19 se han identificado y asociado principalmente cinco factores de salud; hipertensión, obesidad, diabetes, tabaquismo y la edad, por consiguiente, estos factores incrementan la letalidad de la enfermedad del COVID-19.

La situación pandémica actual plantea no solo un problema de salud, además, un elemento importante a considerar es la interacción social entre las personas. El problema, es necesario recalcar, se vincula y asocia con poblaciones grandes y con una alta densidad poblacional, a las condiciones sociales, incluyendo las económicas, políticas y desde luego a las condiciones del sistema de salud, en este sentido, nos interesa investigar ¿Cómo evoluciona la enfermedad de COVID-19 en poblaciones grandes al establecer diversas medidas de distanciamiento social de tal forma que este conocimiento permita aproximarse a su control sin recurrir únicamente a las pruebas rápidas? En otros términos, necesitamos conocer los elementos vinculados de distanciamiento social, particularmente los referidos al control de contactos, que inciden en las características, evolución y la magnitud de la enfermedad del COVID-19.

La pandemia del COVID-19 es un problema cuyos efectos y evolución es inconmensurable, que afecta de múltiples formas, empero, es posible estudiarla y aproximarse a su evolución a partir de considerar múltiples elementos heterogéneos, tales como las características de la población, las características de duración y gravedad de la enfermedad, la transmisión y la recuperación de la enfermedad, medidas de intervención en cuanto aislamiento de casos y reducción general de contactos. Estos elementos generan interacciones intensas que forjan comportamientos comunes, ocurren en escalas espaciales temporales diferentes y diversas de acuerdo con las características sociales y poblacionales de las regiones y estados del país. En este sentido es viable estudiar esta enfermedad por estados o regiones debido a las características poblacionales propias de estas entidades y de los elementos mencionados.

Por tales razones, este trabajo tiene como **objetivos** modelar la pandemia para comprender el comportamiento de la curva epidémica y la magnitud del COVID-19, simulando diversos escenarios a partir de la reducción del número reproductivo básico para medir el efecto de las medidas de salud pública, específicamente las referentes al distanciamiento social, en la curva epidémica en el estado de Coahuila. Se utilizan los datos abiertos publicados por la Dirección General de Epidemiología que provienen del Sistema de Vigilancia Epidemiológica de Enfermedad Respiratoria Viral, conformado por las 475 Unidades de Salud Monitoras de Enfermedad Respiratoria Viral (USMER2) distribuidas en todo el país. (Gobierno de México, Secretaría de Salud, 2020)

Particularmente se trabaja con las bases de datos publicadas sobre COVID-19 del sitio COVID-19 Tablero México (Gobierno de Mexico, Conacyt, CentroGeo, GeoInt, DataLab, 2020). La información está organizada por casos diarios por estado y nacional, por un lado y casos diarios por municipio por otro (Incluye clave, nombre y población) del 01 de enero al 21 de julio de 2020. El propósito es contar con al menos cien días de registros. Los tipos de casos están organizados además por los casos confirmados, sospechosos, negativos y defunciones por COVID-19. Esta base de datos abierta y pública está avalada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), Centro Geo, GeoInt y DataLab.

Antecedentes del estudio

Actualmente se sabe que los coronavirus son una familia de virus que causan enfermedades, desde el resfriado común hasta enfermedades respiratorias más graves, y circulan entre humanos y animales. En el caso de esta pandemia, se trata del SARS-COV2. Este apareció en China en diciembre pasado y provoca una enfermedad llamada COVID-19, que se extendió por el mundo y fue declarada pandemia global por la Organización Mundial de la Salud (Gobierno de México, 2020).

Se han publicado una gran diversidad de estudios acerca de la pandemia, estudios que abordan diversas características, al 8 de agosto ya existían más de 30 mil artículos científicos sobre la epidemia en SCOPUS, Google Académico y otras bases documentales. Nuestro interés es centrarnos en estudios significativos acerca de los modelos que se han establecido para conocer las epidemias provocadas por virus, específicamente aquellos modelos que tienen un fundamento matemático y permiten realizar ensayos y simulaciones. En la actualidad los

modelos matemáticos constituyen un recurso fundamental para el estudio de problemas de medicina, biología, fisiología, bioquímica, epidemiología, farmacocinética, entre otras áreas del conocimiento (Lorenzo & Contrera, 2019). De tal forma que, el modelado de epidemias constituye un área activa de investigación en epidemiología que permite analizar la dinámica de propagación de infecciones (Finkelsteyn, 2011).

Los modelos matemáticos se construyen mediante símbolos matemáticos y se utilizan para representar diferentes comportamientos de un fenómeno o problema (Muñoz, Ochoa, & Morales, 2011), desde luego no todos estos modelos matemáticos son complejos. Son útiles para aplicarse en el análisis de variables para entender fenómenos naturales, sociales, físicos, etc., con posibilidades de predecir el valor de las variables en el futuro, de tal forma que se pueden formular hipótesis (Economipedia SL en España, 2012), y, como en este caso, valorar el impacto de una política, epidemia o actividad determinada, entre otras múltiples posibles situaciones.

En ocasiones los modelos utilizan métodos de estimación basados en las redes neuronales. Pero es muy frecuente examinar las epidemias modelando por medio de ecuaciones diferenciales ordinarias que describen la dinámica de las poblaciones infectadas en un determinado país (Garaluz & Esther, 2014). Es habitual en el modelado de las epidemias el análisis de la relación entre el índice reproductivo básico y el riesgo epidemiológico causado por la movilidad humana (Anzo-Hernández, Velázquez-Castro, Bonilla-Capilla, & Soto-Bajo, 2018). Igualmente, existen investigaciones sobre el modelo clásico epidemiológico: susceptible-infeccioso-recuperado (SIR), utilizando las redes dinámicas sociales (Herrera & González-Parra, 2013). El mismo autor menciona que las simulaciones del modelo SIR muestran cómo las dinámicas de la red afectan la evolución de las epidemias. Una de las conclusiones significativas en estos modelados muestra que el grado de conectividad social y la estructura inicial de la red, influyen sobre la propagación de las enfermedades infecciosas (Herrera & González-Parra, 2013). Una cuestión importante acerca del abordaje metodológico de las epidemias por medio de modelado lo señala (Cardillo, 2014, pág. 10) “Cuando se trata de entender el funcionamiento de un sistema complejo conviene enfocar su descripción hacia las interacciones entre sus constituyentes elementales, en lugar de tratar de modelar al detalle la dinámica de cada uno de ellos. Este enfoque se justifica en que nos interesa capturar el comportamiento colectivo del mismo”. Los resultados que

brindaron los modelos son consistentes con resultados de modelos previos en redes complejas y también están de acuerdo con tendencias observadas en la realidad (Finkelsteyn, 2011; Garaluz & Esther, 2014; Herrera & González-Parra, 2013).

Conviene resaltar que uno de los primeros modelos que se desarrolló para conocer el comportamiento de las enfermedades infecciosas fue formulado por (Kermack & McKendrick, 1927), el cual se considera que es el modelo clásico SIR o SEIR al introducir a la población expuesta. Consideramos que a partir de este trabajo se han desarrollado con posterioridad toda una serie de modelaciones que de una u otra forma buscan el conocimiento y la evolución de una epidemia o enfermedades causadas por infecciones.

El Centro Cochrane Iberoamericano (2020), tiene una revisión y clasificación de estos modelos, se pueden diferenciar dos clases de modelos. Por un lado, los deterministas se basan en ecuaciones diferenciales (frecuentemente utilizadas para poblaciones grandes), por otro, los modelos estocásticos se basan en procesos de Markov (relevantes para poblaciones pequeñas o con gran variabilidad en sus parámetros).

En México, la Secretaría de Salud en coordinación con Conacyt, CentroGeo, Geolnt y DataLab, utilizan diversos modelos para conocer el comportamiento y la evolución de la pandemia. Entre los más importantes están el modelo Gompertz y logístico, así como el modelo computacional Red Neuronal Artificial Inversa, el modelo AMA compartimental SEIR basado en inferencia bayesiana, el proyecto sobre la Estimación de la Tasa Efectiva de Reproducción (R_t) para COVID-19 enfocado en los Estados y Zonas Metropolitanas de México, el modelo de Calculadora Epidemiológica para las zonas metropolitanas, el Índice de Movilidad y el Análisis de conglomerados espaciales. Los modelos mencionados permiten al Gobierno de México y a las instituciones de Salud involucradas, la toma de decisiones en los diversos aspectos relacionados con la pandemia del COVID-19 en el país (Gobierno de México-CONACYT, 2020).

Los fundamentos teóricos y metodológicos del modelo matemático SIR

Se ha discutido acerca de cuál sería la mejor forma de conocer la magnitud y la evaluación de la pandemia de COVID-19, así mismo, las formas de control de la enfermedad, sabiendo que se carece de vacuna para esta infección. Se ha pretendido conocer y controlar la enfermedad por medio de las llamadas pruebas

rápidas, se piensa que a más pruebas rápidas más fácilmente se controlaría la enfermedad, en este contexto se olvidan dos aspectos. El primero es que sería necesario aplicar millones de pruebas al menos cada 14 días mientras dure la pandemia. El segundo aspecto, posiblemente el más importante, es el nivel de falso positivo que arrojan las pruebas rápidas. Sin embargo, las matemáticas proporcionan herramientas que permiten anticipar lo que puede suceder con la pandemia. En este sentido se recurre a los modelos matemáticos elaborados con ecuaciones diferenciales, de tal forma que estos modelos matemáticos explican la evolución y qué va a pasar con la pandemia, en este caso la del COVID-19.

Un modelo matemático conocido y probado en el caso de epidemias y pandemias es el conocido modelo SIR. Este modelo de (Kermack & McKendrick, 1927) se sustenta en los siguientes supuestos:

- La población por examinar es constante, es decir, debido al tiempo de duración de una epidemia no se toma en cuenta la tasa de nacimientos y muertes durante la propagación de la enfermedad, porque se considera que estas tasas no afectan la magnitud de la población en un corto tiempo.
- Igualmente, no se toma en cuenta la inmigración y emigración de la población, aunque existe movimiento de la población, se considera que está es muy poco afectada por los movimientos migratorios.
- En un principio la población es homogénea, sin embargo en el proceso de infección de la enfermedad, la población se puede dividir en clases o en compartimentos. Es decir, los individuos susceptibles que pasan a convertirse en individuos infecciosos, es proporcional al producto del número de individuos susceptibles por infecciosos.
- El periodo de latencia desde el primer momento hasta que el individuo inicia a ser infeccioso es pequeño como para tomarlo en cuenta.
- Los individuos se recuperan o mueren a una tasa constante de tal modo que cambiarán de clase de los susceptibles o infectados para pertenecer a la clase de recuperados.

Para hacer operativo el modelo SIR (Kermack & McKendrick, 1927) consideran que la población en principio muestra las mismas características, una vez que es infectada por el virus, la población se divide en tres clases: La población (S) susceptible a la enfermedad infecciosa o transmitible. Se considera que estos individuos no tienen inmunidad contra el virus infeccioso por lo que podrían

infectarse si se exponen. El segundo grupo de población (I) se designa como la población de individuos infectados, estos individuos tienen la capacidad de transmitir la enfermedad a la población susceptible con las que están o entran en contacto. El grupo de población (R) está integrado por los individuos recuperados, aquellos individuos de la población que tienen o han tenido la infección y que se han convertido en inmunes a la misma, desde luego, este grupo de población ya no afecta la dinámica de transmisión de la enfermedad al entrar en contacto con otros individuos de la población.

En efecto, en el modelo SIR se consideran tres variables importantes, es decir tres grupos de individuos en la población, el grupo de los susceptibles (S), los Infectados (I) y los recuperados (R). Estos tres grupos están en el transcurso del tiempo en un proceso dinámico; la población susceptible se convierte en infectada y esta se recupera en función del tiempo.

Para precisar, diremos que la población susceptible, infectada y recuperada varían en función del tiempo; S(t), I(t) y R(t). Sin embargo, en una infección estas variables también dependen de dos factores, la tasa de infección o transmisión (β) y la tasa de recuperación de la infección (λ).

La dinámica que se presenta es la siguiente:

La variación con respecto al tiempo del número de individuos en la población susceptible (S) de tener la enfermedad va decreciendo en la medida que es infectado con el paso del tiempo (1), se expresaría en las ecuaciones diferenciales ordinarias siguientes (Ridenhour, Kowalik, & Shay, 2018):

$$\frac{d(S)}{dt} = - \frac{\beta I}{N} S \quad (1)$$

La variación con respecto al tiempo del número de individuos de la población infectados está dada por la siguiente ecuación (2):

$$\frac{d(I)}{dt} = \frac{\beta I}{N} S - \lambda I \quad (2)$$

La variación con respecto al tiempo del número de individuos de la población recuperados está dada por (3):

$$\frac{d(R)}{dt} = \lambda I \quad (3)$$

Estas ecuaciones diferenciales le dan sustento al modelo SIR para las epidemias. (Ridenhour, Kowalik, & Shay, 2018, pág. 457) explican el modelo SIR en estos términos; “ β es la tasa de transmisión, λ es la tasa de recuperación (o la inversa del período infeccioso) y N es el tamaño total de la población, de manera que $N = S + I + R$. En el modelo ordinario de la ecuación (1) se da por sentado que no hay nacimientos ni muertes. Al comienzo del brote o epidemia ($t = 0$) suponemos que la población está constituida totalmente por individuos susceptibles y un solo individuo infeccioso”.

En el modelo SIR, si la tasa de transmisión excede a la de recuperación (es decir, $\beta/\lambda > 1$), la enfermedad se propagará ($dI/dt > 0$). Por otro lado, β/λ es el número de infecciones nuevas por unidad de tiempo multiplicado por el tiempo que dura la infecciosidad, y describe el número de infecciones nuevas que se originaron del individuo infectado inicialmente. En este modelo SIR sencillo, el número reproductivo básico (o la razón reproductiva básica) es igual a β/λ (Ridenhour, Kowalik, & Shay, 2018).

Los autores mencionados precisan: el R_0 es un parámetro importante para medir la dinámica de la enfermedad porque a partir del valor umbral de 1.0 puede indicar cuándo podría ocurrir un brote. En un sentido más amplio, si el número de reproducción efectiva, $R_t = R_0 \times (S/N)$, es mayor que 1.0, cabe prever que la enfermedad se siga propagando; la reproducción efectiva refleja el hecho de que, a medida que la proporción de individuos susceptibles disminuye (S/N), la transmisión de la enfermedad se vuelve más lenta.

En esta perspectiva, el número reproductivo básico es uno de los parámetros fundamentales para establecer si una epidemia es posible controlarla o está bajo control, de tal forma, se pueden establecer medidas de control, llamadas medidas de contingencia o no, o determinado nivel de estas. En ese mismo tenor, con el número reproductivo básico es posible evaluar las medidas de control o contingencia de la epidemia en el modelo SIR, “particularmente el número de reproducción efectiva, cuantifican la propagación de la enfermedad en una población; cuanto más altos son los valores, más rápida es la circulación del agente” (Ridenhour, Kowalik, & Shay, 2018, pág. 463). De tal forma que el número reproductivo básico es uno de los parámetros decisivos. Se debe aclarar que se está hablando del número reproductivo efectivo, el cual puede ser conocido por medio de estimaciones en el transcurso del tiempo de la epidemia para determinar, observar y monitorear una epidemia, en consecuencia establecer políticas, planes, acciones y mecanismos que posibiliten el control de esta. El número básico de reproducción, tanto el teórico (R_0) como el efectivo o real (R_t) son claves para la toma de decisiones para la intervención efectiva y a tiempo en el control de una pandemia (Cori A. , Ferguson, Fraser, & Cauchemez, 2019; Cori A. , Ferguson, Fraser, & Cauchemez, 2013; ; Ridenhour, Kowalik, & Shay, 2018).

Tres escenarios posibles del COVID-19 en el estado de Coahuila

El modelado de la pandemia en el estado de Coahuila tiene por propósito comprender la evaluación y comportamiento de la epidemia de COVID-19 en el estado, en ese sentido podemos determinar si las medidas de control de la enfermedad están teniendo efectos en la reducción del número reproductivo. Asimismo, con ciertas expectativas determinar la magnitud de la pandemia si se establecen medidas de control de contingencia leves, moderadas o severas. En la estimación del COVID-19 se utiliza una interfaz para calcular la tasa de transmisión del virus, con este propósito se utilizan los datos reportados en las fechas del 12 de marzo al 21 de julio de 2020 por el sistema de salud en el país.

Con estos datos es posible que el paquete R "EpiEstim" infiera este parámetro de interés de la enfermedad (Cori A. , Ferguson, Fraser, & Cauchemez, 2019; Cori A. , Ferguson, Fraser, & Cauchemez, 2013;).

Para lograr simular los escenarios propuestos hacemos uso de una metodología de simulación, que sigue dos pasos: La estimación del número reproductivo efectivo (R_t) en el estado de Coahuila, para esta estimación se utiliza el paquete de proyecto R "EpiEstim". Posteriormente con el paquete de modelación "CovidSIM" se establecen las proyecciones basadas en el R_t estimado, se simulan el número de casos susceptibles, infecciosos, recuperados y las defunciones (Cori A. , Ferguson, Fraser, & Cauchemez, 2013; Cori A. , Ferguson, Fraser, & Cauchemez, 2019).

Las herramientas mencionadas fueron desarrolladas específicamente para COVID-19 por un grupo de analistas de la Universidad Eberhard-Karls de Tübingen en el Instituto de Epidemiología Clínica y Biometría Aplicada (IKEAB), Alemania (Organización Panamericana de la Salud, Organización Mundial de la Salud, 2020). Analizamos algunos de los resultados de interés a continuación.

Estimación del número básico de reproducción en el estado de Coahuila

La simulación de la curva epidémica y la estimación del número básico de reproducción efectivo (R_t) se realiza a partir de los datos reportados por el sistema de salud en sus bases de datos en el COVID-19 Tablero México del CONACYT-CentroGeo-GeoInt-Datalab actualizadas diariamente en <https://coronavirus.gob.mx/datos>.

En los resultados del proyecto R "EpiEstim" resalta un hecho importante en el estado de Coahuila en la evaluación de la pandemia, la curva epidémica (Figura 1) muestra una especie de meseta desde el 4 de abril hasta el 21 de julio del presente año. En la Figura 1 se observa como la pandemia presenta un comportamiento atípico al no llegar al pico de esta, se mantiene durante este periodo con un promedio de

infectados diarios en 300 casos. Mientras que el número reproductivo efectivo baja a 0.92 la tasa de transmisión se mantiene a menor velocidad de contagio (Figura 2). Habría que revisar este mismo número reproductivo efectivo en los municipios para hacer afirmaciones con mayor precisión acerca de la disminución o el incremento de la enfermedad. La Figura 2 muestra un descenso del número reproductivo efectivo de la infección R_t , de aproximadamente 3.7, esta evidencia nos conduciría a pensar que del 5 al 20 de abril se acelera la propagación de la epidemia con un R_t arriba de 3 a 4, luego se comporta en descenso y ascenso pero no arriba de 1.5. En el periodo comprendido del día 5 de mayo al 21 de julio la velocidad de propagación de la infección disminuye lentamente, menor a un R_t de 1.0. A pesar de bajar la velocidad de propagación de la epidemia, la curva de la misma muestra un ascenso en el número de casos infectados hasta llegar a un periodo de estabilidad en el periodo mencionado del 4 de abril hasta el 21 de julio. Debemos aclarar que la pandemia se desacelera pero siguen presentándose casos de contagio a menor velocidad. Las gráficas tanto de la curva de la epidemia, así como la del número reproductivo efectivo (R_t) muestran también que la pandemia tiene un periodo largo, tiempo en que se mantiene latente el contagio de la enfermedad.

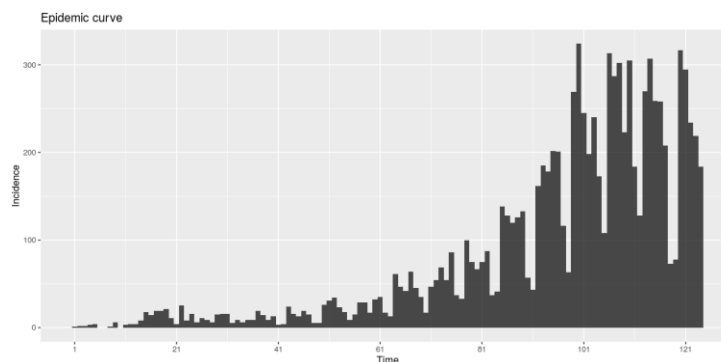


Figura 1. Curva epidémica en el estado de Coahuila
Fuente: Resultados del procesamiento con el proyecto R “EpiEstim”(OPS,OMS 2020).

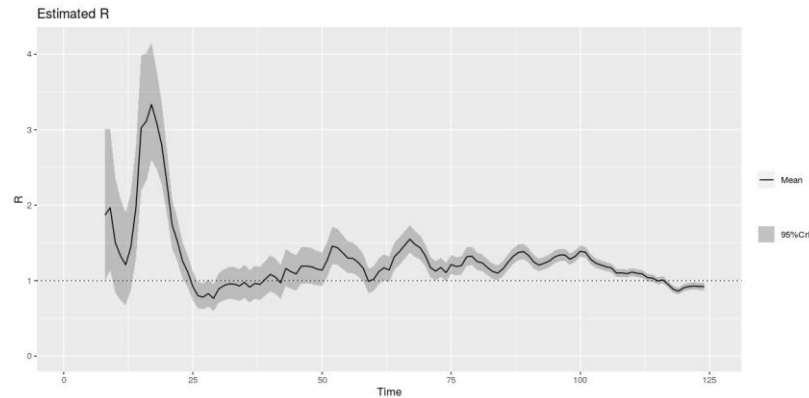


Figura 2. Número básico efectivo de transmisión de la infección estimado para Coahuila
 Fuente: Resultados del procesamiento con el proyecto R “EpiEstim” (OPS,OMS 2020)

Simulación de la pandemia de COVID-19 en Coahuila. Proyecciones con el paquete CovidSIM

Para realizar la simulación de la pandemia es necesario establecer una serie de parámetros que provienen de la situación de la pandemia a examinar, entre otros: Las características demográficas de la población a modelar, el periodo de simulación de la pandemia, la gravedad de esta, el promedio de contagios, las intervenciones de las autoridades en cuanto al aislamiento de casos y la reducción general de contactos. En la Tabla 1 se muestran los parámetros que se establecen para la simulación de la pandemia en el estado de Coahuila.

Tabla 1. Características de simulación y parámetros para CovidSIM

Características de la población	Parámetro
Tamaño de la población a modelar	3,000,000
Numero acumulado de nuevas infecciones durante los 7 días previos a la fecha en la que se desde iniciar la simulación.	28
Se asume que la mayor transmisión del virus es local en estos momentos, por lo que se asume un valor de 0 la transmisión del exterior	0
Características de Duración	
Duración de la simulación se establece un periodo en días	365
Características de gravedad	
Infecciones que conducirán a la enfermedad (%)	82%
Pacientes enfermos con ayuda médica (%) (se puede cambiar)	50%
Determine qué porcentaje de casos de enfermos va a el doctor para buscar ayuda médica (%)	40%
Pacientes enfermos que son hospitalizados (%)	6%

Casos hospitalizados que necesitan cuidado intensivo (ICU) (%)	25%
Pacientes enfermos que mueren por la enfermedad (%)	11%
Contagios	
Promedio anual del número de reproducción básico:	3.7
Amplitud de la fluctuación estacional de R_0 (%): 0 (no modelado)	0
Día en que la R_0 estacional alcanza su máximo: 0 (no modelado)	0
Intervenciones. Aislamiento de casos	
Probabilidad de que un paciente enfermo se aisle (%) (sugerido se puede cambiar según información del país)	50%
Capacidad máxima de salas de aislamiento (por 10,000): asumir una capacidad grande ejemplo: 1000	1000
Reducción de contacto para casos en aislamiento domiciliario (%): sugerido, pero puede cambiar según la información del país.	75%
Inicio de medidas de aislamiento de casos (día): 1 día (primer día)	1 día
Determina cuándo comienza el aislamiento: Duración de las medidas de aislamiento de casos (días):	365
Reducción general de contactos	
Reducción general de contactos (%). Una intervención adicional para el R_0 es ajustar el R_t obtenido en el paso 6 para la reducción de contacto.	0%
	50%
	63%
Reducción de contacto comenzar (día):	1
Duración de reducción de contacto (días):	14

Fuente: Elaboración propia a partir de diversas fuentes (Gobierno de México, 2020) (Gobierno de México, 2020c) (Gobierno de México, Secretaría de Salud, Subsecretaría de Prevención y Promoción de la Salud, 2020) (Cori A. , Ferguson, Fraser, & Cauchemez, 2019)

Para simular distintos escenarios en el estado de Coahuila es necesario anotar distintos niveles en la reducción general de contactos.

Escenario sin medidas de reducción de contactos o reducción leve

El escenario 1 sin medidas de reducción de contacto inicio en el día 1, simulando un $R(t)$ sin reducción de contactos, esto significa que la reducción de contactos programada es nula en lo que se refiere a la reducción de contactos en el hogar, en las instituciones de educación de todos los niveles, en las actividades esenciales del trabajo y en las actividades no esenciales, es decir todas las actividades se realizan normalmente sin ningún tipo de restricción. Igualmente no se activa ningún umbral de hospitalización ni reconversión hospitalaria.

El paquete de simulación infiere una serie de resultados para los 365 días establecidos en la simulación. En la Tabla 2 se observan algunos resultados que

consideramos clave para la exposición que pretendemos. La Tabla 2 muestra los casos susceptibles, infectados, recuperados, muertos, la probabilidad de detección y la reducción global de contactos para los días que hemos seleccionado como claves. Se supone que el 17 de marzo (día 1) se acumulan 13 casos confirmados de COVID-19, para el día 27 de junio (día 103) se presenta el pico de la curva en cuanto al número mayor de infecciones, se considera que la epidemia llega a su punto más alto de reproducción de infectados, para el 14 de agosto (día 151) los susceptibles se reducen considerablemente pero se acumulan los infectados y aumentan considerablemente las muertes; El día último de la pandemia 16 de marzo de 2021 termina el primer ciclo de la enfermedad, aumentan considerablemente los infectados acumulados, los recuperados y los muertos, pero los susceptibles disminuyen, en este momento de la simulación se supone que ya no hay nadie a quien infectar, por lo que consideramos el primer ciclo de la pandemia. Recordemos que la simulación se extendió del 17 de marzo con 13 infectados acumulados y termina el 16 de marzo de 2021 aun con 400,134 casos confirmados de la infección y 6,396 defunciones acumuladas en el año de simulación.

Tabla 2. Modelado de la evolución, de la infección y la inmunidad del COVID-19 sin medidas de reducción de contactos en el estado de Coahuila.

Día	Fecha	Susceptible	Infectado	Recuperado	Muerto	Probabilidad de detección	Reducción de contacto
1	17 de marzo 2020	2,999,987	13	0	0	0%	0%
103	27 de junio 2020 (pico de la curva)	1,201,701	1,045	750,637	1,875	100%	0%
151	14 de agosto 2020	401,178	7,895	2,584,553	6,374	100%	0%
364	16 marzo 2021	0	400,134	2,593,470	6,396	100%	0%

Fuente: Elaboración propia en base a los resultados de las curvas de modelaje con CovidSIM (OPS,OMS 2020).

La curva epidémica inicia desde el 17 de marzo de 2020 y termina el 16 de marzo del año 2021, se ha hecho una simulación de la pandemia de 365 días, en este caso

podemos afirmar que la curva sigue su desarrollo normal sin medidas de reducción de contactos, de tal forma que no existe aplanamiento de la curva y al finalizar se tiene una cantidad grande de casos acumulados en el área de la curva, esta proyección indicaría dificultades para el sistema de hospitalización en el estado.

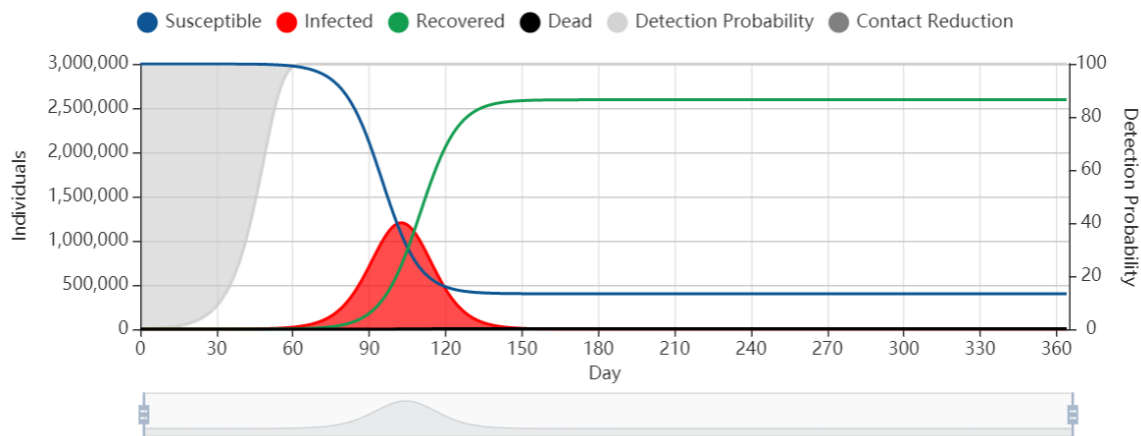


Figura 3. Curva del estado de la infección e inmunidad del COVID-19 sin de reducción de contactos (365 días a partir del 12 de marzo)
 Fuente: Elaboración en base a los parámetros establecidos en CovidSIM (OPS,OMS 2020).

Escenario con medidas de reducción de contacto del 50% o moderada

El escenario 2 con medidas de reducción de contacto del 50% con el fin de disminuir el R_t en 1.85 con inicio desde el día 1. El escenario 2 con medidas de reducción de contacto inicio en el día 1, simulando un $R(t)$ se refiere a la reducción de contactos en el hogar (50%), en las instituciones de educación (100%) de todos los niveles, en las actividades esenciales del trabajo (25%) y en las actividades no esenciales, es decir todas las actividades no esenciales restringidas (60%). Se activa un umbral de hospitalización, reconversión hospitalaria en un 50%.

En la Tabla 3 se observan diferencias considerables con el escenario 1, donde no se establecen medidas de control de contactos. La Tabla 3 muestra algunos días claves de la pandemia, igualmente se inicia la simulación con 13 casos confirmados acumulados, el 12 de noviembre (día 241) se presentan 228,602 infectados, con

1,292 defunciones, para el 28 de febrero de 2021 bajan considerablemente el número de infectados 8,304, pero el número de muertos acumulados suben a 3,316, los recuperados ya son una cantidad considerable, el primer ciclo de la pandemia termina el 15 de marzo de 2021 con 4,292 infectados y 3,336 defunciones acumuladas.

Evidentemente los resultados y la Figura 4 muestran un aplanamiento importante de la curva de tal forma que el pico de esta se presenta hasta el 12 de noviembre, es decir hasta el día 241 de inicio de la simulación, asimismo la curva epidémica disminuye considerablemente el 28 de febrero aproximadamente al día 349 y finalmente se mantiene en un nivel bajo y alargado de la curva epidémica, el nivel de muertes diarias se mantiene bajo. El escenario 2 permitirá de esta forma una mejor respuesta del sistema de salud y una programación adecuada de las medidas hospitalarias y la reconversión de hospitales.

Tabla 3. Modelado de la evolución, de la infección y la inmunidad del COVID-19 con medidas de reducción de contactos al 50% en el estado de Coahuila.

Día	Fecha	Susceptible	Infectado	Recuperado	Muerto	Probabilidad de detección	Reducción de contacto
1	17 de marzo 2020	2,999,987	13	0	0	0%	50%
241	12 de noviembre 2020 (pico de la curva)	2,245,996	228,602	524,110	1,292	100%	50%
349	28 de febrero 2021	1,643,828	8,304	1,344,552	3,316	100%	50%
364	15 de marzo 2021	1,639,572	4,292	1,352,799	3,336	100%	50%

Fuente: Elaboración propia en base a los resultados de las curvas de modelaje con CovidSIM (OPS, OMS 2020).

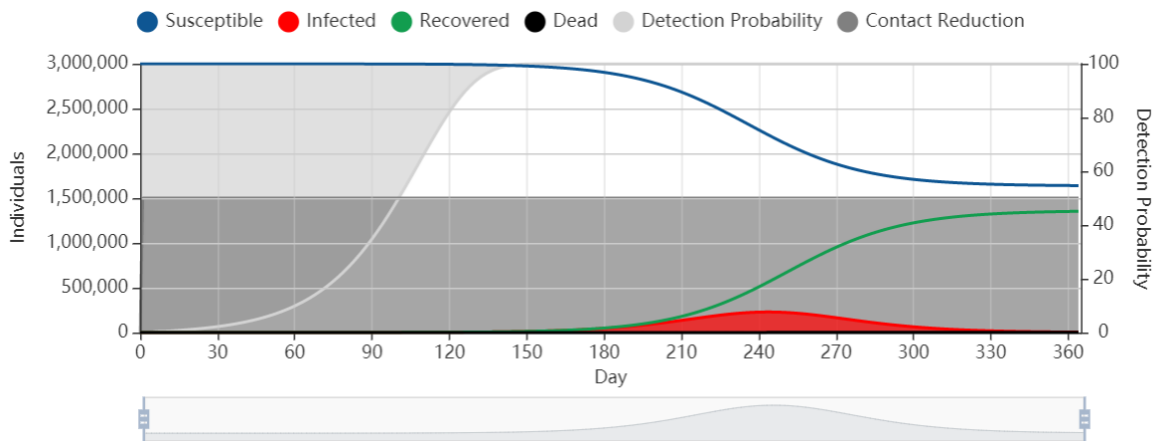


Figura 4. Curva del estado de la infección e inmunidad del COVID-19 con una de reducción de contactos del 50% (365 días a partir del 12 de marzo)

Fuente: Elaboración en base a los parámetros establecidos en CovidSIM (OPS, OMS 2020).

Escenario con medidas de reducción de contacto del 63% o severas

El escenario 3 se simula con medidas de reducción de contacto del 63% con el fin de disminuir el R_t en 1.37, inicia el día 17 de marzo de 2020 (día 1) y finaliza el 16 de marzo de 2021 (día 364). El escenario 3 es una situación que baja considerablemente el impacto de la pandemia en la población, pero para lograr este bajo impacto se requieren medidas de control de contactos globales del 63% con el fin de disminuir el R_t en 1.37 con inicio desde el día 1. Específicamente se deberían de establecer los parámetros de la reducción de contactos en el hogar 60%, en las instituciones de educación de todos los niveles educativos 100%, en las actividades esenciales del trabajo 35% y en las actividades no esenciales 70%. Estos parámetros impactan la activación del umbral de hospitalización con una reconversión hospitalaria en un 50%.

En este escenario (Tabla 4) se inicia la simulación igualmente con 13 casos confirmados acumulados el día 1 hasta después de 241 días el 12 de noviembre del mismo año se acumulan 225 confirmados infectados y una cantidad de una defunción, al día 351 se tiene un acumulado de 33,040 confirmados y 242

defunciones, así como un ascenso en el número de recuperados, el primer ciclo de la pandemia termina el día 364 de inicio, 16 de marzo de 2021, con 39,871 infectados, un aumento de acumulado de recuperados 126,414 y un ligero incremento en el acumulado de defunciones de 312.

Tabla 4. Modelado de la evolución, de la infección y la inmunidad del COVID-19 con medidas de reducción de contactos del 63% en el estado de Coahuila.

Día	Fecha	Susceptible	Infectado	Recuperado	Muerto	Probabilidad de detección	Reducción de contacto
1	17 de marzo 2020	2,999,987	13	0.0	0.0	0%	63%
241	12 de noviembre 2020	2,999,266	225	507	1	100%	63%
351	02 de marzo 2021	2,868,485	33,040	33,040	242	100%	63%
364	16 de marzo 2021 (pico de la curva)	2,833,403	39,871	39,871	312	100%	63%

Fuente: Elaboración propia en base a los resultados de las curvas de modelaje con CovidSIM (OPS, OMS 2020).

Evidentemente la curva epidémica se aplanamente considerablemente desde el día 1 hasta el fin del primer ciclo de la pandemia (Figura 5), a pesar de aun no llegar a un R_t menor de 1 este escenario permite la respuesta del sistema de salud de forma eficiente y programada. Si bien los casos de infección se siguen presentando estos se distribuyen con incrementos bajos en el transcurso del tiempo, aun se presentan casos de defunciones pero en un nivel bajo y distribuidos sin incrementos considerables a través del tiempo, la Figura 5 muestra que la epidemia continuaría en un nivel bajo después de los 365 días. Es evidente el aplanado de la curva de infecciones la cual se muestra en un nivel bajo durante toda la proyección con ligero descenso al final de esta. Este escenario le permite al sistema de salud establecer y responder con medidas eficientes y programadas sin colapsar en ningún momento.

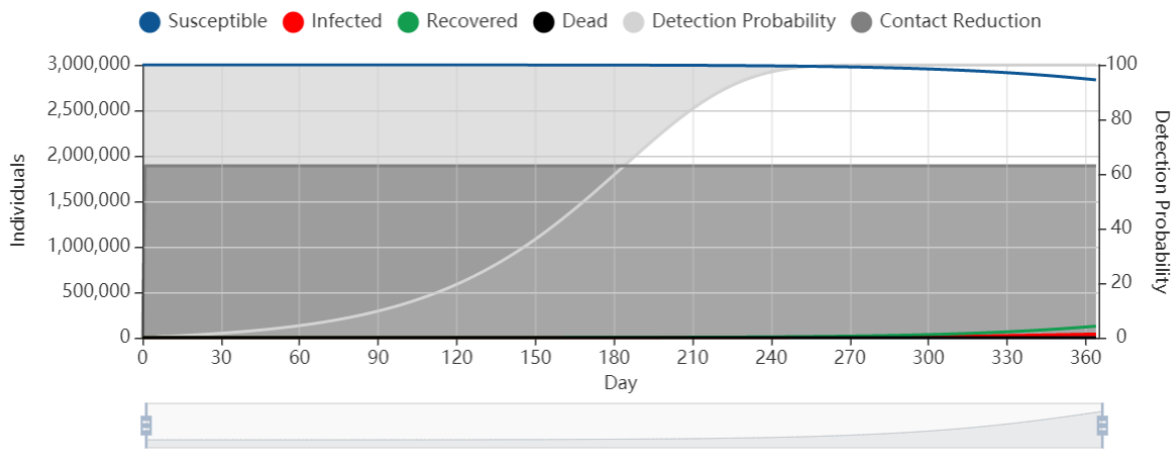


Figura 5. Curva del estado de la infección e inmunidad del COVID-19 con una de reducción de contactos del 63% (365 días a partir del 12 de marzo)

Fuente: Elaboración en base a los parámetros establecidos en CovidSIM (OPS, OMS 2020).

En síntesis los tres escenarios para el estado de Coahuila muestran distintas condiciones de control de contactos para disminuir el número básico de reproducción de la enfermedad, en consecuencia la disminución de la tasa de contagios o transmisión de la enfermedad durante el tiempo, esto no significa que dejen de existir o incrementarse las infecciones de COVID-19, lo que se pretende es disminuir el impacto de la pandemia en el transcurso del tiempo, al disminuir este impacto de las infecciones el número de defunciones tiende a disminuir y el número de recuperados aumenta. Desde luego los escenarios 2 y 3 en el estado con medidas de control de contactos, permiten la respuesta eficiente y programada del sistema de salud.

Discusión y conclusión

La epidemia como muchas otras enfermedades o problemáticas socio-sanitarias se presentan como problemáticas complejas, en el sentido de que múltiples elementos intervienen y se influyen mutuamente en la misma. Desde nuestro punto de vista una problemática compleja, tal como la pandemia de COVID-19, no está determinada por relaciones lineales, aunque aparentemente esto sucede en el

sistema SIR, a pesar de ser este un modelo determinista, su comprensión e interpretación se vuelve compleja debido a que la pandemia del COVID-19 está influenciada por el tiempo en que transcurre e interactúan una serie de variables de decisión y tasas de influencias diversas.

Al simular el modelo SIR es pertinente que consideremos que este modelo debe aplicarse en tiempo real, con pocos datos que no rebasen la posibilidad de utilizar los paquetes modeladores y desde luego es necesario que los parámetros utilizados sean precisos y reales a la región o estado en estudio. Los datos es posible que cambien y se reporten a diario, los datos podemos suponer tienen cierto nivel de confiabilidad, por este motivo los modelos de predicción deben cambiar en este mismo sentido. Pero por muy inciertos que sean los datos, es mejor las proyecciones y la simulación que no disponer de ninguna herramienta para tomar decisiones (Sanchez, 2020).

El desarrollo en el tiempo de las variables de decisión implica cierta velocidad en su comportamiento, que cambia desde luego en el transcurso del tiempo y estos cambios están en función de esa temporalidad, así es necesario establecer un sistema de ecuaciones diferenciales que permitan, determinar con cierta precisión los cambios en el tiempo de las variables como susceptibles, infectados, recuperados y defunciones.

El problema se complejiza debido a que las variables de decisión mencionadas son interdependientes entre ellas, en principio la población susceptible de la enfermedad disminuye con el aumento de la población infectada, esta población infectada se incrementa al afectar a la población susceptible, pero la población infectada también disminuye al incrementarse los recuperados o las defunciones; tanto población susceptible, la recuperada así como la fallecida tienen un límite en función en primera instancia de la población total. Lo descrito muestra la interdependencia en

principio de las tres variables de decisión y también cambian su comportamiento en función del tiempo.

Otro elemento importante para considerar en la complejidad de la pandemia de COVID-19 es que las variables de decisión también están influenciadas por el llamado número básico de reproducción (R_0), este número influye en el incremento o decremento de la tasa de transmisión.

La tasa de transmisión implica que tan rápido se transmite la infección de un individuo a otro, y la dificultad de estimarla es porque es específica de cada población y se determina en un momento específico en el tiempo. Es necesario apuntar que esta tasa también es difícil de estimar debido a que se relaciona con diversas medidas de control de la población como la interacción social, la movilidad, y actividades esenciales y no esenciales. Estas variables influyen decisivamente en el comportamiento de la epidemia, La tasa de transmisión es identificada por autores como el número básico de reproducción efectivo y en algunos otros como la tasa exponencial de crecimiento.

Igualmente, otros aspectos variables como la duración de la epidemia, la cual implica la duración media de la enfermedad, y la tasa de recuperación de la población infectada influyen en la cantidad y duración de los contagios mismos, así como en la recuperación, lo cual implica que tan rápido se recupera un individuo de la infección.

De esta forma debemos estar claros que un problema en las proyecciones o en la modelación de la epidemia por COVID-19 requiere cierta precisión y fiabilidad de los parámetros iniciales mediante los cuales se realiza la simulación, estos parámetros no deben ser interpolados de otras situaciones o regiones, motivo por el cual, se debe tener cierta confiabilidad de que los parámetros son representativos

y se originan en la situación concreta que se está proyectando. Lo anterior en concordancia con (Sanchez, 2020) que subraya, el problema es que los resultados son extremadamente sensibles a los supuestos de partida. De ahí las conclusiones que podamos establecer.

La situación de la pandemia de COVID-19 nos muestra en principio que no existe una sino diversas epidemias debido a su comportamiento, la extensión del territorio nacional o de las regiones, las características demográficas de la población, las condiciones del sistema de salud, las medidas establecidas y las decisiones adaptados desde distintas visiones sociales, políticas y económicas por los tomadores de decisiones.

El estudio muestra que las medidas de distanciamiento social son un elemento importante que ayudan a reducir la infección del COVID-19, de tal forma, que deben seguir siendo implementadas por las instituciones en los diversos niveles gubernamentales, así mismo, los ciudadanos deben practicar este distanciamiento social como una respuesta personal y colectiva a la pandemia. En otro sentido, no establecer medidas de control o distanciamiento social implica un desarrollo peligroso y grave de la epidemia.

Aspectos de control de contactos son fundamentales para poder aplanar la curva de la pandemia. En lo referente a la pandemia en el estado de Coahuila es posible inferir a partir de la evolución de la curva de la epidemia de COVID-19 que las medidas de control de contactos han sido insuficientes, esto se representa claramente en la curva al mantener no un pico sino una meseta alargada y durante un largo periodo de tiempo, lo que implica un mismo nivel de reproducción de la epidemia y un mismo nivel de transmisión de la enfermedad sin decrementos considerables, lo cual involucra mantenerse por un periodo prolongado en un especie de pico alargado de infecciones. Esta meseta involucra que o la pandemia

tiende a la baja o se presentan nuevos repuntes de la enfermedad. Los datos actuales publicados por la Secretaría de Salud muestran que está sucediendo un repunte considerable en los casos de infectados y defunciones en el estado.

Es difícil establecer si en todo caso la disminución en un momento dado en la transmisión de la enfermedad se deba al proceso natural de la epidemia, dado que en la entidad no existe una coordinación con las autoridades centrales de salud y a la vez en algunos municipios no acatan las disposiciones estatales.

Debido a la complejidad de la pandemia y para aproximarnos al conocimiento y al comportamiento de la misma fue necesario recurrir a diversos modelos matemáticos, los cuales se fundamentan en ecuaciones diferenciales, al analizar los mismos se decidió que el modelo matemático clásico más utilizado y con un fundamento adecuado para su entendimiento y aproximación a la pandemia, así como para lograr el objetivo del presente trabajo fue el modelo matemático Susceptible-Infectado-Recuperado, conocido como SIR .

En efecto, por el hecho de sustentarse en ecuaciones diferenciales presenta cierto nivel de complejidad, diversos autores tienen diferencias en las mismas y algunas de las tasas estimadas presentan dificultades extremas, y por qué no decirlo en ocasiones confusiones y desacuerdo entre los mismos matemáticos al incurrir en el campo de la salud. Sin embargo, nos parece que este instrumento es invaluable y un buen aporte desde las matemáticas para conocer y prever lo que sucede con este fenómeno, son esenciales estos sistemas para conocer a detalle la evolución y el impacto de la pandemia, poder establecer en función de las mismas medidas de control de salud y de interacción social, lo que implica el control de contactos, la planeación del sistema de salud, la disposición de los recursos ambulatorios y medicinales.

Los diversos escenarios de modelaje de la pandemia del COVID-19 por medio del sistema SIR se apoyaron en el paquete de proyecto R “EpiEstim” (Cori A. , Ferguson, Fraser, & Cauchemez, 2013; Cori A. , Ferguson, Fraser, & Cauchemez, 2019) y posteriormente con el paquete de simulación “CovidSIM” generados por (Universidad Eberhard-Karls, Instituto de Espistemología Clínica y Biometría Aplicada IKEAB, 2020). Nos permitieron simular la pandemia en el estado de Coahuila a partir de una serie de parámetros retomados de los datos publicados a diario por el sistema de salud, parámetros estándar, en otros casos del conocimiento de ciertos indicadores del COVID-19 y el manejo del número básico de reproducción (R_0) por medio del número básico de reproducción efectiva (R_t). Apoyados en esta perspectiva matemática sencilla, los epidemiólogos suelen considerar que el número reproductivo básico es uno de los parámetros decisivos para determinar si una epidemia es susceptible de control (Ridenhour, Kowalik, & Shay, 2018).

En consecuencia establecer y administrar medidas de control de contacto en diversos contextos, como el aislamiento en el hogar, las fábricas y empresas, instituciones de educación de todo tipo, actividades esenciales y no esenciales permite un control y un desarrollo moderado de la epidemia.

Estas simulaciones permitieron establecer tres escenarios desde el escenario 1 sin control de contactos, el escenario 2 el control de contacto al 50% y el escenario 3 con el control de contactos del 63% de número básico reproductivo. Estos escenarios permiten dar cuenta del comportamiento de la curva epidémica, el comportamiento e impacto en la población susceptible, infectada, recuperada y la fallecida por la epidemia. Los modelos estiman la efectividad de las intervenciones para bajar el R_0 , pero en último término la evolución de este parámetro depende del comportamiento humano y de la adherencia al confinamiento (Sanchez, 2020).

Desde luego, al mostrar este sistema como un modelo, implica estar en posibilidades de conocer sus componentes, como interactúan y dependen unos de otros, los procesos que se establecen en el transcurso del tiempo, los impactos y las perturbaciones, la evolución del mismo, inferir y evaluar las decisiones de salud y políticas que se toman para reconocer en última instancia el estado de la población afectada y la evolución de la enfermedad. Aún más importantes es que, basándose en este modelo matemático sencillo, consideramos que el número reproductivo básico es uno de los parámetros clave y significativos para determinar si una epidemia es susceptible de control, desde luego este control implica estar vinculado a disminuir la propagación del virus mediante estrategias de distanciamiento y confinamiento social, mientras no existan otras medidas más efectivas como la vacunación masiva.

Sin embargo, tal como se ha expuesto el sistema de la epidemia nos muestra un estado de la población vulnerable y en alto riesgo, donde urgen las decisiones concertadas y coordinadas de las diversas instancias gubernamentales. Pero sobre todo, es necesario que la población asuma normas que se alejen del individualismo, para tomar valores fincados en la cooperación, la solidaridad y el cuidado mutuo, de tal forma que identificamos estos valores como la nueva normalidad con el fin primero de hacer frente a esta guerra silenciosa que mata sin motivo ni razón.

Referencias bibliográficas

Anzo-Hernández, A., Velázquez-Castro, J., Bonilla-Capilla, B., & Soto-Bajo, M. (2018). Modelado y simulación de epidemias transmitidas por mosquitos en redes meta-poblacionales. [En línea] Disponible en:

<http://memorias.somib.org.mx/index.php/memorias/article/download/580/391>.

Fecha de consulta: 22 de agosto de 2020.

Cardillo, A. (2014). Beyond simple complex-networks: coevolution, multiplexity and time-varying interactions. [En línea] Disponible en:

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=203648>

Fecha de consulta 22 de agosto de 2020.

CCI, Centro Cochrane Iberoamericano. (2020). Evidencias COVID-19. [En línea] Disponible en: <https://es.cochrane.org/es/>. Fecha de consulta: 22 de Julio de 2020.

Cori, A., Ferguson, N.M., Fraser, C., & Cauchemez, S. (2013). Un nuevo marco y un software para estimar los números de reproducción que varían en el tiempo durante las epidemias. *Revista americana de epidemiología*, 178(9), 1505–1512. [En línea] Disponible en: <https://doi.org/10.1093/aje/kwt133>. Fecha de consulta: 23 de julio de 2020.

Cori, A., Ferguson, N., Fraser, C., & Cauchemez, S. (2019). *Paquete "EpiEstim"*. [En línea] Disponible en <https://harvardanalytics.shinyapps.io/covid19/>. Fecha de consulta: 23 de julio de 2020.

Economipedia SL en España. (2012). *Economipedia. Haciendo facil la economía*. [En línea] Disponible en: <https://economipedia.com/definiciones/modelo-matematico.html>. Fecha de consulta: 24 de Julio de 2020,

Finkelsteyn, A. (2011). *Epidemias en redes dinámicas*. [En línea] Disponible en: <http://ricabib.cab.cnea.gov.ar/319>. Fecha de consulta: 22 de 8 de 2020, de

Garaluz, G., & Esther, M. (2014). *Modelado matemático de sistemas dinámicos en epidemiología*. [En línea] Disponible en: <https://riuma.uma.es/xmlui/handle/10630/7692>. Fecha de consulta: 22 de 8 de 2020.

Gobierno de México. (2020). Covid-19 México. Información General. (CONACYT-CentroGeo-GeoInt-DataLab). [En línea] Disponible en:

<https://coronavirus.gob.mx/datos/>

Fecha de consulta: 21 de Julio de 2020.

Gobierno de Mexico, Conacyt, CentroGeo, GeoInt, DataLab. (2020). COVID - 19 Tablero México. [En línea] Disponible en: <http://datos.covid-19.conacyt.mx/index.php>

Fecha de consulta: 23 de Julio de 2020.

Gobierno de México, Secretaria de Salud. (2020). Documentos de consulta - Coronavirus. [En línea] Disponible en: <https://coronavirus.gob.mx/documentos-de-consulta>

Fecha de consulta: 23 de Julio de 2020.

Gobierno de México, Secretaria de Salud, Subsecretaria de Prevención y Promoción de la Salud. (2020). Informe Técnico Diario Covid-19 México. México. [En línea] Disponible en: <https://coronavirus.gob.mx/datos> Fecha de consulta: 21 de Julio de 2020.

Gobierno de México-CONACYT. (2020). Ecosistema Nacional Informático COVID-19. [En línea] Disponible en: <https://coronavirus.conacyt.mx/> Fecha de consulta: 24 de Julio de 2020.

Herrera, J. L., & González-Parra, G. (2013). Modelado de enfermedades contagiosas mediante una clase de redes sociales dinámicas / *Modeling Infectious Diseases Using a Class of Dynamical Social Networks*. [En línea] Disponible en: http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_fiucv/article/view/5105/4912

Fecha de consulta: 22 de agosto de 2020.

Kermack, W., & McKendrick, A. G. (1927). A contribution to the mathematical theory of epidemics. (115), 700-721. (Communicated by Sir Gilbert Walker, F.R.S.— Received May 13, 1927.) (From the Laboratory of the Royal College of Physicians, Edinburgh.). [En línea] Disponible en: <https://www.jstor.org/stable/94815?seq=1> Fecha de consulta: 22 de agosto de 2020.

Lorenzo, A. F., & Contrera, F. J. (2019). *Simulación de dos enfermedades epidemiológicas de República Dominicana a través del modelo SIR (Original)*. [En línea] Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7121976>. Fecha de consulta: 22 de 8 de 2020.

Muñoz, C., Ochoa, H., & Morales, G. (2011). *Investigación de operaciones*. México: McGrawHill.

OPS, OMS, Organización Panamericana de la Salud, Organización Mundial de la Salud. (2020). Ejercicio de modelaje de covid-19 guía técnica: metodología y

parámetros. en IRIS, Repositorio Institucional para Intercambio de Información: [En línea] Disponible en: <https://iris.paho.org/handle/10665.2/52368> . Fecha de consulta: 23 de julio de 2020.

Ridenhour, B., Kowalik, J. M., & Shay, D. K. (2018). El numero reproductivo básico (Ro): Consideraciones para su aplicación en la salud pública. en *American Journal of Public Health*(108(Suppl 6)), 455-465.

[En línea] Disponible en: <https://doi.org/10.2105/AJPH.2013.301704s>

Fecha de consulta: 22 de julio de 2020.

Sanchez, M. (2020). ¿Qur ofrecen los modelos matemáticoa para estimar la necesidad de hospitalización y/o tratamiento en las unidade de cuidados intensivos debido a la COVID-19? 15-30. [En línea] Disponible en:

<https://theconversation.com/covid-19-pandemia-de-modelos-matematicos-136212>.

Fecha de consulta: 25 de julio de 2020.

Universidad Eberhard-Karls, Instituto de Espistemolgía Clínica y Biometria Aplicada (IKEAB). (2020). Modelo compartimental para: susceptibles, expuesto, infeccioso, recuperado/eliminado. Tubingen, Alemania. [En línea] Disponible en:

<https://iris.paho.org/handle/10665.2/52368> . Fecha de consulta: 24 de julio de 2020.

Universidad Johns Hopkins; Centro de Ciencia e Ingenieria de Sistemas. (2020). Coronavirus COVID-19 (2019-nCov). [En línea] Disponible en:

<https://www.arcgis.com/apps/opsdashboard/index.html#/bda7594740fd40299423467b48e9ecf6>

. Fecha de consulta: 3 de noviembre de 2020.