

Evidencias para la toma de decisiones sobre medidas de mitigación de COVID-19 en Jalisco, México

Evidence for decision-making on mitigation measures for COVID-19 in Jalisco, Mexico

Evidências para a tomada de decisões sobre medidas de mitigação do COVID-19 em Jalisco, México

Évidences pour la prise de décision sur les mesures d'atténuation de la COVID-19 à Jalisco, Mexique

Tizoc Vejar Aguirre ¹ , Edtna Jáuregui Ulloa ² , Karen Gallo Sánchez ³ ,

Ricardo Zavala Hernández ⁴ , Abel Armando Arredondo López ⁵ 

DOI: 10.19136/hs.a19n3.3832

Artículo Original

Fecha de recibido: .3 de junio de 2020

Fecha de aceptado: 3 de agosto de 2020

Autor de Correspondencia:

Abel Armando Arredondo López. Dirección postal: Instituto Nacional de Salud Pública.
Avenida Universidad 655. Col Santa María Ahuacatlán. Cuernavaca, Morelos, México CP. 62100.
Correo Electrónico: armando.arredondo@insp.mx

Resumen

Objetivo: Desarrollar un modelo de pronóstico, para apoyar la toma de decisiones en medidas de mitigación de COVID-19 en Jalisco.

Material y métodos: Se desarrolló un modelo matemático, con enfoque determinístico S.E.I.R. para mostrar la evidencia en el desarrollo de la pandemia de COVID-19 en Jalisco. Los estados considerados fueron Susceptibles (S), Expuestos (E), Infectados (I) y Recuperados/fallecidos (R). Los datos poblacionales se obtuvieron en base a CONAPO 2020, con una población de 8'368,311 habitantes. Se tomaron los parámetros siguientes β , γ y σ , para calibrarlo a partir de las estimaciones de R_0 , para que el modelo se reproduzca lo mejor posible, dado que el supuesto es que no existe intervención externa que afecte la tasa de contacto y debido a que en Jalisco se aplicaron medidas de intervención. Se plantearon 5 diferentes escenarios, variando el número básico de reproducción (R_0) como variable de mitigación. Se extendieron las series en el tiempo.

Resultados: El peor de los escenarios (sin intervención) se daría en la primera semana del mes de junio con $R_0=3$ afectando a un 73.2% de la población, pero debido a las medidas de mitigación aplicadas, se observa que el mejor ajuste para el estado es para $R_0=2.2$ (mitigación 37.2%) dando inicio en la última semana del mes de julio afectando un 58.9% de la población, mostrando una fase menos aguda que la de sin intervención, pero de más larga de duración aproximadamente 40 semanas.

Conclusiones: Se requiere un monitoreo, ajuste y adecuación permanente de las medidas de mitigación en las fases de contención y de transmisión sostenida, con un aumento de la capacidad diagnóstica mediante pruebas e incrementar el distanciamiento social. Además, se requerirían nuevos períodos de distanciamiento social intermitente, para prevenir el colapso del sistema estatal de salud, que se activaría con el incremento de la tasa básica de reproducción R_0 .

Palabras clave: Evidencia; Tendencia; Mitigación; COVID-19

¹ Maestro en Gestión de la Salud, Coordinador de Servicios de Salud, O.P.D. Servicios de Salud Jalisco; Región Sanitaria X Zapopan. México.

² Doctora en Salud Pública, Profesor Investigador Titular "C" Coordinador del posgrado de Maestría. Centro Universitario de Ciencias de la Salud, Universidad de Guadalajara, México.

³ Médico Epidemióloga, Coordinadora de Epidemiología O.P.D. Servicios de Salud Jalisco; Región Sanitaria X Zapopan. México.

⁴ Médico Cirujano, Director Jurisdiccional O.P.D. Servicios de Salud Jalisco; Región Sanitaria X Zapopan. México.

⁵ Doctor en Ciencias, Investigador Titular, Instituto Nacional de Salud Pública. México.

Abstract

Objective: To develop a forecasting model to support decision-making on mitigation measures of covid-19 in jalisco.

Material and methods: A mathematical model with a deterministic approach s.e.i.r. was developed. To show the evidence in the development of the covid-19 pandemic in jalisco. The states considered were susceptible (s), exposed (e), infected (i) and recovered / deceased (r). Population data were obtained based on conapo 2020, with a population of 8,368,311 inhabitants.

The following parameters β , γ and σ were taken to calibrate it from the estimates of r_0 , so that the model reproduces itself as best as possible, since the assumption is that there is no external intervention that affects the contact rate and due to that in jalisco intervention measures were applied. 5 different scenarios were proposed, varying the basic number of reproduction (r_0) as a mitigation variable. The series were extended in time.

Results: The worst case scenario (without intervention) would occur in the first week of june with $r_0 = 3$ affecting 73.2% of the population, but due to the mitigation measures applied, it is observed that the best adjustment for the state it is for $r_0 = 2.2$ (mitigation 37.2%) beginning in the last week of july, affecting 58.9% of the population, showing a less acute phase than that of no intervention but of longer duration, approximately 40 weeks.

Conclusions: Continuous monitoring, adjustment and adaptation of mitigation measures are required in the containment and sustained transmission phases, with an increase in diagnostic capacity through tests and increased social distancing. In addition, new periods of intermittent social distancing would be required to prevent the collapse of the state health system, which would be activated with the increase in the basic rate of reproduction r_0 .

Key words: evidence; trend; mitigation; covid-19

Resumo

Objetivo: Desenvolva um modelo de previsão para apoiar a tomada de decisões sobre medidas de mitigação do COVID-19 em Jalisco.

Material e métodos: Um modelo matemático com uma abordagem determinística S.E.I.R. foi desenvolvido. mostrar as evidências no desenvolvimento da pandemia de COVID-19 em Jalisco. Os estados considerados foram Suscetíveis (S), Expostos (E), Infectados (I) e Recuperados / Falecidos (R). Os dados populacionais foram obtidos com base no CONAPO 2020, com uma população de 8.368.311 habitantes.

Os seguintes parâmetros β , γ e σ foram tomados para calibrá-lo a partir das estimativas de R_0 , para que o modelo seja reproduzido da melhor forma possível, pois pressupõe-se que não há intervenção externa que afete a taxa de contato e devido a que em Jalisco foram aplicadas medidas de intervenção. Foram propostos 5 cenários diferentes, variando o número básico de reprodução (R_0) como variável de mitigação. As séries foram estendidas no tempo.

Resultados: O pior cenário (sem intervenção) ocorreria na primeira semana de junho com $R_0 = 3$ afetando 73,2% da população, mas devido às medidas de mitigação aplicadas, observa-se que o melhor ajuste para o estado é para $R_0 = 2,2$ (mitigação 37,2%) a partir da última semana de julho, afetando 58,9% da população, mostrando uma fase menos aguda do que a de nenhuma intervenção, mas de maior duração, aproximadamente 40 semanas.

Conclusões: O monitoramento, ajuste e adaptação contínuos das medidas de mitigação são necessários nas fases de contenção e transmissão sustentada, com aumento da capacidade de diagnóstico por meio de testes e aumento do distanciamento social. Além disso, novos períodos de distanciamento social intermitente seriam necessários para evitar o colapso do sistema de saúde do estado, que seria ativado com o aumento da taxa básica de reprodução R_0 .

Palavras-Chave: Evidência; Tendência; Mitigação; COVID-19

Résumé

Objectif : Développer un modèle de prévision pour aider la prise de décision relative aux mesures d'atténuation de la covid-19 à jalisco.

Matériel et méthodes: Un modèle mathématique avec une approche déterministe s.e.i.r. a été développé pour montrer les évidences dans le développement de la pandémie de la covid-19 à jalisco. Les catégories d'individus suivantes ont été considérées : susceptibles (s), infectés non-infectieux (e pour exposed), infectés (i) et rétablis/décédés (r). Les données démographiques proviennent de conapo 2020, avec une population de 8 368 311 habitants.

Les paramètres β , γ et σ ont été pris pour la calibration à partir des estimations de r_0 , afin que le modèle se reproduise au mieux, en partant de l'hypothèse qu'aucune intervention externe affecte le taux de contact et en considérant que des mesures d'intervention ont été appliquées à jalisco. Cinq scénarios différents ont été envisagés, en faisant varier le nombre de reproduction de base (r_0) comme variable d'atténuation. Les séries ont été prolongées dans le temps.

Résultats: Le scénario le plus défavorable (sans intervention) pourrait se produire au cours de la première semaine de juin avec $r_0=3$ et 73,2 % de la population affectée; mais, en raison des mesures d'atténuation appliquées, on observe que le meilleur ajustement pour l'état est avec $r_0=2,2$ (atténuation 37,2 %) à partir de la dernière semaine de juillet avec 58,9 % de la population affectée, ce qui montre une phase moins aiguë qu'en absence d'intervention, mais d'une durée plus longue, d'environ 40 semaines.

Conclusions: Durant les phases de contention et de transmission soutenue, il est nécessaire de garantir une surveillance, un ajustement et une adaptation continus des mesures d'atténuation, en incluant une augmentation de la capacité de diagnostic au moyen de tests et le renforcement de la distanciation sociale. Par ailleurs, de nouvelles périodes intermittentes de distanciation sociale seraient nécessaires pour éviter l'effondrement du système de santé public, qui serait déclenché par l'augmentation du taux de base de reproduction r_0 .

Mots clés : évidences ; tendance ; atténuation ; covid-19

Introducción

A principios de diciembre del 2019 en la ciudad de Wuhan, capital de la provincia de Hubei¹, en China central, se reportó un grupo de personas enfermas con un tipo de neumonía desconocida. Al realizar los estudios correspondientes de los afectados, se descubrió que tenían vínculos con trabajadores del mercado mayorista de mariscos del sur de China. En tiempo récord el centro chino para el control y prevención de enfermedades (CDC) identificó a un nuevo patógeno un betacoronavirus de ARN con envoltura², que produce un síndrome respiratorio agudo severo (S.A.R.S) y actualmente se le conoce como (SARS-CoV-2 o COVID-19)³⁻⁴. La rápida expansión del virus por países del continente asiático, Europa, África, América y Oceanía obligó a la OMS a reconocer al COVID-19 como una pandemia global el 11 de marzo de 2020⁵⁻⁶.

Hasta el 24 de mayo de 2020, se han informado de más de 5.4 millones de casos en más de 213 países y territorios en el mundo, con más de 346, 000 muertes y 2.2 millones de personas recuperadas⁷⁻⁸. Los diez países con mayor número de infectados son Estados Unidos, España, Italia, Francia, Alemania, Reino Unido, Turquía, Irán, China y Rusia.

Las autoridades mexicanas confirmaron el primer caso, el día 27 de febrero del 2020, el cual se trató de un hombre de 35 años con antecedente de viaje a Italia, el cual se aisló en el Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias (I.N.E.R.) con sintomatología leve. A los pocos días de que el virus arribara a la ciudad de México, se sumaron más estados como Sinaloa, Chiapas y Coahuila.

Actualmente el COVID-19 se encuentra en franca transmisión comunitaria en Jalisco, por lo que nos obliga a realizar un análisis por parte del gobierno, mediante la planificación de decisiones en salud pública, tomando las medidas necesarias para reducir el efecto de esta pandemia. La población Jalisciense se encuentra en un riesgo latente de contagio, el poder prever posibles escenarios que se muestran en este estudio nos ayuda a contener y mitigar la epidemia en Jalisco.

El día 14 de marzo en Jalisco se confirmaron los dos primeros casos COVID-19, el primero una paciente femenina de entre 50 y 54 años, residente de Zapopan, con antecedente de viaje a Italia y España. El segundo una femenina de entre 60 y 64 años trabajadora del sector salud, con residencia en Zapopan con antecedente de viaje a Alemania. Acorde al comportamiento de la pandemia en las diversas zonas del mundo, en Jalisco se adelantaron las medidas para mitigar y frenar su impacto declarándose cuarentena voluntaria el día 17 de marzo del 2020, solamente dos días después de que

se confirmaran los dos primeros casos. Con especial énfasis en frenar su velocidad de transmisión y poder preparar el sistema estatal de salud para la atención de casos, evitando el colapso, disminuyendo el impacto social y económico.

Por lo tanto, el COVID-19 ha logrado en muy poco tiempo, convertirse en un importante factor transformador de la sociedad. Los patrones de consumo y de comportamiento han cambiado drásticamente desde que el virus se robó los titulares de la prensa internacional, desde que las redes sociales explotaron con contenidos relacionados, produciendo incertidumbre en la sociedad sobre un futuro por demás incierto.

Pero existen herramientas matemáticas que permiten medir la magnitud de las epidemias y su comportamiento, creando modelos epidemiológicos que nos ayudan a estudiar los problemas derivados de las enfermedades, cuyo objetivo es describir, explicar y predecir fenómenos, en áreas geográficas definidas, para entender a su vez la dinámica en la dispersión de la enfermedad entre la población en diferentes escenarios⁹.

En matemáticas, modelizar es intentar extraer aspectos significativamente importantes de una situación real, plasmándolos en forma de expresiones y ecuaciones, además de poner en marcha esta maquinaria para intentar explicar la realidad física y predecirla. Salvo en procesos muy sencillos, lo que se obtenga nunca va a ser exacto, debido a que el modelo no necesariamente puede captar toda la realidad ni todas las variables involucradas, no es perfecto, pero si es perfectible. Apoyando a estudiar el proceso y prever de alguna forma, cómo la introducción de medidas concretas puede hacer que la evolución futura varíe¹⁰.

En este sentido no intentaremos hacer una predicción en tiempo real con números concretos (en particular, para ello necesitaríamos más datos médicos y políticos de los que no disponemos), si no el mostrar la influencia de las medidas de contención en el desarrollo de una epidemia.

El objetivo de este artículo, es desarrollar un modelo pronóstico para desarrollar medidas de mitigación de COVID-19 en Jalisco, México.

Con el fin último de mostrar la influencia y efecto de las medidas de contención y mitigación para el corto, mediano y largo plazo en un área geopolítica determinada (nivel estatal).

En muchas situaciones de la vida real, lo que los matemáticos y epidemiólogos buscan, es poder determinar una estimación de R_0 , y estudiar cómo a través de acciones humanas aunado a políticas en salud, es posible variar el valor de R_0 de manera de que se obtenga $R_0 < 1$.

Actualmente en Jalisco, se han implementado varias políticas públicas, con el objetivo de reducir este R_0 como medidas de mitigación comunitaria (cancelación eventos privados y públicos, cierre de escuelas, cierre de actividades no esenciales, restricción de viajes, etc.), comunicación eficiente de las autoridades de salud, distanciamiento social, cuarentena, lavado de manos y en estos últimos días se implementó el uso obligatorio de cubrebocas en la vía pública, todas estas acciones hacen que la tasa básica de reproductibilidad o R_0 disminuya.

Desde el inicio de la pandemia de COVID-19, se han publicado diferentes modelos epidemiológicos en China¹¹, Japón¹² e Italia¹³, entre otros países. Sin embargo, en la literatura no se han identificado modelos epidemiológicos en Jalisco. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue el desarrollar un modelo S.E.I.R. pronóstico del comportamiento de la pandemia de COVID-19 en el Estado.

Se trata de una investigación evaluativa, basada en análisis cuantitativo, mediante el desarrollo de modelos de pronóstico de cambios epidemiológicos esperados en una población determinada. Existen diferentes modelos donde los escenarios posibles son limitados, caracterizándolos por el tipo de control de las variables a analizar dentro del modelo, podemos establecer dos grandes grupos, los determinísticos y los estocásticos.

La diferencia básica entre ellos, es que los modelos determinísticos consideran a los individuos pertenecientes a un estado del modelo como un conjunto, mientras que en los modelos estocásticos los sujetos son considerados de manera individual. Así los modelos determinísticos se pueden utilizar en grandes poblaciones y facilitan el estudio de análisis de la epidemia¹⁴.

El modelo determinístico suele indicar diversos estados por los que puede pasar un individuo y considera los diferentes estados de salud caracterizándolos, partiendo de que ante el surgimiento de una nueva enfermedad contagiosa, como en el caso de estudio de COVID-19, toda la población es SUSCEPTIBLE, pero se cuenta con una clase de individuos que portan la enfermedad, que al hallarse en su periodo de incubación, no muestra síntomas (asintomáticos) y aún puede infectar a otros, a dichos individuos se les denomina EXPUESTOS, pero en el momento que un solo individuo adquiere la nueva enfermedad se vuelve INFECTADO o INFECTANTE, en este último grupo los individuos que no están enfermos y que han adquirido inmunidad (total o temporal no está bien definido aún), es decir, no pueden volver a enfermarse se le llama RECUPERADOS y en esta categoría también pueden incluirse aquellos individuos que han muerto a causa de la enfermedad; partiendo de estos

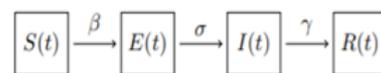
supuestos estados básicos, el curso natural de una enfermedad podría llevar a diferentes estados entre los individuos.

Dichos modelos fueron desarrollados por Kermack y McKendrick en 1927 y han sido aplicados en diversos escenarios de epidemias¹⁵⁻¹⁶. Estos modelos estiman el número teórico de personas Susceptibles de enfermarse (Susceptibles), Expuestos, el número de enfermos (infectados) y el número de personas que no pueden transmitir la enfermedad (Recuperados o Muertos), en una población en un periodo largo de tiempo¹⁷.

Los supuestos que sustentan estos modelos son:

- A) La población es homogénea y de tamaño fijo.
- B) En un momento determinado con los siguientes conjuntos: Susceptibles, Expuestos, Infectados, o Recuperados.
- C) La interacción entre los individuos es aleatoria.
- D) No hay intervención externa que cambie la tasa de contacto de la población.

En estos modelos se asume que la población por estado (N) es constante y que el número de individuos susceptibles $S(t)$, Expuestos $E(t)$, Infectados $I(t)$ y Recuperados o Fallecidos $R(t)$ son variables dependientes del tiempo, de manera que:



Los susceptibles se pueden infectar cuando entran en contacto con contagiados, con un parámetro β denominado tasa de infección, y cuyo valor depende de si la enfermedad es más o menos contagiosa, hay otro parámetro σ , de tal forma que $1/\sigma$ es el tiempo promedio de incubación. Así mismo, los infectados se recuperan con el tiempo, con un parámetro γ denominado tasa de recuperación y que depende del tiempo que suele durar la enfermedad.

Las ecuaciones diferenciales del modelo S.E.I.R. básicos son:

$$\left\{ \begin{array}{l} S'(t) = \beta S(t)I(t)/N, \\ E'(t) = \beta S(t)I(t)/N - \sigma E(t), \\ I'(t) = \sigma E(t) - \gamma I(t), \\ R'(t) = \gamma I(t), \end{array} \right.$$

En el estudio de epidemias, actualmente sabemos que la probabilidad de que exista un brote o epidemia, está determinada por la "tasa básica de reproductibilidad" llamado R_0 definido como el número de casos secundarios en una población susceptible, producidos por un individuo infeccioso (paciente cero), y está determinado los parámetros β y γ , son respectivamente, la tasa de transmisión (mide la probabilidad de que un susceptible se infecte cuando entra

en contacto con un infectado y se asume que estos contactos han sido de forma aleatoria, acorde a la teoría de redes complejas) y la tasa de recuperación (de tal manera que el periodo medio de recuperación es $1/\gamma$) de la enfermedad, y dependiendo de cuál sea su valor en el desarrollo de la epidemia (cuánto dura o el número total de infectados, por ejemplo) puede ser muy distinto.

En una epidemia, un parámetro muy importante es:

$$R_0 = \beta / \gamma$$

Es decir, cuantos individuos o población se van a infectar directamente del paciente cero, en general si $R_0 < 1$ la epidemia desaparecerá y si $R_0 > 1$ puede que estemos en un caso de endemia.

Lo que significa que cuanto más pequeño sea R_0 de manera más lenta evolucionará la epidemia (en la práctica, y para una epidemia real concreta, la observación de la epidemia permite medir R_0 y a partir de ahí estimar β).

Material y métodos

Se desarrolló un modelo matemático con enfoque determinístico S.E.I.R. para mostrar la evidencia, en el desarrollo de la pandemia de COVID-19 en Jalisco. Los estados considerados fueron Susceptibles (S), Expuestos (E), Infectados (I) y Recuperados/fallecidos (R).

Los datos poblacionales se obtuvieron del departamento de planeación del O.P.D. servicios de salud Jalisco en base a la proyección CONAPO del censo de población y vivienda INEGI 2010, con una población total de 8'368,311 habitantes. Para definir la sensibilidad del modelo y la incertidumbre de los parámetros elegidos del modelo, se compararon con los casos de positivos a COVID-19 por laboratorio, publicados en la página de la Dirección General de Epidemiología, esto conforme al decreto publicado en el Diario Oficial de la Federación el 20 de febrero del 2015, que establece la regulación en materia de *Datos Abiertos*.

Se definió como unidad de análisis de tiempo a los días naturales y la información fue desagregada para cada fecha reportada. Los cálculos se realizaron con el programa de Excel® 365 ProPlus.

Preparación del modelo, lo más importante para poder estudiar el comportamiento de una epidemia, es conocer el valor de los parámetros en ella involucrados; β , γ y σ en el caso del modelo S.E.I.R. para Jalisco.

Para COVID-19, y siguiendo lo publicado por Lin y colaboradores¹⁸ $\gamma = 14$ días como tiempo de recuperación y como tiempo de incubación promedio o $\sigma = 7$ días, la tasa básica de reproductibilidad R_0 se ubicó inicialmente en 3.1 en la provincia china de Wuhan y que luego fue disminuyendo gradualmente. Se tomo como base la tasa de letalidad en 6.7% publicado el día 22 de mayo en el comunicado técnico diario de la Secretaria de Salud.

La esencia de este modelo una vez que lo tenemos establecido, el primer paso es calibrarlo a partir de las estimaciones de R_0 , esto es, buscar valores de los parámetros que hagan que el modelo se reproduzca lo mejor posible, dado que el supuesto del modelo es que no existe intervención externa que afecte la tasa de contacto y debido a que en Jalisco se aplicaron medidas de intervención, se procuró elaborar un modelo diferente con 5 escenarios, asumiendo que el valor inicial $R_0 = 3$ (muy al inicio de la epidemia y sin medidas de mitigación) y posterior a las medidas implementadas por el gobierno estatal, los porcentajes de mitigación se calcularon en presencia de las medidas de contención como escuelas y universidades cerradas, labores no esenciales suspendidas, práctica de "susana distancia", sugerencia de uso de cubrebocas e higiene profunda y el confinamiento voluntario en casa.

Se realizó un modelo S.E.I.R. con 5 diferentes R_0 (3, 2.5, 2.2, 2 y 1.5)

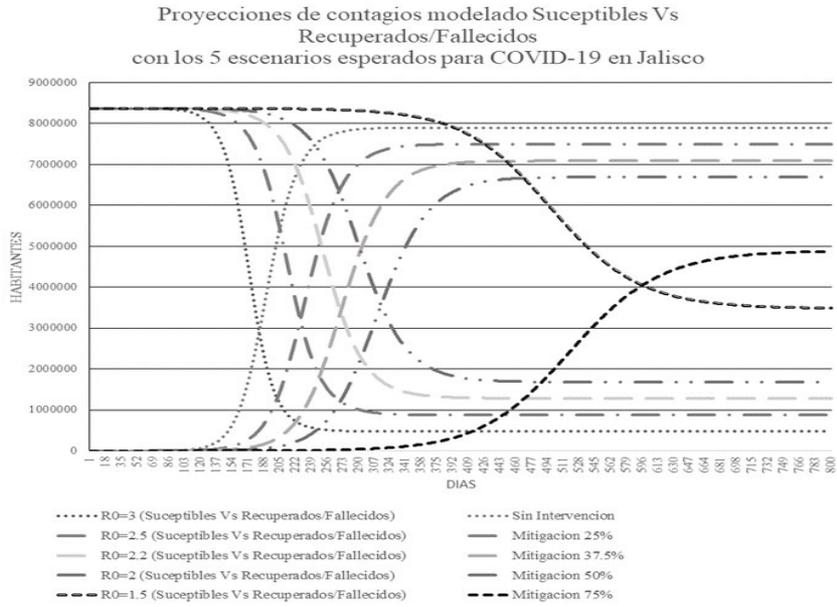
- Escenario 1: $R_0 = 3$ con factor de mitigación del 0%
- Escenario 2: $R_0 = 2.5$ con factor de mitigación del 25%
- Escenario 3: $R_0 = 2.2$ con factor de mitigación del 37.5%
- Escenario 4: $R_0 = 2.0$ con factor de mitigación del 50%
- Escenario 5: $R_0 = 1.5$ con factor de mitigación del 75%

Resultados

El primer caso confirmado se presentó el día 14 de marzo, tomando en cuenta esta fecha de inicio, supongamos que en las primeras semanas hay un número inicial muy pequeño de infectados. La evolución posterior, en las 35 semanas siguientes, depende esencialmente del valor R_0 y salvo llegar a los mismos niveles de infectados algo antes o algo después, el resto de la evolución no depende para nada del número inicial de infectados.

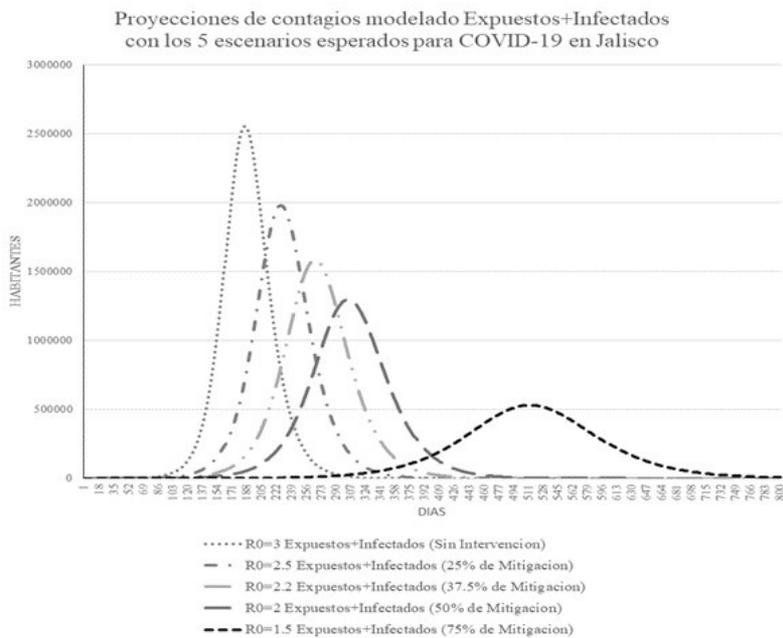
De acuerdo con la figura I, en el primer escenario la evolución "espontánea" suponiendo que no hay ninguna atención sanitaria ni intervención externa y coordinada de ningún tipo; eso seguramente fue aplicable literalmente a muchas de las epidemias letales en la historia.

Figura I. Proyecciones de contagios modelado Susceptibles Vs. Recuperados/Fallecidos con los 5 escenarios esperados para COVID-19 en Jalisco.



Fuente: Elaboración propia

Figura II. Proyección de contagios modelado Expuestos+Infectados con los 5 escenarios esperados para COVID-19 en Jalisco.



Fuente: Elaboración propia

El valor $R_0=3$ conduce como se muestra en la figura I, tras 13 semanas de crecimiento muy lento, casi “subterráneo” y casi exponencial a un brote que “despega” en el día 93 (semana 13). Al día 189 (semana 27) alcanza el pico con el 73.2% de la población infectada (6'128,217), con un aumento de la letalidad de 398,334 habitantes. A partir de entonces disminuye hasta prácticamente desaparecer al día 307 (semana 43).

En la figura II se muestra que la fase aguda de la epidemia visible de expuestos más infectados fue bastante rápida, con una duración de todo el proceso de 215 días (30 semanas), afectando el 95% de la población. Solo recordando sin hacer ninguna intervención.

En el segundo escenario figura I, con un índice reproductivo de $R_0=2.5$ el despegue del brote ocurre al día 115 (semana 16), alcanzando su máximo el día 231 (semana 33) afectando al 65.8% de la población (5'505,757) y una letalidad de 357,874 habitantes. Extinguiéndose prácticamente en el día 365 (semana 52). La fase aguda algo menos que sin intervención con una duración de 251 días (35 semanas) afectado al 90% en total figura II.

El tercer escenario figura I, con un índice aún menor $R_0=2.2$ el inicio del brote ocurre al día 136 (semana 19), alcanzando su máximo el día 270 (Semana 38) con un 58.9% de la población (4'925,866) y una letalidad de 320,183 personas, se extingue al día 421 (semana 60). La fase aguda menos que los anteriores escenarios figura II, y una duración de 286 días (40 Semanas) afectando al 85 % de la población.

El cuarto escenario figura I, con un índice reproductivo de $R_0=2$, inicia el brote en el día 158 (semana 22), su pico máximo el día 308 (semana 44) con una afectación del 53.6%

(4'481,430) y una letalidad de 291,293, finalizando el brote en el día 475 (semana 67). La fase aguda aún menor figura II, con una duración de 318 días (45 semanas) afectando al 80% de la población.

Finalmente, en el quinto escenario figura I, con un índice reproductivo de $R_0=1.5$, el inicio ocurre al día 284 (semana 40), Alcanzando su máximo el día 517 (semana 73) afectando al 35% (2,925,082 Jaliscienses) con una letalidad de 190,130 defunciones. Finalizando el brote al día 761 (semana 108). En la fase aguda figura II, mostrando un evidente aplanamiento de la curva (pico más bajo, aunque más extendida en el tiempo) con una duración de 478 días (68 semanas) afectando al 58.2% de la población al final del brote.

La Figura II agrupa los 5 gráficos de la fracción de Expuestos más Infectados para los diferentes $R_0=3, 2.5, 2.2, 2$ y 1.5 y en ella se aprecia perfectamente esas características.

La lección para conservar es que valores menores de R_0 con lleva tres consecuencias:

- Una extensión temporal de la epidemia extendida a lo largo de una mayor duración.
- Unos picos en la evolución de la fracción expuestos-infectados más tardíos y bajos.
- Un porcentaje total de la población que se infectó durante la primera oleada.

La altura de cada pico no depende para nada del número inicial de infectados; modificar ese número inicial solo hace que el “despegue” y luego el pico principal se alcancen tras un número diferente de “semanas”, pero la altura del pico y la duración de la fase aguda son las mismas.

Tabla I. Características principales del modelo con diferentes R_0

	$R_0=3$	$R_0=2.5$	$R_0=2.2$	$R_0=2$	$R=1.5$
Inicio del brote (semana)	13 (15/06/20)	16 (07/07/20)	19 (28/07/20)	22 (16/08/20)	40 (23/12/20)
Pico máximo (semana)	27 (19/09/20)	33 (31/10/20)	38 (09/12/20)	44 (16/01/20)	73 (13/08/21)
Población afectada en pico máximo (n)	6,128,217	5,505,757	4,925,866	4,481,430	2,925,082
Población afectada en pico máximo (%)	73.2	65.8	58.9	53.6	35
Defunciones en pico máximo (n)	398,334	357,874	320,183	291,293	190,130
Fin del brote (semana)	43 (15/01/20)	52 (14/03/20)	60 (09/05/21)	67 (02/07/21)	108 (14/04/22)
Duración total brote (semana)	30	35	40	45	68
Población total afectada (%)	95	90	85	80	58.2

Fuente: Elaboración propia

Ahora bien, si se mantienen las mismas condiciones del brote, bajo los supuestos del modelo antes descritos, se puede resumir en la siguiente tabla I:

En resumen, se enumeran los siguientes 6 hallazgos de la aplicación del modelo:

1. De acuerdo con la simulación, el estado crítico de la epidemia de COVID-19 en Jalisco, estaría en el rango de los dos o tres meses posteriores al primer caso.
2. Se recomienda aumentar la cantidad de pruebas para COVID-19, ya que se corre el riesgo de estar observando sólo la punta del iceberg.
3. Una epidemia es en parte un fenómeno social, de ahí es importante obedecer las recomendaciones de la autoridad en salud, para aplanar la curva de infectados en un tiempo más prolongado a manera de no sobrecargar el sistema estatal de salud y así mitigar los efectos colaterales.
4. La principal variable por vigilar, es la fracción de la población que sigue siendo susceptible de ser infectada.
5. Mientras esta fracción de población susceptible se encuentre vigente, habrá más de dos o tres oleadas, por lo que hay que estar preparados para estar entrando y saliendo de cuarentena, dependiendo del comportamiento de la tasa de reproducción básica o R_0 .
6. Mantener la mortalidad lo más baja posible, será la máxima prioridad para las personas. Además, los gobiernos deben establecer medidas para mejorar la inevitable recesión económica¹⁹.

Discusión

Los modelos predictivos de epidemias, permiten a los gobiernos planificar y preparar acciones concretas de manera anticipada, como en el caso de Jalisco. Las proyecciones aquí presentadas son totalmente replicables en los sistemas estatales de salud o cualquier región, solo ajustando los parámetros como el tamaño de la población, con su respectivo análisis se pueden obtener resultados similares a los aquí propuestos.

Solo una precisión, es que la pandemia no se reduce a modelos de proyección. Es necesario considerar al menos tres aspectos: la estabilidad o mutación del virus, la susceptibilidad e inmunidad adquirida tras la infección y lo que se haga o se deje de hacer desde la sociedad.

Se han detectado numerosas mutaciones del coronavirus desde su identificación, sin que afecte su virulencia. Se supone que la inmunidad adquirida tras la infección dura al menos un año y está en relación con la variabilidad del virus, como en la influenza.

En la experiencia mundial de la pandemia actual, hay tres tipos de respuesta o estrategias.

La primera es no responder, la segunda es la estrategia de mitigación y la tercera la estrategia de supresión. La estrategia de no hacer nada, fue utilizada por países como Estados Unidos de América, Reino Unido y Suecia, esta se basa en la inmunidad de rebaño o colectiva: el brote epidémico se da sin ningún obstáculo y una parte significativa de la población adquiere inmunidad, pero los efectos negativos son enormes en morbilidad y mortalidad, con repercusiones en aspectos sociales y culturales. Esta estrategia ha sido abandonada poco a poco.

La estrategia de mitigación, parte de que el coronavirus puede ser prevenido solo parcialmente. Por tanto, apunta a reducir el pico de infecciones o aplanar la curva, la hospitalización y la mortalidad. Incluye un conjunto de políticas públicas, como el distanciamiento social, la intensificación de higiene individual, el utilizar cubrebocas, aislamiento obligatorio a las personas mayores de 60 años o más, pruebas diagnósticas a personas asintomáticas o casos probables, filtros sanitarios, cuarentena de sintomáticos y positivos, cierre de escuelas y universidades, cierre de bares, bibliotecas, cines, teatros, estadios, control de conglomeraciones, aislamiento y distanciamiento social obligatorio; con excepciones que incluyen ir a trabajar, diversas medidas de alivio económico y el transporte público. En esta estrategia se intenta equilibrar o encontrar un punto entre la salud individual y colectiva, la capacidad de respuesta del sistema de salud y la afectación de la economía.

La estrategia de supresión, parte de que es posible controlar la epidemia y utiliza todos los aspectos mencionados en la estrategia de mitigación, de manera dura o extrema, en especial el diagnóstico masivo y el seguimiento efectivo, el aislamiento social, la suspensión del transporte público y privado, la clausura de la producción y los mercados. Esta estrategia conduce a un cierre o bloqueo económico y social de varios meses, que requiere una sólida economía, un estado fuerte y una sociedad sin grandes fisuras políticas. Los mejores ejemplos de esta estrategia han sido China²⁰, Corea del Sur y Singapur²¹.

Ambas estrategias, tienen como supuesto que en 12 a 18 meses se encontrará un tratamiento efectivo o una vacuna. Basados en estos, se debería continuar con las medidas de mitigación comentadas, pero es indispensable fortalecer el

diagnóstico y seguimiento para evaluar de manera adecuada la primera etapa de aislamiento social y determinar si es posible retornar progresivamente a algunas condiciones de normalidad de la vida social. Esto no excluye las medidas de cuarentena de positivos y el aislamiento social selectivo, entre otras medidas.

Por otro lado, las medidas de mitigación tienen como finalidad, disminuir la velocidad de la propagación de la infección, mediante un diagnóstico temprano a través de tamiz de pruebas rápidas o montaje de laboratorios regionales, que permitan aproximar tempranamente el número de casos y anticiparse a la transmisión sostenida, hasta tener una vacuna o medicamento efectivo para erradicar el virus.

Un modelo reciente realizado con datos de la pandemia en China, encontró que por cada caso confirmado de coronavirus hubo 12 casos no detectados²⁰.

En la presente investigación, el comportamiento en la velocidad de propagación observada mediante R_0 podría estar relacionado con la fase que se encuentra el brote en el estado, las medidas de prevención y control de la epidemia adoptada en Jalisco, se basan en experiencias de otros países, y han mostrado efectos muy significativos, frenando efectivamente la propagación de la epidemia de COVID-19, pero deben seguir realizándose esfuerzos para contener la expansión.

Conclusiones

Cabe resaltar, que esta conclusión no se puede comprobar de manera inferencial dado la poca información que hay, los resultados que diera cualquier prueba de bondad de ajuste como, por ejemplo, la Chi cuadrado entre otras, no generaría más información. En este sentido, una vez definido que el modelo más ajustado al comportamiento de los casos al 23 de mayo del 2020.

Las limitantes de este estudio, es que los modelos y las predicciones se manejan bajo supuestos y en este caso el modelo presentado, no toma en cuenta la posibilidad de un repunte, pero es notorio para el estado que la curva de contagio se está retrasando, no debemos relajarnos, hay que tomar en serio las recomendaciones, pensando con inteligencia colectiva.

Los resultados de nuestras simulaciones numéricas, estiman la efectividad de las intervenciones disminuyendo el R_0 , pero en último término la evolución de este parámetro depende del comportamiento humano y de la adherencia a la cuarentena.

Agradecimientos

A todo el personal del sector salud, por su entrega al enfrentar esta pandemia.

Conflicto de interés

No se contó con ninguna fuente de financiamiento. Los investigadores y los resultados de investigación, no tienen ningún conflicto de interés en el análisis y publicación de los datos. Así como la participación de los investigadores.

Referencias

1. Li Q, Guan X, Wu P, et al. Early Transmission Dynamics in Wuhan, China, of Novel Coronavirus-Infected pneumonia. *N Engl J Med*. [Internet] 2020; Citado 25 de marzo de 2020; 382:1199-1207. Disponible en: <https://bit.ly/39spYE3>.
2. Lu R, Zhao X, Li J, et al. Genomic characterisation and epidemiology of 2019 novel coronavirus: implications for virus origins and receptor binding. *Lancet* [Internet]; 2020; Citado el 25 de marzo de 2020; 395:565-574. Disponible en: <https://bit.ly/3bNqTAL>.
3. Zhu N, Zhang D, Wang W, et al. A novel coronavirus from patients with pneumonia in China, 2019. *N Engl J Med* [Internet] 2020; Citado el 25 de marzo de 2020; 382:727-733. Disponible en: <https://bit.ly/39uR9yc>.
4. Wu, JT, Leung, K., Bushman, M. et al. Estimating clinical severity of COVID-19 from the transmission dynamics in Wuhan, China. *Nat Med* [Internet]. 2020. Citado el 25 de marzo de 2020. Disponible en: <https://bit.ly/2R0IQoB>
5. Coronavirus (COVID-19) events as they happen [Internet]. World Health Organization. Citado el 25 de marzo de 2020. Disponible en: <https://bit.ly/3bECmCn>
6. Surveillances, Vital. The Epidemiological Characteristics of an Outbreak of 2019 Novel Coronavirus Diseases (COVID-19)—China. *China CDC Weekly* [Internet]. 2020. Citado el 25 de marzo de 2020. 2,8,113-122. Disponible: <https://bit.ly/2WV3JUA>
7. «Coronavirus COVID-19 Global Cases». Johns Hopkins University. Consultado el 23 de abril de 2020.
8. «Coronavirus Update (Live): Cases and Deaths from COVID-19 Virus Outbreak Worldometer». www.worldometers.info

9. Montesino L. O, Hernández S C. Modelos matemáticos para enfermedades infecciosas. *Salud Pública de México*. Vol 49, No 3. mayo-junio 2007. p218.
10. Gutiérrez J.M, & Varona J.L.. (2020). Análisis de la posible evolución de la epidemia de coronavirus COVID-19 por medio de un modelo SEIR. Marzo 15,2020, de UNIRIOJA Sitio web: https://www.unirioja.es/apnoticias/servlet/Archivo?C_BINARIO=12051
11. Peng L, Yang W, Zhang D, et al. Epidemic analysis of COVID-19 in China by dynamical modeling. arXiv preprint arXiv [Internet]. 2002. Citado 25 de marzo de 2020. 06563. Disponible en: <https://arxiv.org/abs/2002.06563>
12. Giuliani D, Dickson MM, Espa G, et al. Modelling and predicting the spread of Coronavirus (COVID-19) infection in NUTS-3 Italian regions. arXiv preprint arXiv [Internet]. 2020. Citado 25 de marzo de 2020.2003.06664. Disponible en: <https://arxiv.org/abs/2003.06664>
13. Jia W, Han K, Song Y, et al. Extended SIR prediction of the epidemics trend of COVID-19 in Italy and compared with Hunan, China. *MedRxiv* [Internet]. 2020. Citado 25 de marzo de 2020. Disponible en: <https://bit.ly/2ycRHeW>
14. Manrique-Abril, Fred G., Agudelo-Calderon, Carlos A., González-Chordá, Víctor M., Gutiérrez-Lesmes, Oscar, Téllez-Piñerez, Cristian F., & Herrera-Amaya, Giomar. (2020). Modelo SIR de la pandemia de COVID-19 en Colombia. *Revista de Salud Pública*, 22(1), e185977. Epub April 07, 2020. <https://dx.doi.org/10.15446/rsap.v22.85977>
15. Mikler AR, Venkatachalam S, Abbas K. Modeling infectious diseases using global stochastic cellular automata. *J Biol Syst*. [Internet]. 2005. Citado 25 de marzo de 2020; 13(4):421–39. Disponible en: <https://bit.ly/2wFIETE>
16. Velasco-Hernández JX, Leite MC. A model for the A(H1N1) epidemic in Mexico, including social isolation. *Salud Pública Mex* [Internet]. 2011. Citado 25 de marzo de 2020;53(1):40–7. Disponible en: <https://bit.ly/2Jngbo3>
17. Heesterbeek JA. A brief history of R_0 and a recipe for its calculation. *Acta Biotheor* [Internet]. 2002. Citado 25 de marzo; 50(3):189–204. Disponible en: <https://bit.ly/2QYw4Wt>
18. Qianying Lin, Shi Zhao, Daozhou Gao, Yijun Lou, Shu Yang, Salihu S. Musa, Maggie H. Wang, Yongli Cai, Weiming Wang, Lin Yang, Daihai He, A conceptual model for the coronavirus disease 2019 (COVID-19) outbreak in Wuhan, China with individual reaction and governmental action, *International Journal of Infectious Diseases* 93 (2020), 211–216. Publicado: March 04, 2020. [https://www.ijidonline.com/article/S1201-9712\(20\)30117-X/fulltext](https://www.ijidonline.com/article/S1201-9712(20)30117-X/fulltext)
19. Anderson RM, Heesterbeek H, Klinkenberg D. How will country-based mitigation measures influence the course of the COVID-19 epidemic? *The Lancet* [Internet]. 2020. Citado 25 de marzo de 2020. 395,10228, 931-4. Disponible en: <https://bit.ly/3dzG4iB30>
20. Li R, Pei S, Chen B, Song Y, Zhang T, Yang W, et al. Substantial undocumented infection facilitates the rapid dissemination of novel coronavirus (SARS-CoV2). *Science* [Internet]. 2020. Citado 25 de marzo de 2020. Disponible en: <https://bit.ly/2vXQirV>
21. Vernon V, Calvin J, Chiew C, et al. Interrupting transmission of COVID-19: lessons from containment efforts in Singapore. *Journal of Travel Medicine*. [Internet]. 2020. Acceso 29 de marzo de 2020. Disponible en: <https://bit.ly/2vXQirV>