Denarius
ISSN: 2448-5403
denariusuami@gmail.com
Universidad Autónoma Metropolitana
México

# EVALUACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DE LAS MEDIDAS DE MITIGACIÓN PARA APLANAR LA CURVA EPIDÉMICA DE LA COVID-19: EVIDENCIA DE CINCO CIUDADES DE MÉXICO

**Rojas Valdés1, Rubén Irvin**

EVALUACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DE LAS MEDIDAS DE MITIGACIÓN PARA APLANAR LA CURVA EPIDÉMICA DE LA COVID-19: EVIDENCIA DE CINCO CIUDADES DE MÉXICO

Denarius, vol. 40, núm. 1, 2021

Universidad Autónoma Metropolitana, México

**Disponible en:** https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=695673173004

DENARIUS. Número 42, enero-junio de 2022, es una publicación semestral editada por la Universidad Autónoma Metropolitana a través de la Unidad Iztapalapa, División de Ciencias Sociales y Humanidades, Departamento de Economía. Prolongación Canal de Miramontes 3855, Col. Ex-Hacienda de San Juan de Dios, Alcaldía Tlalpan, C. P. 14387, Ciudad de México y Av. San Rafael Atlixco, Núm. 186. Col. Vicentina, Alcaldía Iztapalapa, C. P. 09340, Ciudad de México, teléfonos 5558044768 y 5558044769. Página electrónica: https://denarius.izt.uam.mx/index.php/denarius y dirección electrónica: denarius@xanum.uam.mx Editor responsable: Roberto Gutiérrez Rodríguez. Certificado de Reserva de Derechos al Uso Exclusivo de Título No. 04-2004-011510501800-203-102, ISSN 2448-5403, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número Óscar Iván Reyes Maya, Departamento de Economía de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, Av. San Rafael Atlixco, Núm. 186. Col. Vicentina, Alcaldía Iztapalapa, edificio H, planta baja, oficina 1. C. P. 09340, Ciudad de México, teléfono: 5558044600, ext. 6564. Fecha de la última modificación 01 marzo de 2022.Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la Universidad Autónoma Metropolitana

DENARIUS. Número 42, enero-junio de 2022, es una publicación semestral editada por la Universidad Autónoma Metropolitana a través de la Unidad Iztapalapa, División de Ciencias Sociales y Humanidades, Departamento de Economía. Prolongación Canal de Miramontes 3855, Col. Ex-Hacienda de San Juan de Dios, Alcaldía Tlalpan, C. P. 14387, Ciudad de México y Av. San Rafael Atlixco, Núm. 186. Col. Vicentina, Alcaldía Iztapalapa, C. P. 09340, Ciudad de México, teléfonos 5558044768 y 5558044769. Página electrónica: https://denarius.izt.uam.mx/index.php/denarius y dirección electrónica: denarius@xanum.uam.mx Editor responsable: Roberto Gutiérrez Rodríguez. Certificado de Reserva de Derechos al Uso Exclusivo de Título No. 04-2004-011510501800-203-102, ISSN 2448-5403, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número Óscar Iván Reyes Maya, Departamento de Economía de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, Av. San Rafael Atlixco, Núm. 186. Col. Vicentina, Alcaldía Iztapalapa, edificio H, planta baja, oficina 1. C. P. 09340, Ciudad de México, teléfono: 5558044600, ext. 6564. Fecha de la última modificación 01 marzo de 2022.Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura

PDF generado a partir de XML-JATS4R por Redalyc
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

del editor de la publicación.Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la Universidad Autónoma Metropolitana

**Esta obra está bajo una** Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Artículos científicos

# EVALUACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DE LAS MEDIDAS DE MITIGACIÓN PARA APLANAR LA CURVA EPIDÉMICA DE LA COVID-19: EVIDENCIA DE CINCO CIUDADES DE MÉXICO

## Evaluating the Effectiveness of Mitigation Policies to Flatten the COVID-19 Epidemic Curve: Evidence from Five Mexican Cities

Rubén Irvin Rojas Valdés1 irvin.rojas@cide.edu
*Centro de Investigación y Docencia Económicas (CIDE), División de Economía, México*

Denarius, vol. 40, núm. 1, 2021

Universidad Autónoma Metropolitana, México

Recepción: 22 Febrero 2021
Aprobación: 22 Marzo 2021

**Redalyc:** https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=695673173004

**Resumen:** En este artículo se estiman los beneficios de aplanar la curva epidémica de la COVID-19 en las cinco ciudades de México que concentraron la mayoría de los casos al inicio de la epidemia. En promedio, se estima que las medidas de mitigación reducen el número de casos en 46%. Una epidemia de menor magnitud permite una mejor administración de los casos por el sistema de salud al diferir en el tiempo la presión a los recursos de salud. Esto resulta en que el 69% de los fallecimientos que hubieran ocurrido sin medidas de mitigación son evitados por las políticas de distanciamiento social (aproximadamente 129,000 personas). Estos beneficios pueden ser monetizados en cerca de 219 mil millones de dólares, lo que repre-senta casi una quinta parte del PIB de México.

**Palabras clave:** México, COVID-19, costo-beneficio, epidemia.

**Abstract:** This paper estimates the benefits of flattening the COVID-19 epidemic curve in the five Mexican cities that concentrate most of the cases in the country. On average, the analysis finds that mitigation policies reduced the number of total cases in 46%. A smaller epidemic allows each city's the healthcare system to better manage cases by delaying the pressure on health resources. The result is that 69 % of the deaths that would have occurred were averted by mitigation policies (about 129,000 people). These benefits can be monetized as about 219 billion USD, which represents an important amount of the Mexican GDP.

**Keywords:** Mexico, COVID-19, cost-benefit, epidemic.

## 1. Introducción

La COVID-19 se ha expandido alrededor del mundo causando más de tres millones de muertes. Como respuesta a la pandemia, los gobiernos nacionales y locales realizaron una serie de intervenciones no farmacéuticas (Ferguson et al. 2020) para desacelerar la transmisión de la enfermedad y permitir a los sistemas de salud manejar mejor los casos nuevos y existentes que demandan cuidados especializados.

PDF generado a partir de XML-JATS4R por Redalyc
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Sin embargo, estas políticas tienen importantes y duraderos impactos económicos. Por tanto, una pregunta importante es cómo cuantificar los beneficios de estas medidas para las sociedades. Para este propósito, este artículo analiza cómo las medidas de mitigación reducen el número de casos de COVID-19, la presión a los servicios de salud y los fallecimientos, al comparar lo ocurrido en un escenario con políticas de mitigación con un escenario no controlado, simulado usando parámetros obtenidos de la literatura temprana sobre la COVID-19. El número de fallecimientos evitados puede ser monetizado usando el valor de una vida estadística (VVE), concepto comúnmente empleado en la evaluación de políticas de salud, de transporte y medioambientales.

Desde el punto de vista analítico, el análisis costo-beneficio desarrollado en este artículo se sustenta en un modelo neoclásico de comportamiento. Se asume que las medidas de mitigación son necesarias para reducir el número de fallecimientos pues la pérdida de capital humano es costosa para la economía. Al mismo tiempo, los agentes económicos balancean el riesgo de contagio y de fallecimiento con los beneficios por seguir participando en la economía, por lo que las políticas no buscan erradicar completamente la enfermedad, sino hacer más manejable el número de casos a través del sistema de salud.

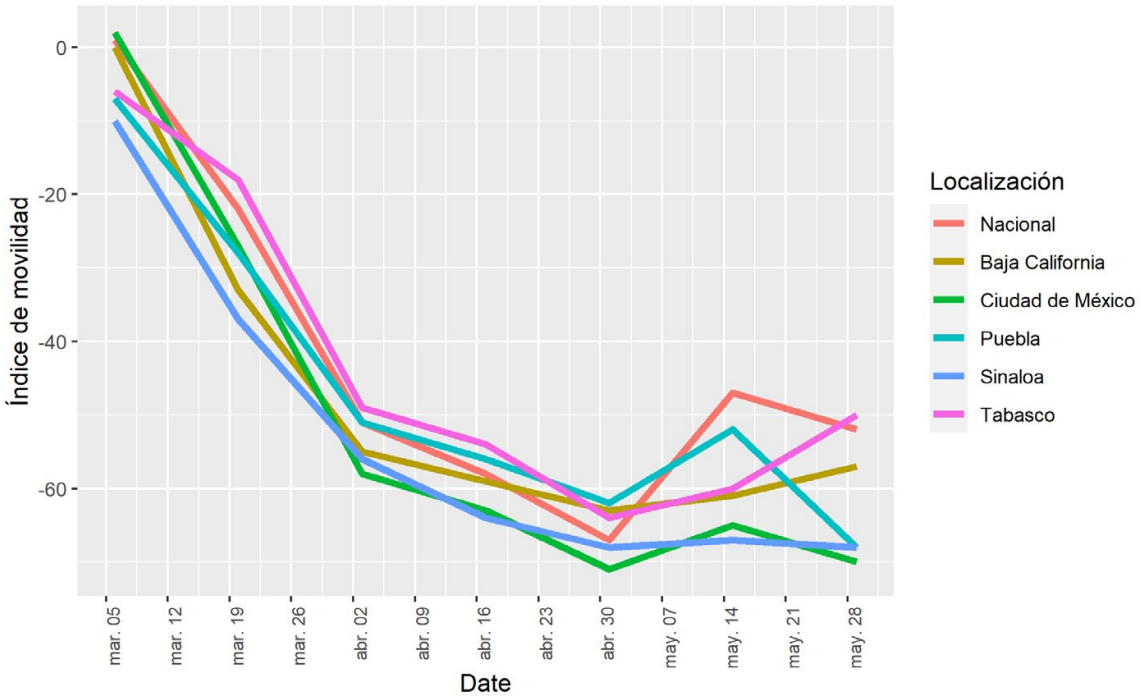
El primer caso de COVID-19 en México se confirmó el 29 de febrero de 2020 y, solo durante el 2020, de acuerdo con cifras oficiales de la Secretaría de Salud, se registraron más de un millón y medio de casos confirmados, provocando más de 150 mil muertes. Sin embargo, durante las primeras semanas de la epidemia, solo cinco ciudades concentraban más del 50% de los casos confirmados: Va- lle de México (44.7%), Tijuana (3.28%), Villahermosa (2.77%), Puebla-Tlaxcala (2.64%) y Culiacán (2.13%). El análisis de este artículo se concentra en estas cinco ciudades para estudiar la efectividad de la mitigación.

A nivel nacional, el gobierno mexicano canceló todas las actividades educativas desde el 20 de marzo y las actividades económicas no esenciales desde el 26 de marzo de 2020. Sin embargo, no se implementaron restricciones obligatorias a los viajes domésticos ni se implementaron encierros obligatorios para las personas. Las medidas de mitigación enfatizaron la comunicación para promover la higiene y la distancia personal. Al mismo tiempo, algunos gobiernos locales implementaron algunas medidas más restrictivas, como el uso obligatorio del cubrebocas en público o restricciones a la oferta de transporte, aunque la mayoría de ellas fueron observadas de forma muy laxa.

La Figura 1 muestra un índice de movilidad durante las primeras semanas de la epidemia (Graff et al. 2020) para cada una de las entidades federativas a las que pertenecen las ciudades analizadas.2 Este índice mide el número de viajes usando datos de teléfonos y aplicaciones móviles. De acuerdo con este índice, la movilidad se redujo 20% aún antes de que comenzaran las medidas de mitigación. Para el inicio de abril, la movilidad era 60% más baja que el nivel base.

PDF generado a partir de XML-JATS4R por Redalyc
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

**Figura 1.**
Índice de movilidad en las entidades con mayor número de casos COVID-19




Elaborado con datos de Graff et al. (2020)

[2] El Vallé de México incluye a la Ciudad de México y a algunos los municipios en el Estado de México, Hidalgo. En este artículo se emplea el nombre Valle de México para diferenciar el análisis de otros que se enfocan exclusivamente en el área administrativa de la Ciudad de México. Puebla-Tlaxcala incluye las capitales de los estados homónimos, siendo Puebla la más grande de ellas y, por tanto, sólo se presenta el índice de movilidad del estado de Puebla.

En lo que resta del artículo se estudia la efectividad de las medidas de mitigación para reducir la presión en el sistema de cuidados de salud y en la reducción del número de fallecimientos. En la Sección 1 se describen los métodos usados para estimar los flujos diarios de casos en cada ciudad. En la Sección 2 se estima la demanda y la oferta de camas de hospital y unidades de cuidado intensivo (UCI). En la Sección 3 se estudia la interacción entre la demanda por recursos de salud con la disponibilidad de estos para determinar cuándo el sistema de salud se sobresatura. La Sección 4 analiza la sensibilidad de mis estimaciones. La Sección 5 concluye y discute avenidas para investigación futura.

## 2. Proyección de los casos diarios de COVID-19

En este artículo se evalúan la efectividad de las medidas de mitigación en términos de las muertes evitadas por COVID-19 y del aplanamiento de la curva epidémica, que permitió una administración más efectiva de los casos. Para hacer esto, se comparan dos escenarios. Un escenario denominado controlado y que está dado por el número de casos diarios

observados en México durante el 2020. Este número de casos se usa para proyectar la demanda de camas de hospital y UCI que ocurrieron en cada ciudad, así como el número de pacientes que fallecieron. En el análisis se enfatiza que los pacientes enfrentan probabilidades de sobrevivencia diferenciadas, dependiendo de si el sistema de salud se encuentra sobresaturado o no. El número de casos, el número de fallecimientos y varios indicadores de la presión al sistema de salud se comparan con un esce- nario contrafactual.

El escenario contrafactual no controlado representa el número de casos que hubieran ocurrido si no se hubieran llevado a cabo medida de mitigación. Para hacer transparente el ejercicio, en este artículo se presentan los casos diarios estimados usando un modelo SEIR determinístico para cada ciudad, incorporando parámetros de la literatura sobre la COVID-19. Por tanto, el escenario no controlado no toma en cuenta otros factores que pudieran modificar el compor-tamiento de la población, como cuarentenas voluntarias o medidas de distan-ciamiento social autoorganizadas.

Para estimar el modelo SEIR, se calcularon las poblaciones de cada ciudad usando datos oficiales de 2020 (CONAPO, 2020) y se agregó la población municipal al nivel ciudad de acuerdo con el Sistema Urbano Nacional (SUN). ′Para estimar el modelo, se empleó un periodo de infección de 2.9 días (Kucharski, et al. 2020) y un periodo de incubación de 5.2 días (Li et a., 2020). Finalmente, se emplearon los registros oficiales de la Secretaría de Salud de México sobre casos diarios de COVID-19 durante los primeros 15 días después del primer caso en cada ciudad para estimar el número básico de reproducción ().3

En la Tabla 1 se presenta un resumen del tamaño de las epidemias en cada ciudad bajo cada escenario. Es decir, se compara el tamaño observado de casos con el número de casos que hubieran existido sin medidas de mitigación. La mitigación redujo el tamaño de la epidemia en hasta 71% en Tijuana, en donde también se redujeron el número de casos en el pico de la epidemia (el día con mayor número de casos) en 90%. En el Valle de México, la ciudad con el mayor número de casos, la mitigación reduce el tamaño de la epidemia en 46%. Las medidas de distanciamiento también retardan la fecha en que se alcanza el pico de la epidemia en cada ciudad, con importantes consecuencias para el uso de los recursos de salud, como se muestra más adelante.

[3] Para esta estimación uso un intervalo serial promedio de 7.5 (desviación estándar de 3.4) (Nishiura, *et al*, 2020). El estimado para Culiacán, Puebla-Tlaxcala, Tijuana, Valle de México y Villahermosa es 2.20, 1.83, 2.41, 2.14 y 1.84, respectivamente.

PDF generado a partir de XML-JATS4R por Redalyc
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

**Tabla 1**
Fechas de pico número de casos en el pico y tamaño
estimado de la epidemia en ciudades seleccionadas de México

| Ciudad | Escenario | Casos totales | Cambio (%) con respecto a escenario no controlado | Fecha del pico | Casos en el pico | Cambio (%) con respecto a escenario no controlado |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Culiacán | c | 11,898 | -51.55 | 01/07/2020 | 86 | -87.65 |
| | u | 24,558 | | 19/04/2020 | 696 | |
| Puebla-Tlaxcala | c | 42,996 | -40.10 | 15/06/2020 | 439 | -71.24 |
| | u | 71,779 | | 26/04/2020 | 1,526 | |
| Tijuana | c | 15,250 | -71.45 | 07/12/2020 | 169 | -90.11 |
| | u | 53,422 | | 12/04/2020 | 1,709 | |
| Valle de México | c | 499,363 | -45.68 | 10/12/2020 | 6,381 | -74.52 |
| | u | 919,309 | | 02/04/2020 | 25,046 | |
| Villahermosa | c | 27,204 | -19.04 | 20/07/2020 | 336 | -53.44 |
| | u | 33,602 | | 26/04/2020 | 722 | |

cálculos usando un modelo SEIR para el escenario no controlado (u)
y usando una aproximación normal para el escenario controlado (c).

## 3. Oferta y demanda de recursos de salud

En este artículo se emplean parámetros estimados por Ferguson et al (2020) para proyectar la proporción de casos que requieren hospitalización y cuidados especializados. En particular, se asume que el 30% de los casos nuevos requerirán hospitalización y que 5% requerirán una UCI. Estas cifras son consistentes con los registros oficiales.4 Se asume también que cada paciente usa el respectivo recurso de salud (cama de hospital o UCI) por 15 días (Gaythorpe, 2020). Empleando el número diario de casos requiriendo atención especializada, se estima el número de camas y UCI ocupadas en cada día. Esta demanda, junto con la disponibilidad de recursos disponibles, determina si un nuevo paciente recibirá o no atención médica el día siguiente.

De acuerdo con la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Econó- micos (OECD, 2019), en México hay 1.4 camas de hospital por cada 1,000 habitantes, la cifra más baja para un país de la OCDE. Sin embargo, no todas estas camas son camas propias para hospitalización. Usando datos del Catálogo de Establecimientos de Salud (CLUES) de la Secretaría de Salud (2020), se estima el acervo de camas de hospital y de UCI en cada ciudad. La Tabla 2 revela que la epidemia de COVID-19 puso al descubierto no solo las deficiencias estructurales del

PDF generado a partir de XML-JATS4R por Redalyc
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

sistema de salud mexicano en el agregado, sino que también exacerbó las desigualdades en el acceso a la salud entre los estados.

**Tabla 2**
Población y número de camas y de UCI en ciudades seleccionadas de México

| Ciudad | Población (millones) | Camas (número) | UCI (número) | Camas por 1,000 habs. | UCI por 1,000 habs. |
|---|---|---|---|---|---|
| Tijuana | 2.01 | 2,365 | 29 | 1.18 | 0.01 |
| Valle de México | 21.94 | 29,917 | 1,104 | 1.36 | 0.05 |
| Puebla-Tlaxcala | 3.18 | 4,827 | 124 | 1.52 | 0.04 |
| Culiacán | 0.96 | 1,479 | 71 | 1.54 | 0.07 |
| Villahermosa | 0.89 | 1,268 | 61 | 1.43 | 0.07 |

cálculos con datos del Catálogo de Establecimientos de Salud de la de la Secretaría de Salud (2020) y del CONAPO (2020)

Tijuana tiene la cantidad de recursos de salud más baja entre las cinco ciudades analizadas. El Valle de México, con la mayor cantidad de población en el país, tiene una disponibilidad de recursos menor que ciudades mucho más pequeñas, como Culiacán y Villahermosa. Culiacán es, de entre las ciudades analizadas, la que tiene mayor disponibilidad de recursos de salud por cada 1,000 habitantes.

La mayoría de los recursos de salud están siempre en alta demanda, por lo que el acervo de camas y UCI calculados anteriormente no estaban en su totalidad disponibles para atender pacientes por COVID-19. Greenston y Nigam (2020) estiman que cerca del 37% de las UCI en los Estados Unidos podían recibir pacien- tes COVID-19. Moghadas et al. (2020) utilizan un nivel de 65% de disponibilidad para realizar sus proyecciones de demanda de recursos de salud en dicho país. Para México, análisis preliminares del sistema de salud durante la epidemia estimaron una disponibilidad de camas de hospital de entre 10 y 15%. Dado que no se dispone de datos en tiempo real durante la epidemia sobre la disponibilidad de camas y UCI, se asume una disponibilidad de 15% para los cálculos. Nótese que esto no toma en cuenta los incrementos en la disponibilidad hechos por los gobiernos y el sector privado en respuesta a la epidemia. En una sección posterior en este artículo se simula el efecto de un incremento en la capacidad. Dada una disponibilidad inicial de camas de hospital (o UCI) () en cada ciudad, el número de camas (o ICU) disponibles para atender pacientes de COVID-19 en el día sigue la regla dada por la Ecuación 1:

$$s_t^k = \min\{max\{s_{t-1} - c_{t-1}, 0\} + c_{t-15}, s_0^k\} \qquad (1)$$

donde indexa el tipo de recursos de salud (camas o UCI) ($s_0^k$)

[4] Al 30 de mayo de 2020, la proporción de casos que requirieron hospitalización fue de 30.8 y la de casos que requirieron UCI fue de 3.76%

PDF generado a partir de XML-JATS4R por Redalyc
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

La intuición de esta regla es que la oferta de camas (o UCI) en depende de la oferta del periodo anterior, menos el número de pacientes que requieren una cama (o UCI). Este número decrece conforme el número de casos que requieren una cama (o UCI) se incrementa rápidamente al inicio de la epidemia y hasta que se terminan los recursos disponibles. es el número de casos que ocuparon una cama (o UCI) 15 días atrás, quienes se recuperan o fallecen en el periodo y, por tanto, liberan una cama (o UCI).

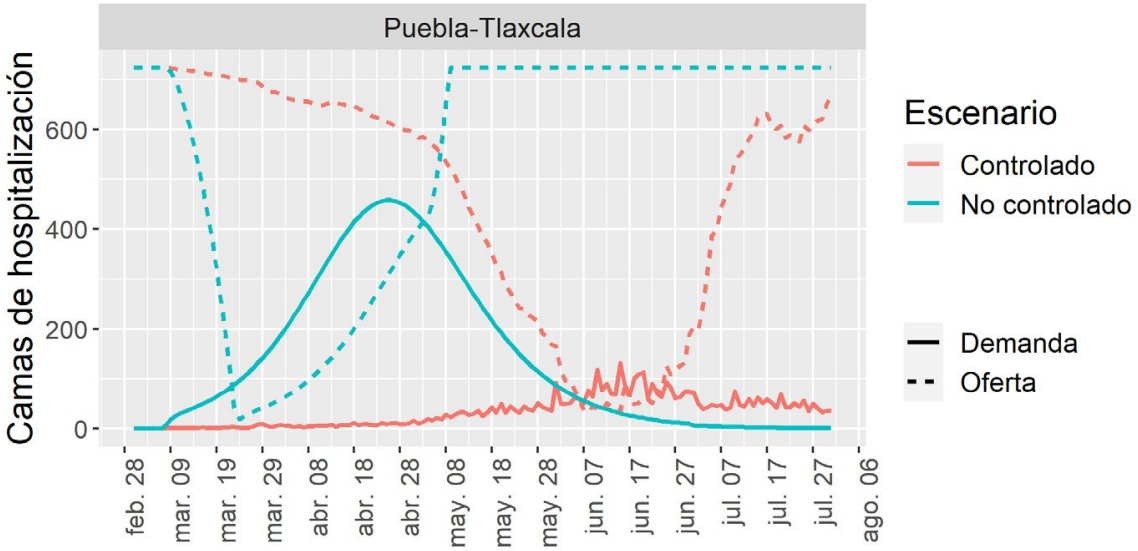
## 4. Exceso de demanda y flujos de fallecimientos

El número de casos diarios que requieren una cama (UCI) y el número de camas (UCI) disponibles diariamente para tratar pacientes COVID-19 define el tiempo y la severidad en que el sistema de salud se satura. La capacidad de camas (UCI) se encuentra sobresaturada en un cierto día si hay más pacientes que requieren una cama de hospital (UCI) de las camas (UCI) disponibles.

Uno de los objetivos principales de las medidas de mitigación es permitir al sistema de salud administrar mejor los casos severos al retardar, o posiblemente evitar, que el sistema se sobresature. La Figura 2 muestra la intuición del análisis principal de este artículo usando la oferta y la demanda de camas de hospital en Puebla-Tlaxcala, para el periodo que va desde el inicio de la epidemia y hasta el 31 de julio de 2020, para propósitos de claridad. El escenario no controlado se representa con las líneas azules y el escenario controlado con las líneas rojas. La línea sólida en cada escenario es el número de pacientes que requieren una cama de hospital, mientras que la línea quebrada es el número de camas disponibles. Las medidas de mitigación tienen dos efectos. Primero, reducen la demanda total, representada por el área entre la línea sólida y el eje x en cada escenario. Segundo, reducen el número de casos a los que se les niega el cuidado apropiado. Los pacientes que requieren una cama de hospital pero que no la reciben se representan por el área entre la curva sólida y la quebrada en cada escenario.

PDF generado a partir de XML-JATS4R por Redalyc
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

**Figura 2.**
Casos diarios que requieren hospitalización y número de camas disponibles diariamente en Puebla-Tlaxcala




Elaborado con datos de la Secretaria de Salud

En la Tabla 3 se presenta el segundo conjunto de resultados de este artículo. Las medidas de mitigación tienen importantes consecuencias para reducir la saturación del sistema de salud. El número de días en que el total de pacientes que requieren camas de hospital supera al de camas disponibles se reduce hasta en 86% en Tijuana. Sin embargo, en Villahermosa, el número de días con hospitales saturados aumenta en 23%, aunque el número de pacientes a los que se les niega una cama de hospital se reduce en 77%, con respecto al escenario no controlado. Este último resultado refleja la lógica de las medidas para aplanar la curva pues, aunque haya más días con saturación de hospitales, el número de pacientes a los que se les niega el cuidado adecuado disminuye.

A diferencia de lo que sucede con el número de días con sobresaturación de camas, el número de días que las UCI se sobresaturan se incrementa en las cinco ciudades. Aun así, en todos los casos, las medidas de mitigación se traducen en una reducción de más del 75% en el número de pacientes a los que se les niega el cuidado apropiado de una UCI.

La consecuencia más importante de un sistema de salud saturado es que la letalidad de la enfermedad se incrementa cuando no se recibe el cuidado apropiado. Usando el número proyectado de casos, el número de casos que recibe atención apropiada y el número de casos que no, se estima el número de fallecimientos usando los siguientes parámetros para las probabilidades de sobrevivencia.

Los pacientes que requieren una UCI tienen una probabilidad de sobrevivencia de 50% cuando reciben la atención apropiada (Wu y McGoogan, 2020; Greenstone y Nigam, 2020). Sin embargo, cuando el sistema está saturado, estos pacientes ven disminuidas sus probabilidades de sobrevivencia y solo el 10% de ellos sobrevive (Ferguson et al., 2020; Greenstone y Nigam, 2020).

PDF generado a partir de XML-JATS4R por Redalyc
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Para los pacientes que requieren hospitalización (y no UCI) y que reciben el cuidado apropiado, se asume una probabilidad de sobrevivencia de 73%.5 Además, se asume que la letalidad se duplica para los pacientes que requieren una cama cuando el sistema está saturado. En una sección posterior se analiza la sensibilidad de los resultados a estos supuestos. Finalmente, se asume una probabilidad de sobrevivencia para los casos ambulatorios de 98.5% (la tasa observada en los datos).

**Tabla 3**

Duración de la saturación de los recursos de salud y número de pacientes que no reciben atención debido a la saturación

| Ciudad | Escenario | Camas de hospital | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Días saturado | Cambio (%) con respecto a escenario no controlado | Pacientes sin atención | Cambio (%) con respecto a escenario no controlado |
| Culiacán | c | 6 | -82.35 | 24 | -99.13 |
| | u | 34 | | 2,736 | |
| Puebla-Tlaxcala | c | 15 | -64.29 | 598 | -89.90 |
| | u | 42 | | 5,927 | |
| Tijuana | c | 5 | -85.71 | 38 | -99.45 |
| | u | 35 | | 6,932 | |
| Valle de México | c | 45 | 0.00 | 11,756 | -89.76 |
| | u | 45 | | 114,834 | |
| Villahermosa | c | 58 | 23.40 | 679 | -77.03 |
| | u | 47 | | 2,958 | |

| Ciudad | Escenario | UCI | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Días saturado | Cambio (%) con respecto a escenario no controlado | Pacientes sin atención | Cambio (%) con respecto a escenario no controlado |
| Culiacán | c | 58 | 5.45 | 36 | -95.11 |
| | u | 55 | | 726 | |
| Puebla-Tlaxcala | c | 117 | 50.00 | 360 | -83.96 |
| | u | 78 | | 2,242 | |
| Tijuana | c | 123 | 75.71 | 173 | -92.76 |
| | u | 70 | | 2,387 | |
| Valle de México | c | 128 | 82.86 | 5,527 | -84.34 |
| | u | 70 | | 35,291 | |
| Villahermosa | c | 123 | 61.84 | 256 | -75.26 |
| | u | 76 | | 1,033 | |

**Fuente:** Cálculos propios

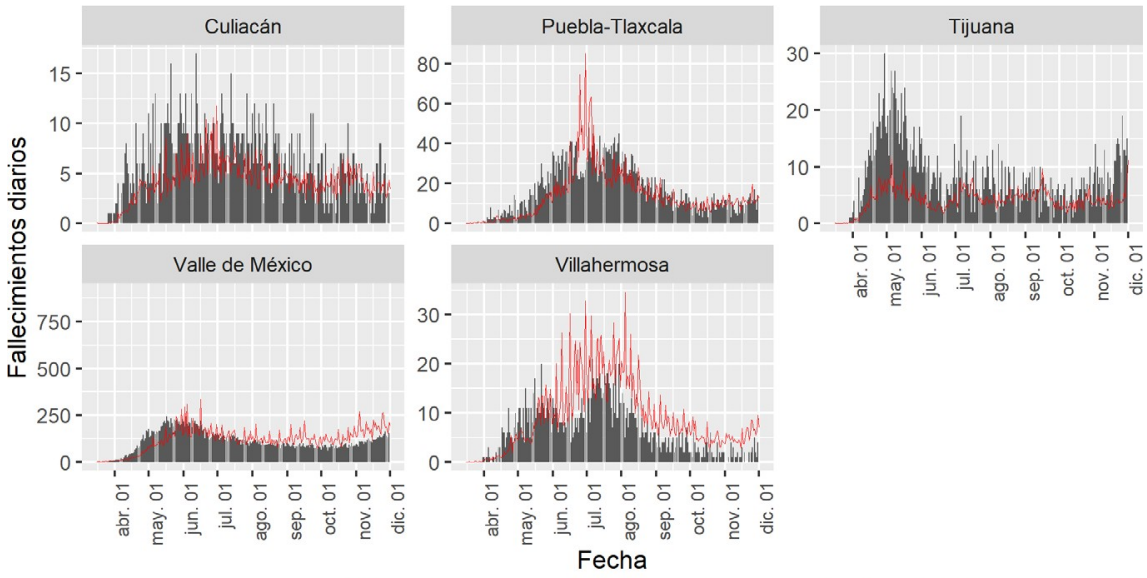
Cálculos propios

PDF generado a partir de XML-JATS4R por Redalyc
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

[5] Esta probabilidad se estimó usando los registros oficiales de casos de covid-19 de la Secretaría de Salud.

En la Figura 3 se comparan las trayectorias proyectadas de fallecimientos en el escenario controlado siguiendo el procedimiento descrito anteriormente junto con el número de fallecimientos reportados por la Secretaría de Salud durante 2020. Como puede notarse, las curvas proyectadas ajustan bien las formas de los datos para las cinco ciudades. Sin embargo, para Culiacán y Tijuana, la pro- yección subestima el número de casos ocurridos.

**Figura 3.**
Fallecimientos registrados y proyectados bajo el escenario controlado




Nota: las barras representan los casos observados en los datos de la Secretaría de Salud.
Las líneas sólidas rojas son los fallecimientos proyectados diarios bajo el escenario controlado.

Elaborado con datos de la Secretaria de Salud

La Tabla 4 muestra el tercer conjunto de resultados de este artículo. Bajo el escenario no controlado, se esperarían más de 186,000 personas fallecidas en las cinco ciudades analizadas (el 84% de ellas en Valle de México). Las medidas de mitigación reducen el número de fallecimientos en hasta 84% en Tijuana, pero solo 47% en Villahermosa. En términos absolutos, hasta 109,000 fallecimientos son evitados en Valle de México y más de 2,400 en Villahermosa.

Finalmente, se emplea el valor de una vida estadística (VVE) para monetizar los beneficios de las políticas de mitigación. El VVE es una medida empleada en la evaluación de costo-beneficio de políticas de salud, de transporte y medioambientales. EL VVE representa la disposición a pagar en unidades monetarias de una reducción marginal en el riesgo de muerte. El VVE no es, por tanto, el valor de una vida asignado por el analista, sino un parámetro revelado por el comportamiento de los agentes. Para estimar el VVE, se emplea un VVE de 3 millones de dólares empleado en evaluaciones de costo-beneficio en países de la OCDE (OECD, 2012), ajustado por el nivel de ingreso y la elasticidad del ingreso, de acuerdo con la metodología detallada en Robinson et al. (2019).

PDF generado a partir de XML-JATS4R por Redalyc
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Asumiendo una elasticidad del ingreso de 1.1, el VVE resultante para México es de 1.7 millones de dólares. Por tanto, se estima que las medidas de mitigación representan un beneficio de 219,444 millones de dólares, equivalente a casi una quinta parte del PIB de México. Las medidas de mitigación también reducen el número de pacientes a los que se les niega el cuidad apropiado y, por tanto, el número de fallecimientos cuando el sistema está saturado. Se estima que más de 96,000 fallecimientos por saturación son evitados con las medidas de mitigación, lo cual puede ser monetizado en 164,480 millones de dólares.

**Tabla 4.**
Fallecimientos totales y fallecimientos por sistema saturado

| Ciudad | Escenario | Fallecimientos | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Número | Cambio (%) con respecto a escenario no controlado | Evitados | VVE (millonesde dólares) |
| Culiacán | c | 1,187 | -70.33 | 2,813 | 4,783 |
| | u | 4,000 | | | |
| Puebla-Tlaxcala | c | 4,225 | -62.18 | 6,946 | 11,808 |
| | u | 11,171 | | | |
| Tijuana | c | 1,453 | -84.36 | 7,837 | 13,323 |
| | u | 9,290 | | | |
| Valle de México | c | 47,329 | -69.73 | 109,025 | 185,343 |
| | u | 156,354 | | | |
| Villahermosa | c | 2,809 | -46.72 | 2,463 | 4,187 |
| | u | 5,273 | | | |
| Culiacán | c | 45 | -97.90 | 2,086 | 3,547 |
| | u | 2,131 | | | |
| Puebla-Tlaxcala | c | 647 | -87.60 | 4,572 | 7,772 |

Cálculos propios

PDF generado a partir de XML-JATS4R por Redalyc
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

(CONTINUACIÓN)

| Ciudad | Escenario | Fallecimientos por saturación del sistema de salud | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Número | Cambio (%) con respecto a escenario no controlado | Evitados | VVE (millonesde dólares) |
| | u | 5,219 | | | |
| Tijuana | c | 176 | -97.01 | 5,715 | 9,716 |
| | u | 5,891 | | | |
| Valle de México | c | 11,322 | -87.93 | 82,450 | 140,164 |
| | u | 93,772 | | | |
| Villahermosa | c | 597 | -76.38 | 1,930 | 3,281 |
| | u | 2,527 | | | |

**Tabla 4.**
Fallecimientos totales y fallecimientos por sistema saturado (Continuación)
Cálculos propios

## 5. Análisis de sensibilidad

El análisis previo tiene algunas limitaciones. Primero, no se dispone de información actualizada sobre cómo las capacidades del sistema de salud se incrementaron en respuesta a la epidemia. Segundo, las proyecciones del escenario no controlado se desprenden de un modelo SEIR transparente, pero simplificado. Y tercero, las proyecciones se basan en un modelo determinístico, que incluye una serie de parámetros obtenidos de la literatura temprana sobre la COVID-19, para estimar la duración y severidad de la saturación del sistema de salud. Para mostrar la sensibilidad del análisis a algunos de los supuestos usados en este artículo, se repitió el análisis principal bajo tres situaciones alternativas.

La Tabla 5 muestra un resumen de estos ejercicios alternativos. Cada fila representa una ciudad y una situación, comparada con su correspondiente es- cenario controlado. En la tabla se muestran los efectos resultantes de las medidas de mitigación en términos del cambio porcentual en el número de casos de COVID-19, el número de casos en el pico, el número de días con recursos saturados, el número de fallecimientos y el número de días con saturación. En las últimas dos columnas se presentan los beneficios monetizados en términos de las muertes evitadas y las muertes evitadas por saturación, comparados con los beneficios de la mitigación en la situación base.

Una reducción del 24% en la letalidad para pacientes a los que se les niega el cuidado apropiado tiene efectos en los beneficios económicos de la mitigación. Reducir la letalidad significa que menos pacientes mueren cuando no reciben el cuidado apropiado. Esto no modifica la presión al sistema de salud pues los casos que requieren hospitalización serán los mismos, pero sí reduce los beneficios de la mitigación en términos del VVE de las muertes evitadas en 10% para el caso de Puebla-Tlaxcala, en 12% para Tijuana, y en 13% para las otras tres ciudades, con respecto a los beneficios obtenidos en el caso base. Esta reducción en los beneficios

PDF generado a partir de XML-JATS4R por Redalyc
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

monetarios ocurre porque la letalidad también se reduce en el escenario no controlado, pero en un número considerablemente mayor.

Un incremento de 20% en la cantidad de recursos de salud iniciales permitiría un mejor manejo de los casos que requieren hospitalización, evitando la saturación. En el escenario base, las medidas de mitigación implican una reducción del número de días en que las camas de hospital se sobresaturan, con respec- to al escenario no controlado, en Culiacán, Puebla-Tlaxcala y Tijuana. Con una capacidad 20% mayor al inicio de la epidemia, la reducción es más drástica y, tanto en Culiacán como en Tijuana, se evitaría por completo la sobresaturación de camas de hospital. En el caso de Villahermosa, en el escenario base los días con sobresaturación se incrementan en 62%, con respecto al escenario no controlado, pero bajo una capacidad aumentada en 20%, el incremento es de 58%. En el caso de las UCI, en el escenario base se encontró que las medidas de mitigación incrementan el número de días con sobresaturación, con respecto al escenario no controlado. Con una capacidad inicial 20% mayor, el incremento de días es menos pronunciado en todas las ciudades. Estos cambios en la sobresaturación de los recursos de salud se traducen en cambios muy pequeños en el número de muertes totales y de muertes a causa de sistemas sobresaturados, por lo que los beneficios monetizados de los fallecimientos evitados son entre 1 y 3% menores con respecto al caso base, mientras que los beneficios monetizados por fallecimientos por sobresaturación se reducen entre 2 y 7% con respecto al caso base.

La intuición detrás de que una mayor disponibilidad de recursos reduzca los beneficios monetarios con respecto al caso base es la siguiente. Dado que se asume que la disponibilidad de recursos incrementada también ocurriría en el escenario no controlado, entonces la epidemia sería más fácil de administrar incluso sin medidas de mitigación.

Finalmente, si el escenario no controlado se caracterizara por una epidemia de solo la mitad del número de casos que en el análisis principal de este estudio, entonces el escenario con medidas de mitigación implica una reducción de casos mucho menor con respecto al escenario no controlado. Por ejemplo, en el Valle de México, el escenario base implica una reducción de 46% en el número de casos, sin embargo, si el escenario no controlado fuera 50% menor, la reducción de casos sería de solo 22%. Esto se traduce en una cantidad menor de muertes evitadas totales y por sobresaturación, reduciendo los beneficios monetarios con respecto al caso base. Para Villahermosa y Puebla-Tlaxcala, un escenario no controlado 50% menor implica que las medidas de mitigación hubieran resultado en más casos que sin dichas medidas, con reducciones mucho más modestas en el número de fallecimientos evitados y con una reducción considerable en los beneficios monetarios. Esto ocurre porque el escenario no controlado ahora está más cercano al controlado, haciendo la mitigación menos efectiva, en comparación con una situación en que ninguna acción se realiza. Puesto de otra manera, un escenario no controlado menos severo hace que las políticas de mitigación sean menos beneficiosas.

PDF generado a partir de XML-JATS4R por Redalyc
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

## 6. Conclusión y agenda

En este artículo se estiman los beneficios de aplanar la cura de la epidemia de COVID-19 en las cinco ciudades de México que concentran el mayor número de casos. En promedio, se estima que las políticas de mitigación reducen el número total de casos en 46%. Una epidemia de menor magnitud permite manejar más efectivamente los casos que requieren atención especializada, lo cual puede implicar que el número de días con recursos sobresaturados se incremente, pero que un menor número de casos enfrenten un alza en las probabilidades de fallecimiento por no recibir la atención adecuada. De acuerdo con el análisis de este artículo, se estima que el 69% de los fallecimientos en el escenario no controlado son evitados por las medidas de mitigación, o alrededor de 129,000 pacientes. Estos beneficios se monetizan en alrededor de 219 billones de dólares, casi una quinta parte del PIB de México.

Algunas limitaciones de este artículo representan avenidas para investiga- ción futura. El presente análisis se basa en los datos disponibles de recursos de salud al inicio de la epidemia. Por tanto, este análisis ignora el impacto de los esfuerzos para incrementar la disponibilidad de recursos de salud hechos por los sectores público y privado. Además, este hecho resalta la importancia de disponer sistemas de información interconectados que permita la planeación de la respuesta a situaciones de presión en el sistema de salud. Con mejores datos, será importante analizar qué casos fatales pudieron ser evitados si su hubiera dispuesto de más recursos.

De acuerdo con cifras oficiales, la economía mexicana se contrajo 8.5% en 2020. Por tanto, los beneficios de la mitigación en el total del país superan a los costos económicos. Conforme más datos se revelen, la efectividad de la mitiga- ción podrá ser comparada con los costos de mediano y largo plazo en términos de producto agregado, desempleo o pobreza.

Finalmente, cualquier evaluación recae en la elección del contrafactual apro- piado. En este artículo se estimó un modelo determinístico SEIR para aproximar la situación en que ninguna acción es tomada por la población o el gobierno. Situaciones más complicadas requieren incorporar aspectos que se han ido conociendo sobre la COVID-19. Cuando se disponga de más información, se podrán simular escenarios más complejos de interacción entre los agentes y sus respuestas a distintos tipos de políticas.

PDF generado a partir de XML-JATS4R por Redalyc
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

**Tabla 5.**
Análisis de sensibilidad

| Ciudad | Situación | Cambio (%) con respecto a escenario no controlado | | | | | | Cambio (%) con respecto al beneficio monetario del caso base | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Casos totales | Casos en el pico | Número de días con saturación de | | Fallecimientos por saturación | | Fallecimientos evitados | Fallecimientos por saturación |
| | | | | camas | UCI | totales | | | |
| Culiacán | Caso base | -52 | -88 | -82 | 5 | -70 | -98 | | |
| | Fatalidad de hospitalizados 25% menor | -52 | -88 | -82 | 5 | -67 | -98 | -13 | -18 |
| | Recursos de hospitalización 20% mayores | -52 | -88 | -100 | 4 | -70 | -99 | -1 | -3 |
| | Casos en escenario no controlado 50% menores | -3 | -75 | -79 | 35 | -38 | -95 | -74 | -58 |
| Puebla-Tlax-cala | Caso base | -40 | -71 | -64 | 50 | -62 | -88 | | |
| | Fatalidad de hospitalizados 25% menor | -40 | -71 | -64 | 50 | -60 | -87 | -10 | -16 |
| | Recursos de hospitalización 20% mayores | -40 | -71 | -73 | 38 | -62 | -89 | -1 | -3 |
| | Casos en escenario no controlado 50% menores | 20 | -42 | -56 | 83 | -21 | -69 | -84 | -68 |
| Tijuana | Caso base | -71 | -90 | -86 | 76 | -84 | -97 | | |
| | Fatalidad de hospitalizados 25% menor | -71 | -90 | -86 | 76 | -83 | -97 | -12 | -16 |
| | Recursos de hospitalización 20% mayores | -71 | -90 | -100 | 66 | -84 | -98 | -1 | -2 |
| | Casos en escenario no controlado 50% menores | -43 | -80 | -82 | 98 | -68 | -94 | -61 | -56 |

cálculos propios. La fila de caso base replica los resultados principales del artículo para cada ciudad de las Tablas 1, 3 y 4.

**Tabla 5.**
Análisis de sensibilidad (continuación)

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Valle de México | Caso base | -46 | -75 | 0 | 83 | -70 | -88 | | |
| | Fatalidad de hospitalizados 25% menor | -46 | -75 | 0 | 83 | -67 | -88 | -13 | -17 |
| | Recursos de hospitalización 20% mayores | -46 | -75 | -5 | 76 | -69 | -88 | -3 | -7 |
| | Casos en escenario no controlado 50% menores | -22 | -64 | 22 | 97 | -55 | -81 | -46 | -43 |
| Villahermosa | Caso base | -19 | -53 | 23 | 62 | -47 | -76 | | |
| | Fatalidad de hospitalizados 25% menor | -19 | -53 | 23 | 62 | -44 | -76 | -13 | -16 |
| | Recursos de hospitalización 20% mayores | -19 | -53 | 16 | 58 | -47 | -78 | -1 | -2 |
| | Casos en escenario no controlado 50% menores | 16 | -33 | 35 | 78 | -23 | -63 | -67 | -46 |

cálculos propios. La fila de caso base replica los resultados principales del artículo para cada ciudad de las Tablas 1, 3 y 4.

## Referencias bibliográficas

Capistrán,M., Capell, A. y Christen, A. (2020). Modelo AMA. Informe 28 de mayo de 2020. Ecosistema Nacional Informático COVID-19. https://coronavirus. conacyt.mx/proyectos/ama.html. Consultado el 31 de mayo de 2020.

CONAPO (2020). Proyecciones de la Población de los Municipios de México, 2015- 2030. https://www.gob.mx/conapo/documentos/proyecciones-de-la-pobla- cion-de-los-municipios-de-mexico-2015-2030. Consultado el 31 de mayo de 2020.

PDF generado a partir de XML-JATS4R por Redalyc
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Ferguson, N. *et al.* (2020). Report 9: Impact of non-pharmaceutical interventions (NPIs) to reduce COVID-19 mortality and healthcare demand. Imperial Co- llege COVID-19 Response Team.

Gaythorpe, K. *et al*. (2020) Report 8: Symptom progression of COVID-19. Imperial College COVID-19 Response Team.

Graff, M., et al. (2020), Medición de Movilidad usando Facebook, Google y Twit- ter. Ecosistema Nacional Informático COVID-19. https://corona virus.conacyt. mx/proyectos/movilidad.html. Consultado el 30 de mayo de 2020.

Greenstone, M., y Nigam, V. (2020). Does Social Distancing Matter? University of Chicago, Becker Friedman Institute for Economics Working Paper.

Kucharski, A. et al. (2020). Early dynamics of transmission and control of CO-VID-19: a mathematical modelling study. *The Lancet Infectious Diseases*.

Li, Q. *et al*. (2020). Early transmission dynamics in Wuhan, China, of novel coro- navirus–infected pneumonia. *New England Journal of Medicine*.

OECD. (2012). Mortality Risk Valuation in Environmental, Health and Transport Policies. OECD Publishing.

OECD. (2019). Hospital beds and discharge rates. https://w ww.oecd-ilibrary.org/ sites/0d67e02a-en/index.html?itemId=/content/ component/0d67e02a-en. Consultado el 30 de mayo de 2020.

Moghadas, S. M. *et al.* (2020). Projecting hospital utilization during the COVID-19 outbreaks in the United States. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(16), 9122-9126.

Nishiura, H., Linton, N. M., y Akhmetzhanov, A. R. (2020). Serial interval of novel coronavirus (COVID-19) infections. *International Journal of Infectious Diseases*.

Robinson, L. A., Hammitt, J. K., y O'Keeffe, L. (2019). Valuing mortality risk re- ductions in global benefit-cost analysis. *Journal of Benefit-Cost Analysis*, 10(S1), 15-50.

Rojas, I. (2020). On the Economic Benefits and Costs of COVID-19 Mitigation Measures in Mexico. Documento de trabajo, SSRN 3592209.

Secretaria de Salud. (2020). Catálogo de Clave Única de Establecimientos de Salud-CLUES, http://www.dgis.salud.gob.mx/contenidos/sinais/s_cl ues.html. Consultado el 30 de mayo de 2020.

Wu, Z., y McGoogan, J. M. (2020). Characteristics of and important lessons from the coronavirus disease 2019 (COVID-19) outbreak in China: summary of a report of 72 314 cases from the Chinese Center for Disease Control and Pre- vention. *Jama*, 323(13), 1239-1242.

PDF generado a partir de XML-JATS4R por Redalyc
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto