

# MODELO EPIDEMIOLÓGICO COVID-19 DEL GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO

## El modelo epidemiológico del Gobierno de la Ciudad de México

Desde el 19 de marzo la Ciudad de México planifica la respuesta y da seguimiento a la Pandemia del COVID-19 mediante una serie de escenarios epidemiológicos para toda la Zona Metropolitana del Valle de México. Esta metodología permite al Gobierno de la Ciudad estimar, dados una serie de supuestos, qué capacidad hospitalaria de intubación se requiere para atender de manera adecuada a la población. De igual manera, permite evaluar de manera diaria, de acuerdo con la información disponible, si los datos de hospitalización recabados diariamente por el Gobierno de la Ciudad de México se ajustan a las proyecciones esperadas, con el propósito de detectar de manera oportuna cambios de tendencia que puedan afectar las necesidades de capacidad hospitalaria.

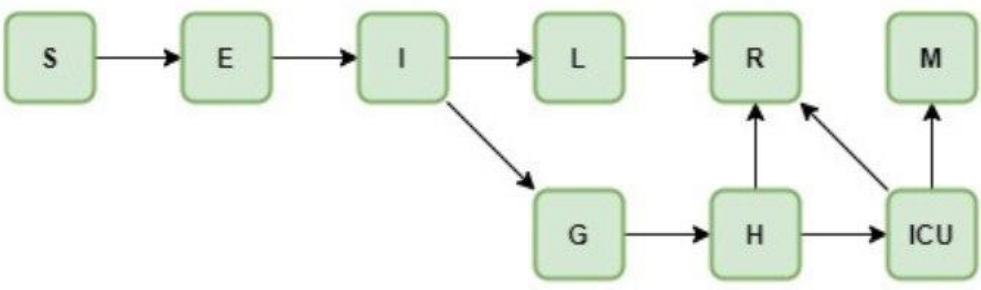
### Metodología

Con el objetivo de crear un modelo robusto y suficientemente claro que funcione como una herramienta para la toma de decisiones, se decidió utilizar un modelo epidemiológico compartimentalizado basado en ecuaciones diferenciales deterministas (Diekmann y Heesterbeek, 2000). Se tomó como base un modelo SEIR (Susceptibles, Expuestos, Infectados y Recuperados) (Keeling y Rohani, 2011) con ajustes adicionales que permiten modelar tanto hospitalizaciones sin ventilación como intubaciones. Esto se tradujo en la siguiente lista de ecuación diferenciales:

$$\begin{aligned} \frac{dS}{dt} &= - \left( \frac{R_0}{D_{infect}} \right) IS \\ \frac{dE}{dt} &= \left( \frac{R_0}{D_{infect}} \right) IS - \left( \frac{1}{D_{incub}} \right) E \\ \frac{dI}{dt} &= \left( \frac{1}{D_{incub}} \right) E - \left( \frac{1}{D_{infect}} \right) I \\ \frac{dL}{dt} &= (1 - p_{grave}) \left( \frac{1}{D_{infect}} \right) I - \left( \frac{1}{D_{RL}} \right) L \\ \frac{dG}{dt} &= p_{grave} \left( \frac{1}{D_{infect}} \right) I - \left( \frac{1}{D_{hosp}} \right) G \\ \frac{dH}{dt} &= \left( \frac{1}{D_{hosp}} \right) G - (1 - p_{ICU}) \left( \frac{1}{D_{RH}} \right) H - p_{ICU} \left( \frac{1}{D_{ICU}} \right) H \\ \frac{dICU}{dt} &= p_{ICU} \left( \frac{1}{D_{ICU}} \right) H - (1 - p_M) \left( \frac{1}{D_{RICU}} \right) ICU - p_M \left( \frac{1}{D_{RICU}} \right) ICU \\ \frac{dR}{dt} &= \left( \frac{1}{D_{RL}} \right) L + (1 - p_{ICU}) \left( \frac{1}{D_{RH}} \right) H + (1 - p_M) \left( \frac{1}{D_{RICU}} \right) ICU \\ \frac{dM}{dt} &= p_M \left( \frac{1}{D_M} \right) ICU \\ S + E + I + L + G + H + ICU + R + M &= 1 \end{aligned}$$

Donde:

- $S$  = Susceptibles
- $E$  = Expuestos
- $I$  = Infectados
- $L$  = Contagiados sintomáticos leves
- $G$  = Contagiados sintomáticos graves
- $H$  = Hospitalizados
- $ICU$  = Unidad de Terapia Intensiva
- $R$  = Recuperados
- $M$  = Muertos



Debido a la falta de información a nivel local, se utilizaron parámetros reportados en diversas fuentes de la literatura científica internacional sobre el COVID 19. Dichos parámetros y sus fuentes se describen en la siguiente tabla.

Variable	Valor	Fuente
Multiplicador por subreporte	2	
Tiempo que es infeccioso el paciente $D_{infect}$	2.9	Kucharski et. al. (2020)
Tiempo de incubación (días) $D_{incub}$	5.2	Li et. al. (2020)
Tasa de hospitalización $P_{grave}$	13.80%	Phua et.al (2020).
Tiempo de recuperación de casos leves (días) $D_{RL}$	14	WHO (2020a)

Variable	Valor	Fuente
Tiempo entre presencia de síntomas y hospitalización en casos graves (días) <i>D<sub>hosp</sub></i>	4	Heiden y Buchholz (2020)
Tasa de UCI <i>p<sub>ICU</sub></i>	5%	Guan et.al. (2020)
Tiempo entre hospitalización de casos graves no UCI y recuperación (días) <i>D<sub>RH</sub></i>	12	Zhou et.al. (2020)
Tasa de letalidad respecto a población general <i>p<sub>M</sub></i>	3%	Wang et. al. (2020)
Tiempo entre hospitalización de casos graves e ingreso a UCI (días) <i>D<sub>ICU</sub></i>	1	Heiden y Buchholz (2020)
Tiempo entre ingreso a UCI y recuperación (días) <i>D<sub>RICU</sub></i>	7	Zhou et.al. (2020)
Tiempo entre ingreso a UCI y deceso (días) <i>D<sub>M</sub></i>	8	Zhou et.al. (2020)
Población susceptible (millones) <i>N</i>	22	CONAPO (2019)
<i>R<sub>0</sub></i>	2.83	Inferido, pero consistente con Leung M. & Leung G. (2020)

Si bien los resultados aquí presentados provienen de un modelo determinístico, de manera complementaria se realizaron análisis de sensibilidad de los parámetros, así como simulaciones Monte Carlo (Ahn et. al. 2019), para crear umbrales de incertidumbre en las proyecciones.

La información aquí presentada proviene de nuestro modelo de trabajo básico; no obstante, el Gobierno de la Ciudad también toma en cuenta otras especificaciones, por ejemplo: tasas de contacto, contagio y sintomatología por grupos de edad, cajas de asintomáticos con tasas de contacto y contagio diferenciadas, entre otras. En este sitio, se presenta la versión más parsimoniosa del modelo para facilitar la interpretación y el seguimiento a los tomadores de decisiones.

Es pertinente recalcar que este modelo, al estar orientado principalmente a facilitar la toma de decisiones, permite también generar un vector de intervenciones, en términos de magnitud y temporalidad, para proyectar el impacto de distintas medidas de política pública en las estimaciones.

### Algunas aclaraciones


- Se supone que el 80% de los infectados son asintomáticos / sintomáticos leves que no requieren hospitalización (Surveillances, 2020). A diferencia de otros modelos que incorporan altos niveles de asintomáticos infectados, la mayoría de las sendas que muestran niveles manejables de hospitalizados son aquellas donde se logra la supresión del virus por una serie de medidas de política pública. Es decir, donde la R0 es menor a 1.
- Si bien el modelo permite manejar distintas tasas de contacto en diferentes momentos del tiempo, para nuestro escenario se supone que hay una R0 < 1 después del primero de abril.
- Se supone que entre el 22 de febrero y el 20 de marzo la tasa de detección de casos es del 50%. Después de correr diversos escenarios para distintas tasas de detección de cambios (CDR), se optó por el 50% al ser el que mejor modelaba a nuestros datos de hospitalizaciones observables entre el 20 de marzo y el primero de abril.
- Nuestro modelo permite incluir un vector adicional (R0\_i,T\_i) que permite modelar el posible impacto de distintas intervenciones y/o cambios en la tasa de contacto para distintas fechas.
- Adicionalmente a la versión mostrada aquí (V1), se cuenta con tres versiones adicionales: V2, donde se incluyen asintomáticos con distinta tasa de contacto; V3, que agrega más cajas hospitalarias, y V4, que presenta matrices de contacto por grupos de edad y parámetros diferenciados por estos grupos. Se elige presentar la V1 por claridad, sin embargo existe robustez y congruencia entre las distintas versiones.
- Los datos observados para el ajuste fueron:
  - Casos validados por el Instituto de Diagnóstico y Referencia Epidemiológicos (INDRE), con fecha de síntomas anterior al 22 de marzo. Se eligió este parámetro debido a la probabilidad de que la tasa de detección de casos no sea constante a lo largo del tiempo y por la censura estadística de los datos más recientes.
  - Base de datos de defunciones, hospitalizaciones, intubaciones en la ZMVM de casos confirmados y sospechosos de COVID-19, provista diariamente por el Comité Metropolitano de la ZMVM. Dicha base no se utiliza para calibrar el modelo, sino que durante los últimos 20 días se ha usado solamente para determinar bondad de ajuste con las proyecciones.
- Si bien esta versión no utiliza intervalos de confianza, es importante mencionar que realizamos de manera rutinaria estimaciones Monte Carlo al suponer distribuciones de los parámetros utilizados provenientes de la literatura, así como bootstrapping.

### Sobre el modelo

El modelo aquí presentado fue generado por la Dirección General de Gobierno Electrónico de la Agencia Digital de Innovación Pública del Gobierno de la Ciudad de México.

Este modelo tiene como objetivo ser un insumo adicional para coadyuvar en la toma de decisiones por parte de la Jefatura de Gobierno de la Ciudad de México y de los integrantes del Comité Metropolitano de Salud, para fortalecer la respuesta ante la pandemia generada por el virus SARS-CoV-2, causante de la enfermedad COVID-19.

Agradecemos los valiosos comentarios de los distintos equipos que nos han proporcionado sugerencias, observaciones y retroalimentación en general. En particular queremos agradecer al equipo de la Dirección de Prestaciones Económicas y Sociales del Instituto Mexicano del Seguro Social, al equipo del Instituto Nacional de Medicina Genómica, al equipo del Doctor Fernando Alarid del



TRANSPARENCIA

COVID 19

Datos abiertos sobre salud pública, acciones sociales y gasto público en la Ciudad de México.



GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO

ADIP

REPORTE EPIDEMIOLÓGICO COVID19 DE LA CIUDAD DE MÉXICO