

MODELANDO LA SUPERVIVENCIA A LA COVID-19 EN MÉXICO

Modelling the survival to the COVID -19 in Mexico

Marco Antonio Pérez Méndez¹

Roberto Gutiérrez Rodríguez²

RESUMEN

Esta investigación analiza el exceso de mortalidad de personas infectadas por el virus SARS-CoV-2 en México, que produce la enfermedad conocida como COVID-19, y el incremento en la tasa de letalidad subyacente, aplicando un modelo no paramétrico de supervivencia. Se realiza un análisis exploratorio de datos con la información oficial disponible sobre características individuales de las personas que han presentado síntomas y han fallecido, además de que se obtiene la probabilidad de supervivencia por estimaciones Kaplan-Meier. Se controla por comorbilidades para identificar los problemas de falta de atención temprana y de exceso de las comorbilidades más comunes observadas en México como determinantes del exceso de mortalidad y la alta tasa de letalidad.

Palabras clave: COVID-19, mortalidad, modelo no paramétrico, análisis de supervivencia, análisis exploratorio de datos.

Casificación JEL: C14, C41, C42, I12

ABSTRACT

This investigation analyses the excess of mortality of people infected by the virus SARS-CoV-2 in México, which causes the disease known as COVID-19, and the underlying increase in the fatality rate by means of a non-parametric survival model.

¹ Profesor-Investigador de tiempo completo del Departamento de Economía de la UAM-Iztapalapa, marcoa.perez@economistas.com.

² Profesor-Investigador y Jefe del Departamento de Economía de la UAM-Iztapalapa; ganador del Premio Revista *Comercio Exterior* 2016 categoría Especialista; miembro del SNI, coordinador del libro *Presente y Perspectivas de la Reforma Energética de México*, DCSH, UAM-Iztapalapa, México, 2017. robertogtz@yahoo.com

An exploratory data analysis is carried out using the official information referred to the individual characteristics of those who have presented the symptoms and have passed away. Besides, the survival probability is obtained by means of Kaplan-Meier estimates. The process is controlled for comorbidities to identify the lack of early care and the excess of the most common comorbidities in Mexico as factors responsible for the excess of mortality and the high fatality rate.

Keywords: COVID-19, mortality, non-parametric model, survival analysis, exploratory data analysis.

JEL classification: C14, C41, C42, I12.

1. Introducción

En trabajos previos, publicados e inéditos, los autores han ido dando a conocer los resultados de la aplicación de su modelo COVID19-UAMI, el cual se basa en una curva Gompertz (Gutiérrez Rodríguez y Pérez Méndez, 2020a, 2020b y 2020c). Su primer objetivo fue determinar la trayectoria esperada de la curva epidemiológica de la COVID-19 en México a partir de los contagios del virus SARS-CoV-2. Aunque es claro que dicho modelo es extremadamente dinámico y sus parámetros deben estarse actualizando periódicamente, su grado de precisión ha sido considerable, e incluso más alto al de otros modelos matemáticos que persiguen objetivos similares, desarrollados en México o en el extranjero, y que pertenecen ya sea a la familia logística, en la que se inserta la curva Gompertz, o a la de Susceptibles-Infectados-Recuperados (SIR), con su extensión Susceptibles-Infectados-Recuperados-Susceptibles (SIRS). Ambos se describen en Gutiérrez Rodríguez y Pérez Méndez (2020c).

El problema con la curva Gompertz es que, aún habiendo funcionado bien para determinar la trayectoria esperada de los contagios de COVID-19, no lo hacía de manera igual para los fallecimientos, cuyo nivel máximo subestimaba, y con ello también acotaba la *plateau* o acmé de la curva, la fecha de conclusión del ciclo epidemiológico y la tasa de letalidad. Así, desde nuestros primeros reportes consideramos la posibilidad de determinar la trayectoria de dichos fallecimientos como porcentaje de los contagios, a partir por ejemplo de la tasa de letalidad, recordando que ésta tiende a disminuir con el tiempo, aunque en nuestro país lo ha hecho muy lentamente en comparación con el resto de naciones.

En Gutiérrez Rodríguez y Pérez Méndez (2020c) manifestamos que una de las posibles razones del comportamiento atípico de la curva de defunciones se podría explicar por la eventual manipulación de las cifras, lo que nos llevó a analizar los trabajos de varios autores que se han abocado a comparar el promedio de fallecimientos de años anteriores para, sobre esa base, determinar el exceso de fallecimientos de 2020, y atribuirlos fundamentalmente a la COVID-19. Para continuar por esa ruta, era necesario en primera instancia desarrollar un modelo de supervivencia, que puede ser el eslabón entre el modelo Gompertz aplicado a contagios y el modelo Gompertz aplicado a defunciones. Posteriormente, y si la Secretaría de Salud (Ssa) no modifica sus cifras, podríamos optar por correr un nuevo modelo con las cifras ajustadas que los investigadores sugieren, aplicando un escalar de aproximadamente 2.5 sobre las conocidas.

Por el momento, y con el fin de explicar el exceso de mortalidad y la mayor tasa de letalidad en el país, se evalúan las defunciones por COVID-19 a mediados de octubre de 2020 con un modelo de supervivencia capaz de estimar el impacto de las comorbilidades. El artículo se compone de cuatro secciones: en la primera se presentan algunos datos preliminares; en la segunda se identifica el exceso de mortalidad; en la tercera se plantea el modelo de supervivencia en general; en la cuarta se construyen curvas de supervivencia por tipo de comorbilidad, y al final se dan a conocer algunas conclusiones sobre la probabilidad de supervivencia a la COVID-19, derivadas tanto de los resultados del modelo como de las experiencias acumuladas después de casi un año de lidiar con el virus.

2. Algunos datos preliminares

A partir del Modelo COVID19-UAMI, basado en la curva de Gompertz, el cual desarrollamos y calibramos entre abril y julio de 2020 (Gutiérrez Rodríguez y Pérez Méndez, 2020a y 2020b) con el fin de determinar la evolución observada y esperada de los contagios de dicho padecimiento en México, habida cuenta de que la Organización Mundial de la Salud (OMS) la había declarado pandemia en marzo previo, se detectaron cuatro resultados contrastantes. El primero fue una evolución adecuada y reveladora de la traza de la curva a partir de los datos referidos al número de contagios, que situaron a México en noviembre de 2020 como el undécimo país del mundo. El segundo fue el comportamiento poco confiable de la traza de la curva de defunciones, que arrojaba resultados dudo-

sos, en apariencia asociados a cierta manipulación de las cifras, a pesar de que el país aparecía en el cuarto lugar del mundo, después de Estados Unidos (EU), India y Brasil. En tercer lugar, y corroborando las distorsiones anteriores, México se situaba en el primer lugar de letalidad acumulada (defunciones/contagios) con 9.79%, casi el doble del país que le seguía, Irán, con 5.5%. En cuarto lugar, no obstante que el número de contagios representaba 1.86% del total mundial, consecuente con la participación de la población de México en la mundial (1.7%), el número de fallecidos alcanzaba 7.48% de dicho total (cuadro 1): un alto precio pagado por un país cuyo sistema de salud ha mostrado a lo largo de la pandemia serias resistencias para adaptarse a las circunstancias.

CUADRO 1. DATOS ACUMULADOS DE LA COVID-19 POR PAÍS DESPUÉS DE LOS PRIMEROS NUEVE MESES DE SU IRRUPCIÓN EN AMÉRICA

País	Contagiados	Fallecidos	Tasa letalidad	Confirm Estruct %	Fallec Estruct %
Mundo	54,052,111	1,313,263	2.43	100.00	100.00
Estados Unidos	10,802,200	244,795	2.27	19.98	18.64
India	8,814,579	129,635	1.47	16.31	9.87
Brasil	5,848,959	165,658	2.83	10.82	12.61
México	1,003,253	98,259	9.79	1.86	7.48
Francia	1,954,599	44,246	2.26	3.62	3.37
Rusia	1,903,253	32,834	1.73	3.52	2.50
España	1,458,591	40,769	2.80	2.70	3.10
Reino Unido	1,344,356	51,766	3.85	2.49	3.94
Argentina	1,296,363	35,045	2.70	2.40	2.67
Colombia	1,191,004	33,829	2.84	2.20	2.58
Italia	1,144,552	44,683	3.90	2.12	3.40
Perú	934,899	35,177	3.76	1.73	2.68

CUADRO 1. DATOS ACUMULADOS DE LA COVID-19 POR PAÍS DESPUÉS DE LOS PRIMEROS NUEVE MESES DE SU IRRUPCIÓN EN AMÉRICA (CONTINUACIÓN)

País	Contagiados	Fallecidos	Tasa letalidad	Confirm Estruct %	Fallec Estruct %
Alemania	790,503	12,485	1.58	1.46	0.95
Sudáfrica	749,182	20,206	2.70	1.39	1.54
Irán	738,322	40,582	5.50	1.37	3.09
Polonia	691,118	10,045	1.45	1.28	0.76
Ucrania	535,857	9,603	1.79	0.99	0.73
Bélgica	531,280	14,106	2.66	0.98	1.07
Chile	529,676	14,777	2.79	0.98	1.13
Irak	514,496	11,580	2.25	0.95	0.88
Indonesia	463,007	15,148	3.27	0.86	1.15
República Checa	458,229	6,058	1.32	0.85	0.46
Países Bajos	442,458	8,443	1.91	0.82	0.64
Bangladés	428,965	6,159	1.44	0.79	0.47
Turquía	411,055	11,418	2.78	0.76	0.87
Filipinas	406,337	7,791	1.92	0.75	0.59
Resto mundo	8,665,018	168,166	1.94	16.03	12.81

Fuente: a partir de Johns Hopkins University (2020)

3. Comportamiento de las defunciones por COVID-19

A pesar de que México se encuentra entre los cuatro países con mayor número de defunciones del mundo, existen evidencias de subestimación en los cálculos, como se mencionó páginas atrás. Dentro de los investigadores que han tratado de entender este problema están Romero y Despeghel (2020), quienes señalan que los datos sobre mortalidad reportados por la Ssa en la primera mitad del

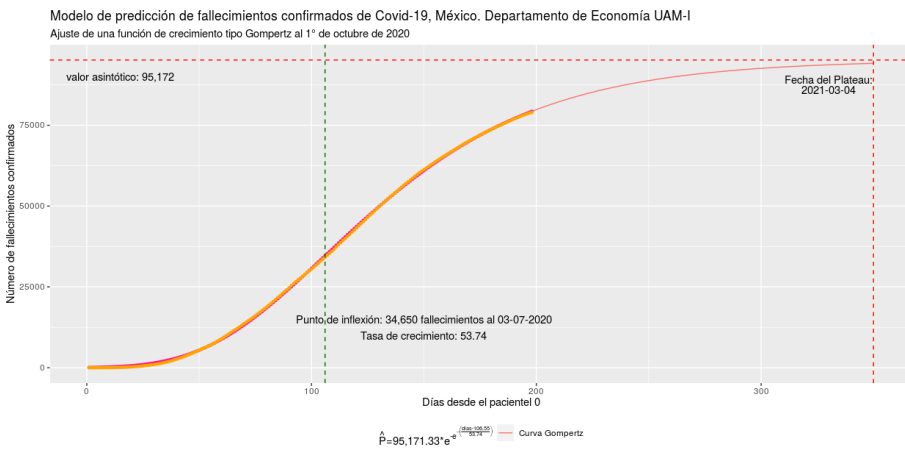
año no corresponden con los registros de las actas de defunción y en particular con el incremento en el número de decesos por neumonía atípica y neumonía viral correspondientes a dicho periodo. En su mayoría, se trata de personas que se contagiaron pero no pudieron realizarse la prueba que lo corroborara y así fallecieron. El estudio muestra que sólo 28% del exceso de defunciones del periodo corresponde a COVID-19; es decir que, si se reconociera que el 72% faltante corresponde a dicho padecimiento, habría que multiplicar la cifra de defunciones reportadas oficialmente por COVID-19 por un escalar de 3.6. Aunque una parte de la subestimación se debe al desfase entre la defunción y su captura estadística, como muestran Castañeda y Garrido (2020), el porcentaje es mínimo en relación con el número de personas que han fallecido y no han podido realizarse la prueba.

Estas fallas de registro ocasionan que las estimaciones presentadas en nuestro trabajo (Gutiérrez Rodríguez y Pérez Méndez, 2020c) se encontraran también subestimadas, lo que afectaba principalmente dos componentes fundamentales del estudio: el punto de inflexión de la curva Gompertz, que marca la transición de altas a menores tasas de crecimiento de la curva de fallecimientos por COVID-19, y la *plateau*, es decir el número límite de personas que serían contagiadas. Al irse desplazando hacia arriba y a la derecha la curva Gompertz a medida que se corregían las desviaciones provocadas por la subestimación de defunciones, los dos componentes se incrementaban y la precisión del modelo epidemiológico crecía. Empero, persistía la incertidumbre sobre los ajustes que se debían hacer para que la base de datos reflejara la realidad. Esto contrasta con la evolución histórica de los contagios, la cual ha sido una mejor *proxy* de la realidad y nos ha permitido pronosticar con un grado más alto de certeza el comportamiento esperado de la función.

Como muestra la gráfica 1, a partir de cifras oficiales y de acuerdo con un cálculo elaborado a principios de octubre de 2020 estimamos que el número total de fallecimientos al concluir el ciclo epidemiológico sería de 95,172, lo que sucedería cerca del día 400 después del primer fallecimiento, registrado a mediados de marzo de 2020; es decir, la *plateau* se alcanzaría a fines de abril o principios de mayo de 2021. Las evidencias en realidad fueron que dicha cifra se alcanzó el 9 de noviembre de 2020, es decir seis meses antes. Así, a principios de diciembre de 2020 se estaba llegando a 110,000 fallecimientos, y si existe un rezago entre contagios y fallecimientos, estos podrían ir más allá de mediados de junio de

2021. Por otra parte, la inflexión era establecida por el modelo en el día 110, es decir casi cuatro meses después del primer fallecimiento, esto fue a mediados de julio de 2020, fecha anterior incluso a la *plateau* que había señalado el modelo de contagios (fines de julio-principios de agosto de 2020), lo que tampoco parecía convincente.

GRÁFICA 1. RESULTADOS DE LA PROYECCIÓN DE DEFUNCIONES POR COVID-19 AL 1° DE OCTUBRE DE 2020 MEDIANTE UN MODELO GOMPERTZ



Fuente: Elaborada con base en cifras de la Ssa (2020)

Dadas las particularidades del patrón de defunciones observado en México, se considera pertinente proponer un estudio adicional sobre las condiciones que generan las defunciones, en el entendido de que, dada la información disponible, el comportamiento estadístico de dicha variable requiere el uso, tanto de herramientas especializadas como de software novedoso, por ello se sugiere el uso de un modelo de supervivencia por medio del software estadístico R. Además consideramos pertinente tratar de responder a la incógnita sobre si ¿existen factores asociados a las características de la población que puedan explicar, de manera parcial, el incremento de la letalidad de COVID-19 en México? En congruencia con la evidencia internacional esgrimimos como hipótesis principal que los altos niveles de las comorbilidades observadas en la población mexicana

pueden explicar el incremento de la letalidad en México, ubicándolo entre los países con mayor tasa de letalidad del mundo.

4. Supervivencia a la COVID-19

Los datos sobre defunciones parten de los registros proporcionados por la Dirección General de Epidemiología de la Ssa. La información disponible en Datos Abiertos a mediados de Julio de 2020 constituye una base de 1,600,000 observaciones, que conforma el conjunto de individuos a los que se ha realizado la prueba de COVID-19. Las variables contenidas en dicha base representan información de salud concerniente a las comorbilidades identificadas con COVID-19 además de otras variables relevantes observadas a lo largo de los procesos contagio-recuperación y contagio-defunción.

Después de realizar un análisis exploratorio de datos, se pudo construir una variable que identifica si el individuo ha fallecido por COVID-19 y el tiempo que transcurre desde el momento en el que presenta síntomas hasta su fallecimiento. La variable representa el tiempo transcurrido entre dos eventos, el inicio de síntomas y la defunción. Esta variable cuenta con particularidades propias, ya que no todos los individuos fallecen, por lo que se convierte en una variable de conteo censurada, ya que para todas aquellas observaciones en que el individuo no ha fallecido, la variable se censura pues el tiempo sigue transcurriendo. Además es una variable que, dadas las características propias del comportamiento de la enfermedad, se encuentra fuertemente sesgada, mostrando una gran asimetría. Con base en dicha información y considerando las características de la variable se procedió a realizar un modelo de supervivencia que permita identificar la probabilidad de sobrevivir a la COVID-19 en función de las comorbilidades y otras variables relevantes.

El modelo de supervivencia permite estudiar la evolución de las tasas de ocurrencia de tres eventos en el tiempo: el momento en que ocurre un evento, que en este caso es la defunción del individuo debido a la COVID-19; la comparación de diferentes tasas de ocurrencia entre diversos grupos poblacionales, hombre-mujer, niños-adultos, etc., y la correlación del tiempo en que ocurre el evento con diferentes variables cuantitativas. Este tipo de modelos han sido ampliamente utilizados en diferentes contextos (Richards, 2012; Stepanova y

Thomas, 2002; Glennon y Nigro, 2005; Spivak et al, 2006). En estudios biológicos para determinar la probabilidad de muerte de organismos biológicos o en investigaciones físicas para determinar la tasa de falla de un sistema mecánico; en ingeniería para determinar la tasa de confiabilidad de una estructura. En Economía se ha empleado para determinar el tiempo de respuesta del mercado laboral, modelando el tiempo que pasa una cierta persona en desempleo; o en estudios sobre concentraciones de mercado, midiendo el tiempo que tarda una empresa líder en absorber a una empresa seguidora. En este contexto el modelo persigue estimar la probabilidad de que un individuo sobreviva una vez que se ha contagiado de COVID-19.

El riesgo asociado al modelo de supervivencia representa la tasa instantánea del evento en un momento específico t , ya que no se asume que el riesgo sea constante a lo largo del tiempo. Así, se estima la evolución del riesgo de fallecer por COVID-19 a medida que aumentan los días posteriores a que se presentan los primeros síntomas. La función de supervivencia se identifica como la probabilidad de que sobreviva un individuo que ha presentado síntomas.

Sea T el tiempo en el que ocurre la defunción y $\Pr(T > t_i)$ la probabilidad de que el tiempo de defunción sea mayor que el tiempo t_i (observado). S se define como la probabilidad de supervivencia, con $0 \leq S(t_i) \leq 1$, por lo que la función de supervivencia se expresa como $S(t_i) = \Pr(T > t_i)$. La estimación de la función $S(t)$ se realiza por medio de una técnica no paramétrica conocida como estimación Kaplan-Meier (Kaplan y Meier, 1958) con la que se estima la probabilidad de que los individuos sobrevivan más allá del tiempo t :

$$\hat{S}(t) = \prod_{t_i > t} \frac{n_i - f_i}{n_i}$$

Donde $\hat{S}(t)$ = Estimación Kaplan—Meier de la función de supervivencia

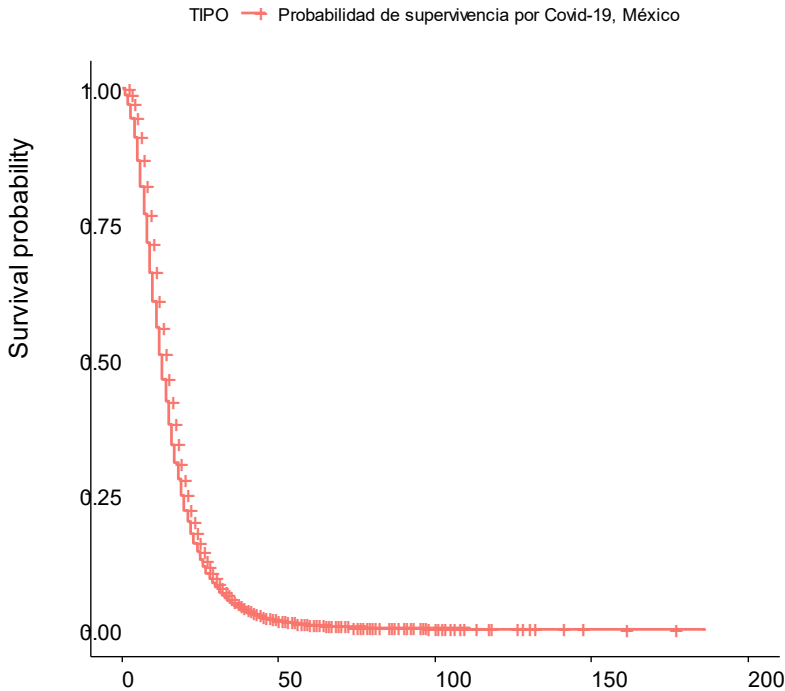
n_i = número de individuos en riesgo hasta el momento t_i

f_i = número de muertes hasta el momento t_i

Como se puede observar en la gráfica 2, la probabilidad de supervivencia cae drásticamente en los primeros días después de que se presentan los síntomas, por lo que es crucial su detección y atención oportuna; de lo contrario, el riesgo por fallecimiento se incrementa considerablemente. Un dato de gran relevancia, encontrado por medio de este análisis y a la luz de lo que ahora se sabe sobre

los estragos que el virus deja sobre diversos órganos del cuerpo, es que existen individuos que han fallecido hasta 186 días después de presentar síntomas.

GRÁFICA 2. CURVA DE SUPERVIVENCIA POR COVID-19 EN MÉXICO
PROBABILIDAD DE SOBREVIVIR POR DÍA



Fuente: Elaborada con base en cifras de la Ssa (2020)

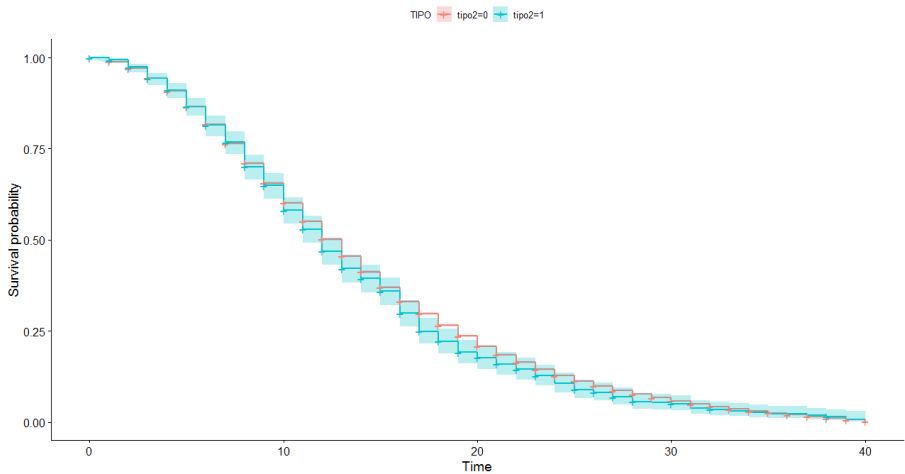
5. Supervivencia por comorbilidades

Se modelaron 3 tipos de pacientes tipo, el primero de ellos es un paciente promedio, el tipo2 es un paciente con las comorbilidades más comunes en México; y un paciente tipo3 con todas las comorbilidades posibles. En la gráfica 3 se observa un tipo de paciente que cuenta con las cuatro comorbilidades antes mencionadas, al que se ha denominado paciente tipo2. A partir de su curva de supervivencia se aprecia que en los primeros 14 días no existe una diferencia

significativa entre el paciente tipo2 y un paciente promedio. Sin embargo, el daño aletargado que ocasiona el virus hace que la probabilidad de supervivencia disminuya considerablemente entre los días 14 y 30, hasta llegar a una probabilidad menor a 10%.

GRÁFICA 3. CURVA DE SUPERVIVENCIA POR COVID-19 EN MÉXICO, PACIENTES TIPO2

PROBABILIDAD DE SOBREVIVIR POR DÍA

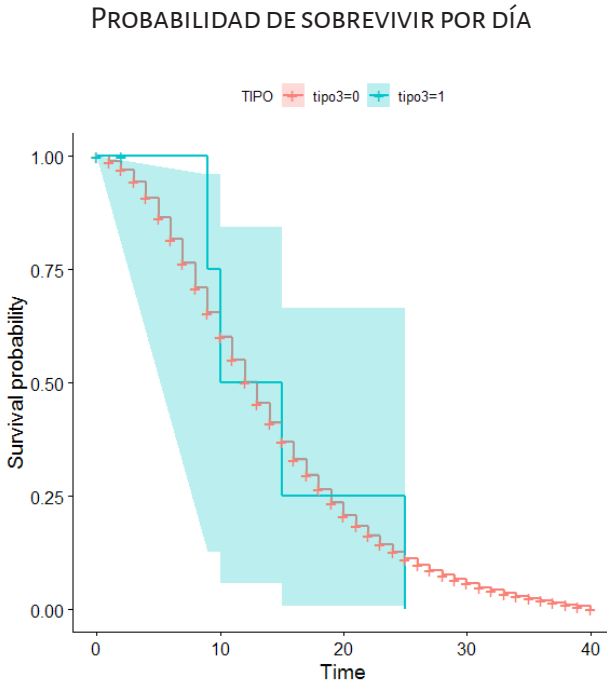


Fuente: Elaborada con base en cifras de la Ssa (2020)

Adicionalmente se modela un tipo de paciente que padece todas las comorbilidades, identificado como paciente tipo3. En la gráfica 4 se observa que, aunque el número de pacientes de este tipo es muy bajo, en la práctica existe, lo que obliga al sistema de salud a aplicar protocolos distintos, así como a la sociedad en su conjunto. Este tipo de individuo, al igual que el tipo2 muestra una alta probabilidad de supervivencia en los primeros días después de presentar síntomas; sin embargo, ésta se reduce verticalmente a partir del día 10, llegando al 20 con una probabilidad de apenas 25%. Desafortunadamente, los pacientes

tip03 no sobreviven más allá de 25 días, momento en que su probabilidad de supervivencia se censura.

GRÁFICA 4. CURVA DE SUPERVIVENCIA POR COVID-19
EN MÉXICO, PACIENTES TIPO3

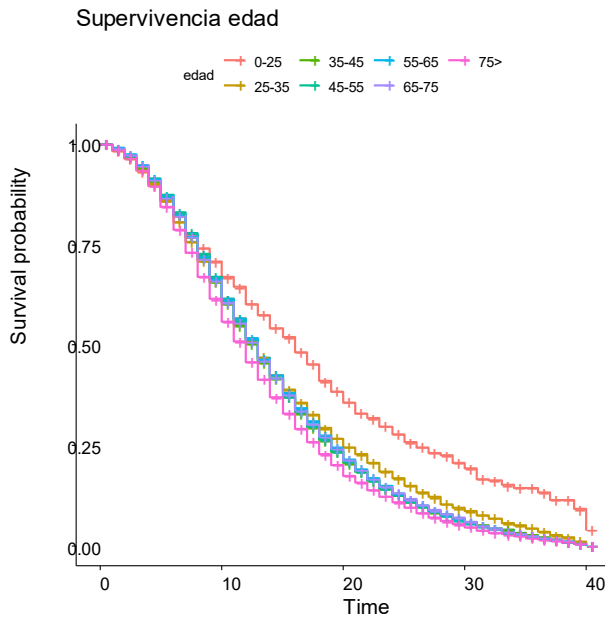


Fuente: Elaborada con base en cifras de la Ssa (2020)

Se corrobora que las defunciones en México, una vez que se ha contagiado el individuo, puede llegar incluso hasta el día 186 después de iniciados los síntomas, lo que nos permite sugerir que se mantengan las medidas de sana distancia, ya que individuos con las cuatro comorbilidades más comunes (hipertensión, diabetes mellitus, obesidad y tabaquismo) muestran la mayor probabilidad de defunción, incluso después de los supuestos 14 días en que el virus se mantiene activo en el organismo. Los daños ocasionados muestran que con mayor frecuencia los individuos fallecen en los primeros siete días, pero el daño permanece

por meses. El modelo de supervivencia por medio de estimaciones tipo Kaplan-Meier permite realizar comparaciones por grupos de control. Es sabido que la edad es un factor de riesgo fundamental. Al hacer este ejercicio se encuentra que la diferencia es significativa, aunque en aquellos individuos menores de 25 años que permanecen con síntomas después de los 14 días sugeridos por las autoridades sanitarias, la probabilidad disminuye a 50%. Parece que la diferencia entre los grupos de edad es un factor de riesgo importante, como muestra la gráfica 5, aunque también muestra una caída considerable en los individuos que permanecen con alguna comorbilidad

GRÁFICA 5. CURVA DE SUPERVIVENCIA POR COVID-19 EN MÉXICO, GRUPOS DE EDAD
Probabilidad de sobrevivir por día

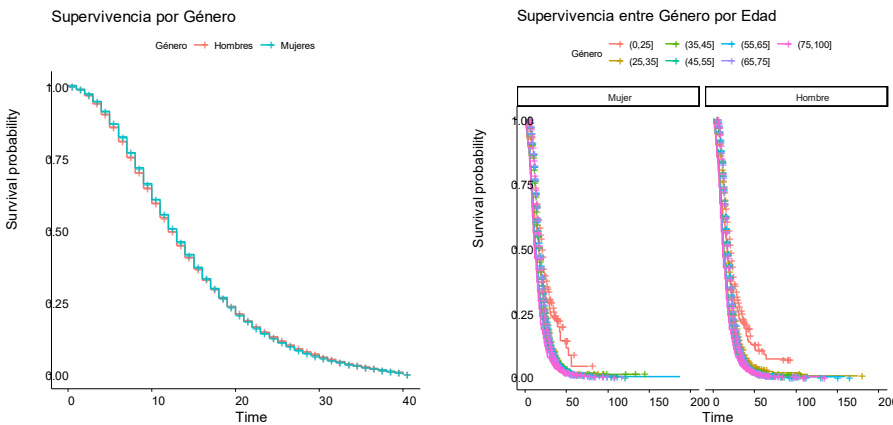


Fuente: Elaborada con base en cifras de la Ssa (2020)

Cuando se controla por grupos de edad y género se observa que, efectivamente, los hombres tienen una menor probabilidad de supervivencia, en particular los

de mayor edad, como muestra la gráfica 6, lado derecho, en que la probabilidad se desploma aún más verticalmente que la de la mujer. Tal como argumenta Bwire (2020) esto en parte se debe a que, en general, el sistema hormonal e inmunológico de la mujer les garantiza mayor resistencia a las infecciones, además de su actitud mucho más cuidadosa ante la pandemia.

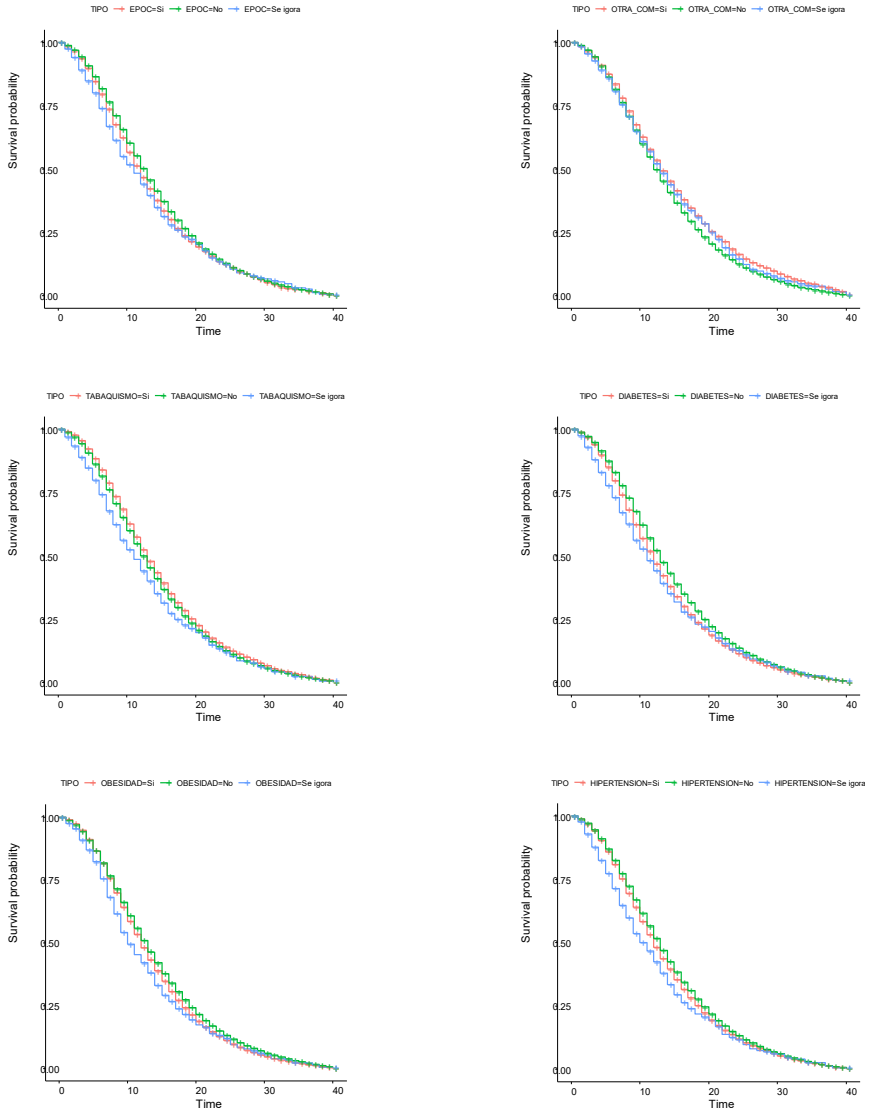
GRÁFICA 6. CURVA DE SUPERVIVENCIA POR COVID-19 EN MÉXICO, GRUPOS DE EDAD Y SEXO
PROBABILIDAD DE SOBREVIVIR POR DÍA



Fuente: Elaborada con base en cifras de la Ssa (2020).

Se puede observar por medio de las curvas de supervivencia por comorbilidades que, aunque estas parecen no ser factores de riesgo, la prueba de hipótesis sobre diferencia estadística de curvas, medida por la distancia entre ellas, no rechaza la hipótesis nula igualdad de curvas, por lo que se considera a las comorbilidades como una fuente de riesgo importante que determina la probabilidad de supervivencia. La tasa de letalidad por COVID-19 en México, la más alta del mundo, se explica parcialmente por el exceso de comorbilidades en la población. Las más comunes reflejadas en el paciente tipo2 y desglosadas de manera individual muestran que la probabilidad de supervivencia es diferenciada dependiendo del tipo de esta. Sin embargo, el EPOC y la diabetes mellitus son las que presentan la reducción más pronunciada en la probabilidad de supervivencia y sus diferencias son estadísticamente significativas (gráfica 7).

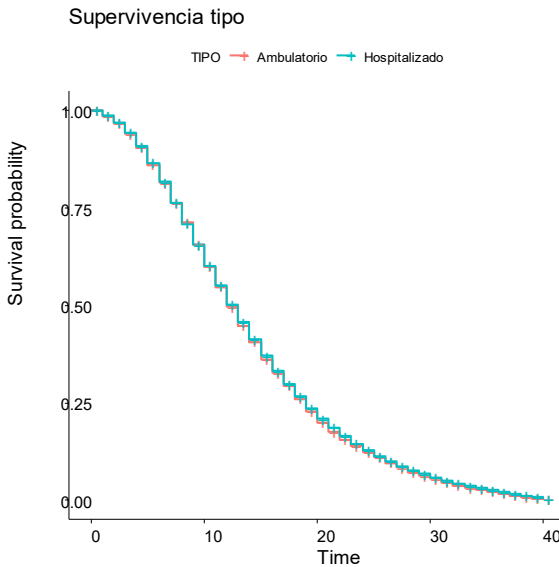
GRÁFICA 7. CURVA DE SUPERVIVENCIA AL COVID-19 EN MÉXICO POR COMORBILIDADES PROBABILIDAD DE SOBREVIVIR POR DÍA



Fuente: Elaborada con base en cifras de la Ssa (2020)

En virtud de lo anterior, cuando el individuo, después de una atención médica tardía, en parte por falta de conocimiento y en parte por falta de pruebas y espacio en los hospitales públicos y privados, llega tarde por atención médica, no existe diferencia significativa entre los tipos de pacientes ambulatorios y hospitalizados reportando trazas iguales en sus curvas de supervivencia (gráfica 8).

GRÁFICA 8. CURVA DE SUPERVIVENCIA POR COVID-19
EN MÉXICO POR TIPO DE PACIENTE
PROBABILIDAD DE SOBREVIVIR POR DÍA



Fuente: Elaborado con base en cifras de la Ssa (2020)

6. Conclusiones

Se ha mencionado mucho que al llegar al principal punto de inflexión, se pasa de la fase de crecimiento más elevado en el número de contagios a una de crecimiento descendente; pero hasta principios de abril eso no se observaba, como predijeron funcionarios de la Ssa, y aún a principios de agosto de 2020 no se contaba con plena evidencia de que ya estuviera sucediendo, dado el espectro de

una segunda ola, que finalmente se materializó en México a partir de noviembre del mismo año. Esta situación por una parte obliga a los analistas a recalcular los parámetros y por otra a irlos ajustando.

El problema de las defunciones por COVID-19 en México ha sido abordado en este trabajo a través de un modelo de supervivencia que permite estimar las probabilidades de que los individuos que han presentado síntomas sobrevivan a la enfermedad. Sorprendentemente, encontramos que hay individuos que fallecieron 184 días después de presentar síntomas, lo cual fue ocasionado por el deterioro que el virus genera en el organismo y el exceso de comorbilidades de la población mexicana.

Adicionalmente, encontramos que las curvas de supervivencia muestran diferencias significativas entre los diversos tipos de pacientes y que tanto el género como la edad son factores de riesgo que generan diferencias importantes en la probabilidad de supervivencia, siendo las mujeres menores de 25 años las que tienen la mayor probabilidad de supervivencia.

Asimismo, trabajamos a partir de tres tipos de pacientes: uno sin comorbilidades (tipo1), otro con las comorbilidades más comunes en México (tipo2) y otro con todas las comorbilidades posibles (tipo3). Al respecto encontramos que entre los pacientes tipo1 y tipo2 existe una diferencia significativa, ya que si el individuo tipo2 presenta complicaciones 16 días después de iniciados los síntomas su probabilidad de supervivencia es de menos de 25%, presión que no existe en el caso del paciente tipo1. De la misma manera, los pacientes tipo3 tienen como límite de recuperación 25 días, momento en que su probabilidad de supervivencia se censura.

Además, encontramos que el exceso de comorbilidades en México, sumado a la falta de pruebas y al poco espacio en los hospitales, reflejado en el limitado número de camas con ventiladores, genera que la probabilidad de supervivencia entre pacientes ambulatorios y hospitalarios no sea comparable con la de países con sistemas de salud mejor organizados e infraestructura hospitalaria más sólida.

Respecto a la respuesta del sistema de salud y de la población en su conjunto a las condiciones cambiantes de la pandemia, lo menos que se puede hacer es tomar en cuenta los seis siguientes factores:

1. Disciplina de la sociedad: distanciamiento de otras personas, aseo constante de las manos, estornudo controlado, reducción de la movilidad, reuniones con un limitado número de personas, uso de cubrebocas, etcétera.
2. Infraestructura hospitalaria, en particular no dejar de realizar erogaciones públicas en: equipo especializado para hacer suficientes pruebas a toda la población, camas de cuidados intensivos, *kits* preventivos, doctores y enfermeras especializados, sanidad de las instalaciones, aislamiento a quienes den positivo, control de las personas que estuvieron en contacto con los enfermos, y suficientes medicamentos que han probado algún nivel de eficacia (por ejemplo, parece no haber razón para no autorizar la entrada al país del Remdisivir), así como plasma sanguíneo de enfermos que se recuperaron.
3. Condiciones etarias: a mayor proporción de personas de 60 años y más en la población total, mayores tasas de morbilidad.
4. Condiciones de comorbilidad: diabetes, hipertensión, obesidad, sobrepeso, enfermos de cáncer y VIH-sida, población que es o ha sido fumadora, etc.
5. Capacidad del sistema de salud en su conjunto para aprender de sus errores, dejar de repetirlos, y usar las técnicas y procedimientos que mejor hayan funcionado, y
6. Prevención efectiva de los efectos de la combinación del SARS-CoV-2 con otro tipo de virus respiratorios, particularmente los de la influenza, además de seguir vacunando a los niños pequeños contra la tuberculosis.

Referencias bibliográficas

- BOSTON Consulting Group (2020). *Epidemic Projections. COVID-19 Response*, Boston, marzo 26, 31 pp.
- BWIRE, George (2020). *Why men are more vulnerable to COVID-19 than woman?* *SN Compr. Clin. Med.* **2**, 874–876 (2020). <https://doi.org/10.1007/s42399-020-00341-w>
- CASTAÑEDA, Jorge Andrés y Garrido S. (2020). “Como entender los datos de defunciones por COVID-19 en México?”. *Nexos*, mayo.
- COMPERTZ, Benjamin (1825). “On the Nature of the Function Expressive of the Law of Human Mortality”. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, Vol. 115, pp. 513-583.

- GLENNON D. y Nigro P. (2005). "Measuring the Default Risk of Small Business Loans: A Survival Analysis Approach". *Journal of Money, Credit and Banking*. 37 (5): 923–947
- GUTIÉRREZ Rodríguez, Roberto y Pérez Méndez, Marco Antonio (2020a). "Modelando la difusión del COVID-19 en México". *Boletines UAM* No. 227. México, 13 de abril.
- _____. (2020b). "La pandemia por COVID-19 se prolongará hasta abril de 2021", *La Crónica*, 2 de julio.
- _____. (2020c). "La trayectoria del COVID-19 en México a partir de un modelo evolutivo". Inédito, Departamento de Economía, UAM-Iztapalapa.
- JOHN Hopkins University (2020). "Dashboard by the Center for Systems Science Engineering (CSSE). <https://systems.jhu.edu/>. Consultado entre abril y noviembre.
- JUKIĆ, Dragan *et al* (2004), "Least-squares fitting Gompertz curve", *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 169: 2, pp. 359-375, en <https://doi.org/10.1016/j.cam.2003.12.030>. Consultado el 1 de abril de 2020.
- KAPLAN, E. L.; Meier, P. (1958). "Nonparametric estimation from incomplete observations". *Journal of the American Statistical Association*. **53** (282): 457-481. JSTOR 2281868. doi:10.2307/2281868. Consultado el 20 de abril de 2020.
- METCALFE, J. S. (1981). "Impulse and Diffusion in the Study of Technical Change", *Futures*, octubre, pp. 347-359.
- MOORE, D. F. (2016). *Applied survival analysis using R*. New York: Springer.
- ORGANIZACIÓN de las Naciones Unidas (ONU) (2020). *World Population Prospects 2019*. <https://population.un.org/wpp/>. Consultado el 3 de agosto.
- RICHARDS, S. J. (2012). "A handbook of parametric survival models for actuarial use". *Scandinavian Actuarial Journal*. 2012 (4): 233–257.
- ROMERO Zavala, Mario y Despeghel, L. (2020). "El exceso de mortalidad: un comparativo internacional", *Nexos*, agosto.
- _____. (2020), "¿Qué nos dicen las actas de defunción?", *Nexos*, agosto.
- SECRETARÍA de Salud (Ssa) (2010), <https://www.gob.mx/salud> consultada diariamente.
- SPIVAK, Andrew L.; DAMPHOUSSE, Kelly R. (2006). "Who Returns to Prison? A Survival Analysis of Recidivism among Adult Offenders Released in Oklahoma, 1985-2004". *Justice Research and Policy*. 8 (2): 57–88.

STEPANOVA M., y THOMAS L. (2002). “Survival Analysis Methods for Personal Loan Data”. *Operations Research*. 50 (2): 277–289.

TJØRVE, K. M. C. y Tjørve E. (2017). “The use of Gompertz models in growth analyses, and new Gompertz-model approach: An addition to the Unified-Richards family”, *PLOS ONE* 12(6), en <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178691>, consultada el 2 de abril de 2020.

VERHULST, Pierre Francois (1838). “Notice sur la loi que la population poursuit dans son accroissement”, *Corresp. Math. Phys.* 10, pp. 113–121

WINSOR, Charles P. (1932). “The Gompertz Curve as a Growth Curve”, *Proceedings of the National Academy of Science*, Jan. 15, Vol. 18, pp. 1-8.