

Cuatro Hechos Estilizados sobre COVID-19



Andrew Atkeson

Karen Kopeccky

Tao Zha

Documento de trabajo del NBER No. 27719

Publicado en agosto de 2020

<http://www.nber.org/papers/w27719>

Traducción: Enrique A. Bour

Nota: esta traducción incluye sólo el Resumen, las secciones 1 (Introducción) y 5 (Conclusión), una Nota sobre los datos utilizados, dos gráficos seleccionados y las Referencias.

Resumen

Documentamos cuatro hechos sobre la pandemia de COVID-19 en todo el mundo relevantes para los que estudian el impacto de las intervenciones no farmacéuticas (NPI) en la transmisión de COVID-19. Primero: en todos los países y estados de los EE. UU. que estudiamos, las tasas de crecimiento de las muertes diarias por COVID-19 cayeron desde un amplio rango de niveles inicialmente altos hasta niveles cercanos a cero en un plazo de 20 a 30 días después de que cada región experimentara 25 fallecimientos acumulados. Segundo: después de este período inicial, las tasas de crecimiento de defunciones diarias han rondado alrededor de cero en todo el mundo. Tercero: el desvío estándar de la sección cruzada de tasas de crecimiento de muertes diarias en todos los lugares se redujo muy rápidamente en los primeros 10 días de la epidemia y se ha mantenido en un nivel relativamente bajo desde entonces. Cuarto: cuando se interpretan a través de una serie de modelos epidemiológicos, estos tres primeros hechos sobre la tasa de crecimiento de muertes por COVID implican que tanto el número de reproducción efectiva como las tasas de transmisión de COVID-19 cayeron desde niveles iniciales muy dispersos y el número de reproducción efectiva se ha mantenido alrededor de uno después de los primeros 30 días de la epidemia prácticamente en todo el mundo. Sostenemos que no tener en cuenta estos cuatro hechos estilizados puede dar lugar a una exageración de la importancia de las NPI impuestas por las políticas para dar forma a la progresión de esta pandemia mortal.

1 Introducción

En el mes de marzo de 2020, en muchos de los puntos calientes de COVID-19 en todo el mundo, las muertes diarias por la enfermedad crecieron muy rápido, duplicándose cada 2-3 días en los lugares más afectados. En contraste, en otros

lugares, al principio de esta pandemia, las muertes diarias por la enfermedad crecieron mucho más lentamente. Este patrón de altas y muy dispersas tasas de crecimiento de defunciones diarias por COVID-19 terminó muy rápidamente. Se observó un crecimiento relativamente lento o incluso una disminución de los fallecimientos diarios a causa de la enfermedad en todos los lugares que estudiamos 20-30 días después de que el lugar experimentara por primera vez 25 muertes acumuladas, y la dispersión en las tasas de crecimiento de fallecimientos diarios en todos los lugares se redujo aún más rápidamente. Ahora bien, a fines de julio de 2020, si bien en distintos lugares se registran niveles muy diferentes de defunciones diarias a causa de COVID-19, en todo el mundo se sigue observando un crecimiento relativamente lento o incluso una disminución de las defunciones diarias a causa de la enfermedad y la dispersión de las tasas de crecimiento de defunciones diarias en los distintos lugares sigue siendo baja.

En este documento, documentamos estos hechos en relación con las muertes por COVID utilizando tanto procedimientos sencillos de alisamiento de datos como un procedimiento de estimación bayesiano que nos permite construir bandas de probabilidad en torno a nuestras estimaciones del crecimiento de dichas muertes. A continuación, utilizamos un modelo epidemiológico SIR basado en el de Kermack y McKendrick (1927) para interpretar estos datos sobre la tasa de crecimiento de defunciones por COVID como una indicación de que el número de reproducción efectiva de COVID-19, denotado aquí por $R(t)$, ha disminuido desde valores iniciales de 3 o más en muchos lugares hasta niveles cercanos a uno o incluso inferiores en todas partes del mundo. Invertimos una versión calibrada de nuestro modelo SIR simple para argumentar que gran parte de la disminución observada en el nivel y la variación en sección cruzada del número de reproducción efectiva se ha debido a una disminución de la tasa de transmisión de la enfermedad y no a la progresión de la población hacia la inmunidad de rebaño.¹ También informamos de los resultados utilizando modelos epidemiológicos más complejos, incluido uno similar al considerado por Fernández-Villaverde y Jones (2020), y mostramos que nuestras conclusiones sobre el descenso mundial de la tasa de transmisión de COVID-19 no se ven muy afectadas por la elección del modelo epidemiológico.²

La constatación de una rápida disminución de la transmisión de COVID-19 en los primeros 30 días de progresión de la pandemia en países muy heterogéneos de

¹ La *tasa de transmisión* de la enfermedad se define como la tasa media a la que un individuo infectado se pone en contacto con otros y propaga el virus a las personas con las que se contacta. El *número de reproducción efectiva* $R(t)$ se define como el número medio de casos secundarios infectados por un solo individuo infectado durante su período de infecciosidad cuando hay personas tanto susceptibles como inmunes entre aquellos con los que se contacta. Obsérvese que, dado que una persona que ya no es susceptible a la enfermedad no se infecta, incluso si adquiere el virus por contacto con un individuo infectado, el número de reproducción efectiva puede variar debido a cambios en la tasa de transmisión y a cambios en la porción de personas susceptibles entre las que entran en contacto con individuos infectados.

² Véase también Okell y otros (2020) para un análisis de si los países europeos experimentaron una disminución de la tasa de crecimiento de las defunciones debido a la inmunidad de rebaño.

todo el mundo y la persistencia de esas bajas tasas de transmisión en los últimos meses tiene importantes consecuencias para el estudio de las repercusiones de intervenciones de política sobre la progresión de esta epidemia. Varios estudios destacados, entre ellos Dehning y otros (2020), Hsiang y otros (2020) y Flaxman y otros (2020), han estudiado empíricamente el efecto de las intervenciones no farmacéuticas (NPI) ordenadas por los gobiernos para reducir la transmisión de COVID-19, y muchos de estos estudios sostienen que esas intervenciones no farmacéuticas tuvieron gran impacto sobre la tasa de transmisión de la enfermedad en la fase inicial de la pandemia.³ Habida cuenta de la observación de que las tasas de transmisión de COVID-19 disminuyeron prácticamente en todo el mundo durante este período inicial de la pandemia, nos preocupa que estos estudios puedan exagerar sustancialmente el efecto de las intervenciones no farmacéuticas ordenadas por los gobiernos para reducir la transmisión de la enfermedad debido a un sesgo de variable omitida. Además, habida cuenta de la observación de que las tasas de transmisión de enfermedades se han mantenido bajas, con una dispersión relativamente escasa en todo el mundo, durante los últimos meses, a medida que se han ido levantando las NPI, nos preocupa que las estimaciones de la eficacia de las NPI para reducir la transmisión de enfermedades del período anterior puedan no ser pertinentes para pronosticar el impacto de la relajación de esas NPI en el período actual, debido a algún cambio de régimen no observado.

¿Cuál podría ser esta variable o variables omitidas? Aunque no podemos responder a esta pregunta por nuestra cuenta, la literatura tanto en epidemiología como en economía ofrece varios candidatos. COVID-19 no es la primera epidemia en la cual las tasas de transmisión han caído más rápido de lo que podrían predecir simples modelos epidemiológicos. Chowell y otros (2016) y Eksin y otros (2019) son dos de los muchos estudios que indican que este rápido descenso de las tasas de transmisión es una característica generalizada de las epidemias humanas. Estos estudios y muchos otros apuntan a dos hipótesis de por qué las tasas de transmisión de las epidemias humanas podrían disminuir rápidamente que, a nuestro juicio, merecen ser estudiadas más a fondo cuando se aplican a COVID-19.

La primera de esas hipótesis es que los seres humanos adoptan medidas espontáneas para evitar la transmisión de enfermedades una vez que estalla una epidemia.⁴ En el caso de COVID-19, una gran cantidad de datos económicos y de movilidad en tiempo real indican que las interacciones humanas sociales y

³ Véase también Allcott y otros (2020), Fang y otros (2020), Deb y otros (2020), Askitas y otros (2020), Bonardi y otros (2020), Weber (2020), Conyon y otros (2020), Chernozhukov y otros (2020), Wieland (2020), Rubin y otros (2020), Donohue y Miller (2020) y muchos otros.

⁴ Para exposiciones de esta hipótesis, véase Eksin y otros (2019), Keppo y otros (2020) (diapositivas disponibles en <https://www.lonessmith.com/wp-content/uploads/2020/04/pandemic-slides.pdf>), el debate de John Cochrane en <https://johnhcochrane.blogspot.com/2020/05/an-sir-model-with-behavior.html>, Farboodi y otros (2020), Eichenbaum y otros (2020), Guerrieri y otros (2020), Kaplan y otros (2020), Toxvaerd (2020), Phillipson y Posner (1993) y muchos otros.

económicas han disminuido considerablemente en un gran número de lugares.⁵ No obstante, es necesario seguir investigando para determinar si esta disminución de las interacciones humanas es lo suficientemente grande y generalizada como para explicar la aparente disminución de las tasas de transmisión de COVID-19 en todo el mundo.⁶

La segunda de estas hipótesis es que la estructura de red de las interacciones humanas conduce naturalmente a una disminución de la transmisión de enfermedades más rápida de lo que se podría predecir a partir de un simple modelo epidemiológico en el que la población interactúa uniformemente entre sí.⁷ Es necesario seguir investigando para determinar si una estructura de red de interacciones humanas puede explicar realmente la disminución global de la transmisión de COVID-19.

Por último, debemos considerar la posibilidad de que fuerzas naturales inexplicadas puedan dar cuenta de la disminución observada en las tasas de transmisión de COVID-19. Como se ha examinado en Moore y otros (2020), la transmisión de COVID-19 se asemeja a la de la gripe pandémica. Estos autores observan que de ocho grandes pandemias de gripe que se han producido desde principios del siglo XVIII (incluida la gripe española de 1918-19), siete tuvieron un pico inicial que desapareció en el curso de unos pocos meses sin una intervención humana significativa. Lamentablemente, cada una de esas siete tuvo un segundo pico sustancial aproximadamente seis meses después del primero. Esta hipótesis final sugiere que algún factor natural no observado pudo haber impulsado el descenso hasta la fecha en la transmisión de COVID-19. Claramente, la existencia de tal factor no observado complicaría los estudios empíricos de las fuerzas impulsoras causales de la transmisión de COVID-19.

En el presente documento caracterizamos la regularidad empírica de los datos regionales sobre defunciones debidas a COVID-19, centrándonos en los países y estados de EE.UU. que han experimentado más de 1.000 muertes acumuladas a causa de la enfermedad a fines de julio de 2020. Esto nos proporciona una lista de 23 países y 25 estados de los EE.UU.

Los datos sobre defunciones diarias son bastante ruidosos, con efectos sustanciales del día de la semana, y grandes saltos debido a revisiones en los criterios utilizados para atribuir a COVID-19 como causa de defunción. Consideramos dos

⁵ Véase, por ejemplo, Cronin y Evans (2020), Goolsbee y Syverson (2020), Fetzer y otros (2020), Gupta y otros (2020).

⁶ Los datos de Lecocq y otros (2020) indican que la disminución de la movilidad humana ha sido efectivamente mundial.

⁷ Para la exposición de esta hipótesis, véase Chowell y otros (2016), Ellison (2020), Bisin y Moro (2020), y Britton y otros (2020). Para una aplicación de esta hipótesis a la propagación de COVID-19 en las ciudades, véase Akbarpour et al. (2020) y el sitio web asociado en <https://reopenmappingproject.com/>, así como Fajgelbaum et al. (2020) y Glaeser et al. (2020). Para una aplicación de esta hipótesis a la difusión mundial de COVID-19, véase Siwiak et al. (2020) y <https://www.gleamproject.org/>.

procedimientos para estimar muertes a partir de estos datos ruidosos.⁸ El primero utiliza un simple promedio móvil de siete días de muertes diarias y una diferencia finita para estimar la tasa de crecimiento de muertes diarias.⁹ En nuestro segundo procedimiento, ajustamos una combinación de distribuciones de Weibull a los datos de muertes diarias en cada región utilizando un procedimiento de estimación bayesiana descrito aquí y con mayor detalle en Atkeson et al. (2020).¹⁰ Este segundo procedimiento nos permite calcular bandas de probabilidad en torno a nuestras estimaciones de muertes diarias, así como también las derivadas de orden superior de muertes diarias que son necesarias para invertir los modelos epidemiológicos más complejos considerados en nuestro apéndice.

Utilizamos un simple modelo epidemiológico SIR para interpretar estas observaciones sobre muertes debidas a COVID-19 en términos del número de reproducción efectiva y la tasa de transmisión de la enfermedad. Al hacerlo, invertimos el modelo con una tasa de transmisión variable en el tiempo para ajustar exactamente los datos de muertes estimadas.¹¹ En nuestro sencillo modelo SIR, el número de reproducción efectiva es una transformación lineal de la tasa de crecimiento en logaritmos de las muertes diarias, con el modelo implícito en el número de reproducción efectiva igual a 1 cuando esta tasa de crecimiento es igual a cero y la pendiente de la relación igual al número medio de días durante los cuales un individuo infectado es infeccioso para otros. Con nuestro procedimiento de inversión de modelos, también podemos recuperar un estimado de la evolución de la fracción de la población que permanece susceptible a lo largo del tiempo.¹² Con esta fracción estimada, mostramos que la disminución del número de reproducción efectiva (y su variación en sección cruzada) se debe en gran medida a un descenso en la tasa de transmisión (y un descenso en la variación en sección cruzada de las tasas de transmisión).

En nuestro trabajo empírico, nos concentramos en datos sobre muertes para nuestras estimaciones de las tasas de transmisión de COVID-19. A este respecto, seguimos a otros como Murray (2020), Hay (2020), Korevaar y otros (2020), y Flaxman y otros (2020) que sostienen que los datos sobre defunciones

⁸ Véase Baqaee y otros (de próxima aparición) para un tercer procedimiento para suavizar la información sobre muertes diarias.

⁹ Se puede trazar un promedio móvil de 7 días de muertes diarias en una escala logarítmica (útil para medir la tasa de crecimiento de este estadístico) para un gran número de países y estados de EE.UU. aquí <https://ig.ft.com/coronavirus-chart>. Se pueden identificar fácilmente los puntos calientes del virus al principio de la epidemia como curvas pronunciadas en estos gráficos. También se puede ver fácilmente que, más recientemente, no hay regiones con un crecimiento tan rápido de muertes diarias en ningún lugar del mundo en estos gráficos.

¹⁰ Este procedimiento tiene cierta similitud con el utilizado por Murray (2020), que utiliza una mezcla de funciones de error para modelar defunciones acumuladas de COVID.

¹¹ Véase también Atkeson (2020) y Atkeson et al. (2020). Baqaee y otros (próximamente) utilizan este procedimiento en su estimación del número de reproducción efectiva en Estados Unidos.

¹² Confirmamos nuestros valores estimados de esta fracción comparándolos con los hallazgos de estudios serológicos generalizados en Nueva York, Connecticut, Luisiana y España.

relacionadas con COVID son más exactos que los datos de pruebas sobre los casos.¹³ Trabajos conexos de Buckman y otros (2020) y Beenstock y Dai (2020) constatan una gran disminución del número de reproducciones efectivas de COVID-19 en todos los países cuando se estiman utilizando datos sobre casos confirmados.¹⁴ Los sitios web <https://rt.live/> y <https://covidestim.org> proporcionan estimaciones del número de reproducción efectiva para los estados de EE.UU. utilizando datos sobre casos confirmados.¹⁵

El resto del documento está organizado de la siguiente manera. En la sección 2 presentamos nuestro procedimiento para interpretar los datos de muertes de COVID con un modelo epidemiológico SIR. A continuación presentamos nuestros procedimientos de estimación en la sección 3. Presentamos nuestros hallazgos en la sección 4. Finalmente, concluimos.

[...]

5 Conclusión

Una de las principales cuestiones de política relativas a la pandemia de COVID-19 es la cuestión de las intervenciones no farmacéuticas que los gobiernos podrían utilizar para influir sobre la transmisión de la enfermedad. Nuestra capacidad para identificar empíricamente cuáles NPI tienen qué impacto en la transmisión de la enfermedad depende de que haya suficiente variación independiente tanto en las NPI como en la transmisión de la enfermedad en diferentes lugares, así como de que dispongamos de procedimientos sólidos para controlar otros factores observados y no observados que podrían estar influyendo en la transmisión de la enfermedad. Los hechos que exponemos en este documento ponen en duda esta premisa.

Nuestro hallazgo del Hecho 1 de que los primeros descensos en la tasa de transmisión de COVID-19 fueran casi universales en todo el mundo, sugiere que el papel de las NPI específicas de cada región implementadas en esta fase temprana de la pandemia probablemente sea exagerado. Este hallazgo sugiere, en cambio, que algún otro factor(s) común(es) a todas las regiones impulsó los tempranos y rápidos descensos de la tasa de transmisión. Si bien los tres factores mencionados en la introducción, el distanciamiento social voluntario, la estructura de red de las interacciones humanas y la naturaleza de la propia enfermedad pueden ser candidatos naturales, es difícil separar sus funciones relativas.

¹³ Véase también Aspelund y otros (2020) y <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/cases-updates/about-serology-surveillance.html> para un análisis de los posibles errores de medición en los datos de casos confirmados.

¹⁴ Véase también Liu y otros (2020).

¹⁵ El método comúnmente utilizado de Cori y otros (2013) para estimar los números de reproducción requiere datos precisos sobre los nuevos casos.

Nuestros hallazgos sobre los Hechos 2 y 3 plantean aún más dudas sobre la importancia de las NPI (en particular, las políticas de confinamiento) en la contabilización de la evolución de las tasas de transmisión de COVID-19 a lo largo del tiempo y entre lugares. Muchas de las regiones de nuestra muestra que instauraron políticas de confinamiento al principio de su epidemia local, las eliminaron más tarde en nuestro período de estimación, o no han confiado en absoluto en las NPI obligatorias. Sin embargo, las cifras de reproducción efectiva en todas las regiones han seguido siendo bajas en relación con los niveles iniciales, lo que indica que la eliminación de las políticas de bloqueo ha tenido poco efecto en los índices de transmisión.

La literatura existente ha llegado a la conclusión de que las políticas de NPI y de distanciamiento social han sido esenciales para reducir la propagación de COVID-19 y el número de muertes debidas a esta pandemia mortal. Los hechos estilizados establecidos en este documento desafían esta conclusión. Sostenemos que la investigación que se está llevando a cabo debería tener en cuenta estos hechos al evaluar la importancia de la política de NPI en la configuración de la progresión de COVID-19.

Las fuentes de datos para decesos diarios son el New York Times para los estados de EE.UU. y la Universidad Johns Hopkins para otros países. Seleccionamos los estados de EE.UU. y otros países que han experimentado más de 1000 muertes acumuladas debido a COVID-19 al 22 de julio de 2020. Para cada ubicación i , nuestro período de estimación comienza en la fecha específica de la ubicación cuando las muertes acumuladas llegaron a 25 en esa ubicación y termina el 22 de julio de 2020. Los 24 países que estudiamos son Alemania, Argentina, Bélgica, Brasil, Canadá, Chile, Dinamarca, España, Francia, India, Irán, Irlanda, Italia, Japón, México, Países Bajos, Panamá, Perú, Portugal, Reino Unido, Rusia, Suecia, Suiza, y Turquía, y Estados Unidos excluyendo según los estados que se enumeran a continuación. Los 25 estados de Estados Unidos que estudiamos son Alabama, Arizona, California, Colorado, Connecticut, Florida, Georgia, Illinois, Indiana, Luisiana, Maryland, Massachusetts, Michigan, Mississippi, Minnesota, Missouri, Nueva Jersey, Nueva York, Carolina del Norte, Ohio, Pennsylvania, Carolina del Sur, Texas, Virginia y Washington. El resto de los Estados Unidos se cuenta como otra región.

Gráficos seleccionados

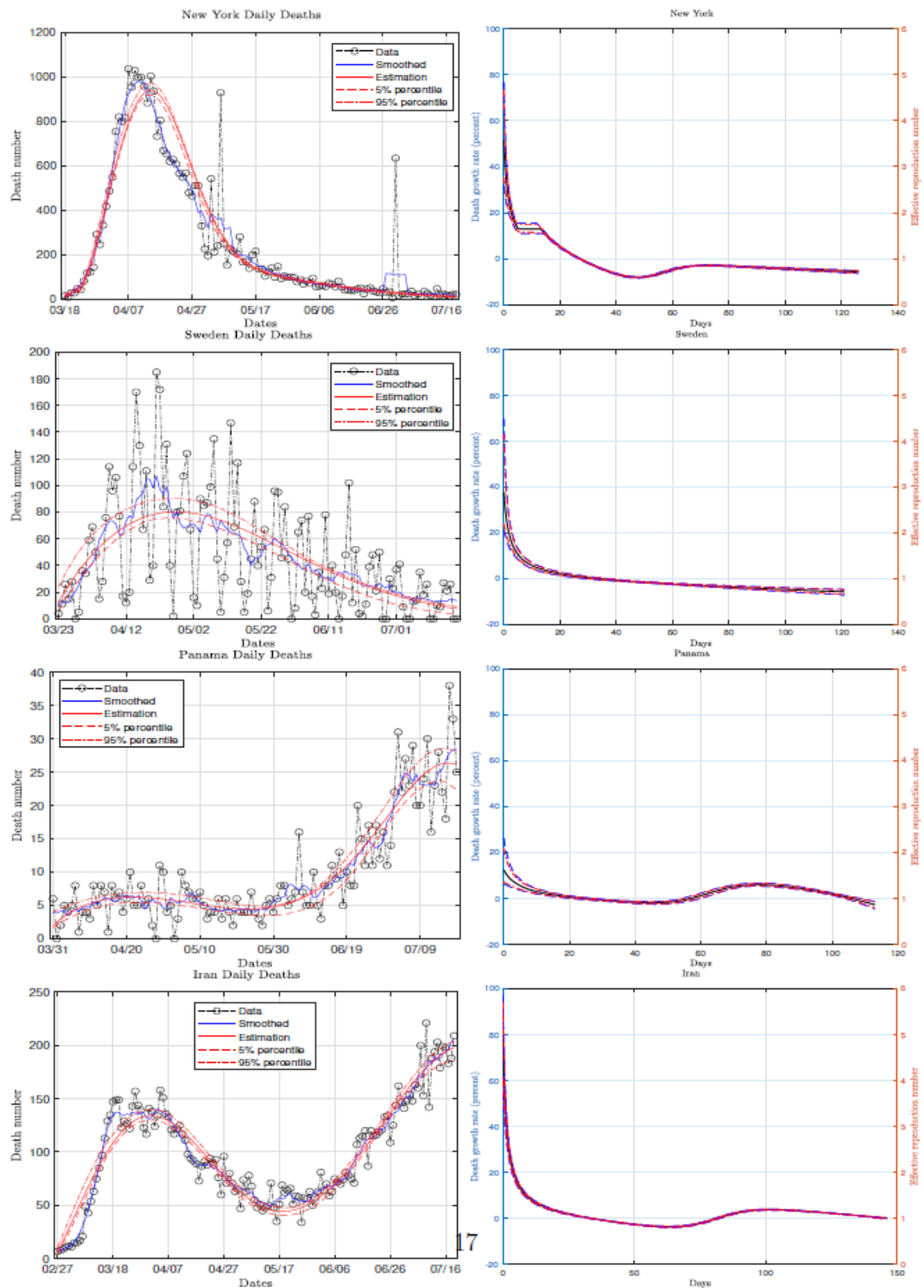


Figura 1: Columna izquierda: tendencia de muertes estimadas con bandas de 0,90 de probabilidad (creíbles). Muertes suavizadas (línea azul continua) es un promedio de 7 días. Columna derecha: tasas de crecimiento de muertes con bandas de 0,90 de probabilidad (creíbles). Número de reproducción efectiva en base al modelo SIR.

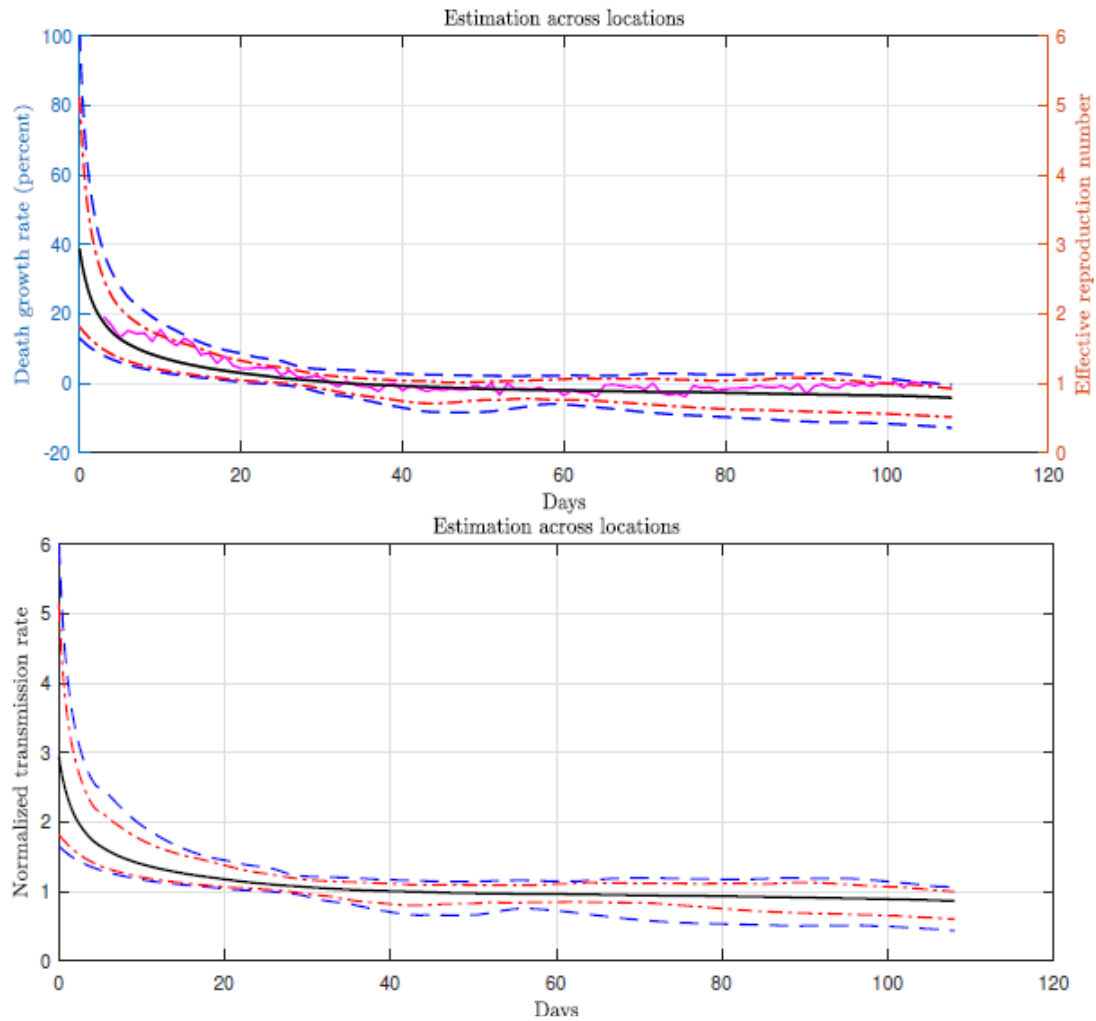


Figura 2: Incertidumbre de localización y muestreo. La línea negra sólida en ambos gráficos representa el estimado de la mediana posterior. La línea sólida magenta en el gráfico superior representa la mediana de la tasa de crecimiento de muertes diarias suavizadas de 7 días para 50 localizaciones y corresponde sólo a la escala izquierda. Las dos bandas de puntos y rayas de ambos gráficos contienen dos tercios de la probabilidad posterior en cada momento y las dos bandas de rayas, 0,90 de la probabilidad posterior. Tasas de crecimiento de la mortalidad estimadas de acuerdo con la función ajustada de Weibull. Números de reproducción efectiva y tasas de transmisión normalizadas basadas en el modelo SIR. El día 0 es la fecha más temprana en la que el número de muertes acumuladas alcanzó la cifra de 25 en cada lugar.

- William Ogilvy Kermack y A.G. McKendrick. A contribution to the mathematical theory of epidemics [Una contribución a la teoría matemática de las epidemias]. *Proceedings of the Royal Society London A*, 115 (772): 700-721, agosto de 1927.
- L. C. Okell, R. Verity, O. J. Watson, S. Mishra, P. Walker, C. Whittaker, A. Katzourakis, C. A. Donnelly, S. Riley, A. C. Ghani, A. Gandy, S. Flaxman, N. M. Ferguson, y S. Bhatt. Have deaths from covid-19 in Europe plateaued due to herd immunity? *Lancet*, 395(10241): e110–e111, junio de 2020.
- Jonas Dehning, Johannes Zierenberg, F. Paul Spitzner, Michael Wibral, Joao Pinheiro Neto, Michael Wilczek, and Viola Priesemann. Inferring change points in the spread of covid-19 reveals the effectiveness of interventions. *Science*, mayo de 2020.
- Solomon Hsiang, Daniel Allen, Sébastien Annan-Phan, Kendon Bell, Ian Bolliger, Trinetta Chong, Hannah Druckenmiller, Luna Yue Huang, Andrew Hultgren, Emma Krasovich, Peiley Lau, Jaecheol Lee, Esther Rolf, Jeannette Tseng, y Tiffany Wu. The effect of large-scale anti-contagion policies on the covid-19 pandemic. *Nature*, 2020.
- Seth Flaxman, Swapnil Mishra, Axel Gandy, H. Juliette T. Unwin, Thomas A. Mellan, Helen Coupland, Charles Whittaker, Harrison Zhu, Tresnia Berah, Jeffrey W. Eaton, Mélodie Monod, Pablo N. Perez-Guzman, Nora Schmit, Lucia Cilloni, Kylie E. C. Ainslie, Marc Baguelin, Adhiratha Boonyasiri, Olivia Boyd, Lorenzo Cattarino, Laura V. Cooper, Zulma Cucunubá, Gina Cuomo-Dannenburg, Amy Dighe, Bimandra Djaafara, Ilaria Dorigatti, Sabine L. van Elsland, Richard G. FitzJohn, Katy A. M. Gaythorpe, Lily Geidelberg, Nicholas C. Grassly, William D. Green, Timothy Hallett, Arran Hamlet, Wes Hinsley, Ben Jeffrey, Edward Knock, Daniel J. Laydon, Gemma Nedjati-Gilani, Pierre Nouvellet, Kris V. Parag, Igor Siveroni, Hayley A. Thompson, Robert Verity, Erik Volz, Caroline E. Walters, Haowei Wang, Yuanrong Wang, Oliver J. Watson, Peter Winskill, Xiaoyue Xi, Patrick GT Walker, Azra C. Ghani, Christl A. Donnelly, Steven M. Riley, Michaela A. C. Vollmer, Neil M. Ferguson, Lucy C. Okell, Samir Bhatt, and Imperial College COVID-19 Response Team. Estimating the effects of non-pharmaceutical interventions on covid-19 in Europe. *Nature*, 2020.
- Hunt Allcott, Levi Boxell, Jacob Conway, Billy Ferguson, Matthew Gentzkow, y Benny Goldman. Economic and health impacts of social distancing policies during the coronavirus pandemic. May 2020.
- Hanming Fang, Long Wang, y Yang Yang. Human mobility restrictions and the spread of the novel coronavirus (2019-ncov) in China. Working Paper

26906, National Bureau of Economic Research, March 2020. URL <http://www.nber.org/papers/w26906>.

Pragyan Deb, Davide Furceri, Jonathan D. Ostroy, y Nour Tawk. The effect of containment measures on the covid-19 pandemic. *Covid Economics* 19, CEPR, 18 May 2020.

Nikos Askitas, Kontantinos Tatsiramos, y Bertrand Verheyden. Lockdown strategies, mobility patterns and covid-19. *Covid Economics* 23, CEPR, 28 May 2020.

Jean-Philippe Bonardi, Quentin Gallea, Dimtrija Kalanoski, y Rafael Lalive. Fast and local: How lockdown policies affect the spread and severity of covid-19. *Covid Economics* 23, CEPR, 28 May 2020.

Enzo Weber. Which measures flattened the curve in Germany? *Covid Economics* 24, CEPR, 1 June 2020.

Martin J Conyon, Lerong He, y Steen Thomsen. Lockdowns and covid-19 deaths in Scandinavia. *Covid Economics* 26, CEPR, 5 June 2020.

Victor Chernozhukov, Hiroyuki Kasahara, y Paul Schrimpf. Causal impact of masks, policies, behavior on early covid-19 pandemic in the US. *Covid Economics* 35, CEPR, 7 July 2020.

Thomas Wieland. Change points in the spread of covid-19 question the effectiveness of nonpharmaceutical interventions in Germany. *Covid Economics* 37, CEPR, 14 July 2020.

David Rubin, Jing Huang, Brian T. Fisher, Antonio Gasparrini, Vicky Tam, Lihai Song, Xi Wang, Jason Kaufman, Kate Fitzpatrick, Arushi Jain, Heather Gris, Koby Crammer, Jeffrey Morris, y Gregory Tasian. Association of Social Distancing, Population Density, and Temperature With the Instantaneous Reproduction Number of SARS-CoV-2 in Counties Across the United States. *JAMA Network Open*, 3(7): e2016099–e2016099, 07 2020. ISSN 2574-3805. doi: 10.1001/jamanetworkopen.2020.16099. URL <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2020.16099>.

Julie M. Donohue y Elizabeth Miller. COVID-19 and School Closures. *JAMA*, 07 2020. ISSN 0098-7484. doi: 10.1001/jama.2020.13092. URL <https://doi.org/10.1001/jama.2020.13092>.

Gerardo Chowell, Lisa Sattenspiel, Shweta Bansal, y Cecile Viboud. Mathematical models to characterize early epidemic growth: A review. *Physical Life Review*, 18: 66–97, September 2016.

Ceyhun Eksin, Keith Paarporn, y Joshua S. Weitz. Systematic biases in disease forecasting – The role of behavior change. *Epidemics*, 27:96–105, June 2019.

Christopher J Cronin y William N Evans. Private precaution and public restrictions: What drives social distancing and industry foot trac in the covid-19 era? Working Paper 27531, National Bureau of Economic Research, July 2020. URL <http://www.nber.org/papers/w27531>.

Austan Goolsbee y Chad Syverson. Fear, lockdown, and diversion: Comparing drivers of pandemic economic decline 2020. Working Paper 27432, National Bureau of Economic Research, June 2020. URL <http://www.nber.org/papers/w27432>.

Thiemo R Fetzer, Marc Witte, Lukas Hensel, Jon Jachimowicz, Johannes Haushofer, Andriy Ivchenko, Stefano Caria, Elena Reutskaja, Christopher P Roth, Stefano Fiorin, Margarita Gómez, Gordon Kraft-Todd, Friedrich M Götz, y Erez Yoeli. Global behaviors and perceptions at the onset of the covid-19 pandemic. Working Paper 27082, National Bureau of Economic Research, May 2020. URL <http://www.nber.org/papers/w27082>.

Sumedha Gupta, Thuy D Nguyen, Felipe Lozano Rojas, Shyam Raman, Byungkyu Lee, Ana Bento, Kosali I Simon, y Coady Wing. Tracking public and private responses to the covid-19 epidemic: Evidence from state and local government actions. Working Paper 27027, National Bureau of Economic Research, April 2020. URL <http://www.nber.org/papers/w27027>.

Thomas Lecocq, Stephen P. Hicks, Koen Van Noten, Kasper van Wijk, Paula Koelemeijer, Raphael S. M. De Plaen, Frédéric Massin, Gregor Hillers, Robert E. Anthony, Maria-Theresia Apoloner, Mario Arroyo-Solórzano, Jelle D. Assink, Pinar Büyükkakpınar, Andrea Cannata, Flavio Cannavo, Sebastian Carrasco, Corentin Caudron, Esteban J. Chaves, David G. Cornwell, David Craig, Olivier F. C. den Ouden, Jordi Diaz, Stefanie Donner, Christos P. Evangelidis, Láslo Evers, Benoit Fauville, Gonzalo A. Fernández, Dimitrios Giannopoulos, Steven J. Gibbons, Társilo Girona, Bogdan Grecu, Marc Grunberg, György Hetényi, Anna Horleston, Adolfo Inza, Jessica C. E. Irving, Mohammadreza Jamalreyhani, Alan Kafka, Mathijs R. Koymans, Celeste R. Labedz, Eric Larose, Nathaniel J. Lindsey, Mika McKinnon, Tobias Megies, Meghan S. Miller, William Minarik, Louis Moresi, Víctor H. Márquez-Ramírez, Martin Möllhoff, Ian M. Nesbitt, Shankho Niyogi, Javier Ojeda, Adrien Oth, Simon Proud, Jay Pulli, Lise Retailleau, Annukka E. Rintamäki, Claudio Satriano, Martha K. Savage, Shahar Shani-Kadmiel, Reinoud Sleeman, Efthimios Sokos, Klaus Stammmler, Alexander E. Stott, Shiba Subedi, Mathilde B. Sørensen, Taka'aki Taira, Mar Tapia, Fatih Turhan, Ben van der Pluijm, Mark Vanstone, Jerome Vergne,

Tommi A. T. Vuorinen, Tristram Warren, Joachim Wassermann, and Han Xiao. Global quieting of high-frequency seismic noise due to covid-19 pandemic lockdown measures. *Science*, 2020. ISSN 0036-8075. doi: 10.1126/science. abd2438. URL <https://science.sciencemag.org/content/early/2020/07/22/science.abd2438>.

Glenn Ellison. Implications of heterogeneous sir models for analyses of covid-19. Working Paper 27373, National Bureau of Economic Research, June 2020. URL <http://www.nber.org/papers/w27373>.

Alberto Bisin y Andrea Moro. Learning epidemiology by doing: The empirical implications of a spatial-sir model with behavioral responses. Working Paper 27590, National Bureau of Economic Research, July 2020. URL <http://www.nber.org/papers/w27590>.

Tom Britton, Frank Ball, y Pieter Trapman. A mathematical model reveals the influence of population heterogeneity on herd immunity to sars-cov-2. *Science*, 2020. ISSN 0036-8075. doi: 10.1126/science.abc6810. URL <https://science.sciencemag.org/content/early/2020/06/22/science.abc6810>.

Mohammad Akbarpour, Cody Cook, Aude Marzuoli, Simon Mongey, Abhishek Nagaraj, Matteo Saccarola, Pietro Tebaldi, Shoshana Vasserman, y Hanbin Yang. Socioeconomic network heterogeneity and pandemic policy response. Working Paper 27374, National Bureau of Economic Research, June 2020. URL <http://www.nber.org/papers/w27374>.

Pablo Fajgelbaum, Amit Khandelwal, Wookun Kim, Cristiano Mantovani, y Edouard Schaal. Optimal lockdown in a commuting network. Working Paper 27441, National Bureau of Economic Research, June 2020. URL <http://www.nber.org/papers/w27441>.

Edward L. Glaeser, Caitlin S. Gorbach, y Stephen J. Redding. How much does covid-19 increase with mobility? Evidence from New York and four other U.S. cities. Working Paper 27519, NBER, July 2020.

Marlena M Siwiak, Pawel Szczesny, y Marian P Siwiak. From a single host to global spread. The global mobility based modelling of the covid-19 pandemic implies higher infection and lower detection rates than current estimates. *medRxiv*, 2020. doi: 10.1101/2020.03.21.20040444. URL <https://www.medrxiv.org/content/early/2020/05/13/2020.03.21.20040444>.

Kristine A. Moore, Marc Lipsitch, John M. Barry, y Michael T. Osterholm. The future of the covid-19 pandemic: Lessons learned from pandemic

influenza. Viewpoint Part 1, CIDRAP, the University of Minnesota, April 2020.

David Baqaee, Emmanuel Farhi, Michael Mina y James H. Stock. Policies for a second wave. *Brookings Papers on Economic Activity*, julio próximamente.

Andrew Atkeson. On using sir models to model disease scenarios for covid-19. *Federal Reserve Bank of Minneapolis Quarterly Review*, (4111), June 2020.

Christopher JL Murray. Forecasting the impact of the first wave of the covid-19 pandemic on hospital demand and deaths for the USA and European economic area countries. *medRxiv*, 2020. doi: 10.1101/2020.04.21.20074732. URL <https://www.medrxiv.org/content/early/2020/04/26/2020.04.21.20074732>.

Andrew Atkeson, Karen Kopecky, y Tao Zha. Estimating and forecasting disease scenarios for covid-19 with a sir model. Working Paper 27335, National Bureau of Economic Research, June 2020. URL <http://www.nber.org/papers/w27335>.

Shelby R. Buckman, Reuven Glick, Kevin J. Lansing, Nicolas Petrosky-Nadeu, y Lily M. Seitelman. Replicating and projecting the path of covid-19 with a modelimplied reproduction number. Working Paper 2020-24, Federal Reserve Bank of San Francisco, July 2020.

Michael Beenstock y Xieer Dai. The natural and unnatural histories of covid-19 contagion. Technical report, *CEPR Covid Economics*, April 27 2020.

Laura Liu, Hyungsik Roger Moon, y Frank Schorfheide. Panel forecasts of countrylevel covid-19 infections. Working Paper 27248, National Bureau of Economic Research, May 2020. URL <http://www.nber.org/papers/w27248>.

Anne Cori, Neil M Ferguson, Christophe Fraser, y Simon Cauchemez. A new framework and software to estimate time-varying reproduction numbers during epidemics. *American Journal of Epidemiology*, 178(9), 2013.