

Aportes sobre COVID-19 *

**Modelos de series temporales adaptativos y robustos para
predecir contagios y muertes por COVID-19:
la respuesta de Castle, Doornik y Hendry**

Silvia Rodríguez-Collazo**

10 de Junio de 2020

* El objetivo de esta serie de notas, creada a partir de abril de 2020, es contribuir a la reflexión sobre distintos aspectos de la situación de pandemia generada por el coronavirus SARS-CoV-2, con especial énfasis en Uruguay. Los documentos son elaborados por investigadores e investigadoras del Instituto de Estadística, desde las diversas perspectivas que forman parte de sus áreas de investigación, y en algunos casos en coautoría con invitados externos.

** Universidad de la República. Facultad de Ciencias Económicas y de Administración, Instituto de Estadística. Montevideo, Uruguay.
ORCID ID <https://orcid.org/0000-0002-3871-6448> Contacto: silvia@iesta.edu.uy



FACULTAD DE
CIENCIAS ECONÓMICAS
Y DE ADMINISTRACIÓN

IESTA INSTITUTO
DE ESTADÍSTICA



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY

Instituto de Estadística
Facultad de Ciencias Económicas y de Administración
UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

**Modelos de series temporales adaptativos y robustos para predecir contagios y
muertes por COVID-19¹
La respuesta de Castle, Doornik y Hendry**

Prof. Silvia Rodríguez-Collazo

Cuando la pandemia comenzó a propagarse, primero, desde China a Europa y, luego, al resto de los continentes, se difundieron los resultados de gran cantidad de procedimientos de predicción de casos de infectados y fallecidos por COVID-19, incluyendo modelos de simulación, modelos epidemiológicos, modelos matemáticos, modelos estadísticos.

Las predicciones sobre la profundidad y duración de las recesiones económicas en los países afectados por esta epidemia dependen de la duración de la parada en la producción y el consumo, que ocurren como consecuencia de las medidas de cuarentena y del distanciamiento social que han instrumentado los distintos países han instrumentado como respuesta a la expansión de la epidemia, dentro de cada país y a nivel global. Por tanto, disponer de predicciones precisas sobre las repercusiones de mediano plazo de la epidemia no sólo son fundamentales para definir la respuesta de política económica en el futuro próximo, sino que, en el corto plazo, pueden ayudar a evaluar la eficacia de las políticas sanitarias implementadas y a determinar eventuales cambios de rumbo. Obviamente, los pronósticos sobre las repercusiones económicas de la pandemia contribuyen a determinar la magnitud de la recesión y a visualizar posibles horizontes de salida la crisis en que se ven inmersos los países.

En estas circunstancias, buena parte de los gobiernos del mundo han optado por apoyarse en equipos de científicos de sus respectivos países, tanto en lo referente a las políticas a implementar, como en lo que respecta a determinar la evolución prevista de la pandemia. Las proyecciones de los modelos elaborados por estos equipos se han convertido en un insumo muy importante para la toma de decisiones sanitarias y económicas. Lo cierto es que no siempre es posible encontrar buena documentación sobre las metodologías utilizadas en la elaboración de las predicciones que se difunden. En realidad, en la mayoría de los casos, poco y nada se conoce sobre las características de los modelos utilizados y sobre la evaluación de la precisión de las predicciones generadas por éstos.

¹Agradezco los valiosos comentarios y sugerencias realizadas por Fernando Lorenzo y Bibiana Lanzilotta. Los errores que persistan son de mi entera responsabilidad.

En este marco de crisis global, el International Institute of Forecasting, creó una sección especial de su blog, denominada “JF special section: Epidemics and forecasting with focus COVID-19” En esa convocatoria, se presentaron distintas propuestas de modelización y predicción de la evolución del número de infectados y de fallecidos a causa del virus. Los artículos publicados en este blog muestran diversas aproximaciones técnicas para elaborar los pronósticos, tanto para casos nacionales específicos, como para conjuntos de países.

En esta nota propongo compartir la solución que algunos profesionales encontraron para sortear algunos problemas metodológicos que parecían insalvables hasta hace apenas unas pocas semanas. En concreto, intentaré explicar brevemente los principales rasgos de algunas estrategias de modelización desarrolladas para generar predicciones acerca de la evolución diaria, y hasta con siete días de antelación, de los casos de infectados por el virus y del número de muertes como consecuencia del COVID-19. A través de las referencias bibliográficas, que se aportan al final de esta nota, los interesados en profundizar sobre estos temas podrán consultar la literatura relacionada.

En concreto, los aportes de Jennifer Castle, Jurgen Doornik y David Hendry son, especialmente, interesantes y merecen la atención de todos los analistas que utilizan modelos estadísticos para generar predicciones. La propuesta metodológica de estos autores para sortear las notorias dificultades que se presentan al elaborar proyecciones del número de contagios y de fallecimientos aborda cuestiones relacionadas con la construcción de los datos y con las herramientas de predicción utilizadas. La atención de esta nota está en la publicación en el blog correspondiente al 30 de abril de 2020, aunque los autores aportan información actualizada diariamente que puede consultarse en la página web donde se divulgan las proyecciones².

La modelización de las series temporales de casos positivos, así como de las muertes por COVID-19 enfrenta el desafío de representar, adecuadamente, la forma de la no estacionariedad que presentan los datos. Para abordar esta cuestión, los modelos estadísticos utilizados por los autores combinan el uso de tendencias estocásticas con la introducción de cambios estructurales en la función de distribución de las variables analizadas.

Como es habitual en el análisis econométrico de series temporales, en este caso existen dos fuentes fundamentales de no estacionariedad. Por un lado, la que proviene de la propia evolución de la serie en condiciones normales y que definen el carácter estocástico del componente tendencia y, por otro lado, la que se genera como consecuencia de cambios bruscos y quiebres de diversa magnitud que afectan a la evolución de las variables analizadas. En presencia de estos fenómenos, no existe ninguna fuerza dinámica que asegure el retorno de los datos hacia un valor predeterminado (típico de la estacionariedad en media). Es frecuente, que tampoco exista un patrón de variabilidad estable a lo largo del tiempo (evolutividad de la varianza). La presencia de ambas formas de no estacionariedad implica que la estructura paramétrica de la función de distribución evoluciona a lo largo del tiempo. Esto debe ser contemplado en la modelización empírica, si es que se pretende generar predicciones precisas y útiles para la toma de decisiones de política.

Entre los eventos que inciden sobre la no estacionariedad de los datos se encuentran, por cierto, las políticas instrumentadas con el objetivo de mitigar y, de ser posible, eliminar la cadena de contagios del virus. Otro factor que importa a la hora de modelizar la no estacionariedad de las series temporales de contagios y muertes, proviene de que los países están aplicando distintas estrategias de testeo y que las mismas son, ocasionalmente, revisadas. En algunos países, el testeo incluye a personas asintomáticas, en otros países no. Hay que tener en cuenta, además, que en las secuencias de datos inciden las prácticas de registro de contagios y fallecimientos. En

²<https://www.doornik.com/COVID-19/>

este último caso, existen muertes que se registran varios días después de ocurridos. En ciertas circunstancias, quedan dudas fundadas sobre si la causa del fallecimiento ha sido el COVID-19. A modo de ejemplo, los autores mencionan que en Gran Bretaña se cuentan las muertes que ocurren en hospitales, mientras que en otros países se contabilizan también como fallecimientos por COVID-19 los decesos que ocurren bajo internación domiciliaria.

Tanto las políticas sanitarias llevadas adelante por los gobiernos, como las modificaciones en las metodologías de registro influyen sobre las características de los datos que se utilizan en la construcción de los modelos. Cabe precisar, por otra parte, que los conteos de casos están sujetos a quiebres (impredecibles), debido al sub-reporte, a cambios en los criterios de definición, a retrasos en el registro de los datos y hasta a errores involuntarios en las metodologías de construcción de las series.

En definitiva, así son generados los datos sobre los que ponen foco las autoridades sanitarias, los medios de comunicación y la ciudadanía, en general, que siguen con atención la evolución de las cifras y los pronósticos que se divulgan de manera regular. Estas características de las series temporales de casos no ocurren sólo en Gran Bretaña, sino que se observan en la mayoría de los países, incluso en Uruguay.

Las particularidades y deficiencias de las metodologías de conteo y registro de casos fueron analizadas, recientemente, por la Profesora Graciela Sanromán en una nota publicada en La Diaria³. Los trabajos de Castle, Doornik y Hendry (CDH), en particular, la propuesta metodológica que plantean para generar las predicciones, representa una respuesta a algunas de los problemas que identifica la Profesora Sanromán en el artículo publicado el pasado mes de abril.

Los autores adoptan un enfoque metodológico para predecir las cifras de contagio y fallecimientos basados en el uso de modelos de tendencias estocásticas y en la consideración explícita de cambios recurrentes en la función de distribución de los datos. La propuesta consiste en la aplicación conjunta de operaciones de diferenciación, como las habitualmente aplicadas en el tratamiento de la no estacionariedad, basadas en los trabajos de Box y Jenkins, y técnicas de saturación, basadas en la aplicación de variables cualitativas, a efectos de recoger los quiebres o puntos críticos que se van produciendo en los datos en el transcurso del tiempo.

De este modo, CDH atienden las dos fuentes de no estacionariedad mencionadas, construyendo modelos predictivos robustos, que se adaptan al comportamiento de los datos. Esta forma de proceder permite que los procedimientos estadísticos tengan la “habilidad” de eludir el fracaso sistemático en materia predictiva, como consecuencia de cambios abruptos y repentinos en la función de distribución. Si los modelos tienen buen desempeño predictivo, las sorpresas que ocurren a causa de cambios en los sistemas de registro, y que no hayan sido pronosticadas por los modelos, deberían interpretarse como indicadores de éxito en las políticas implementadas.

El trabajo de CDH tiene como objetivo primordial generar predicciones de corto plazo de casos positivos y muertes por COVID-19, con un horizonte de referencia de hasta 7 días, que sean útiles para operar como una guía para planificar las acciones de corto plazo por parte de los técnicos y las autoridades gubernamentales. A tales efectos, las series de frecuencia diaria se descomponen, separando el componente tendencial de las mismas. La tendencia es estimada a partir de ventanas móviles de los datos, aplicando el método de saturación para mejorar la robustez y la flexibilidad de la estimación del componente tendencial a lo largo del tiempo. El

³<https://ladiaria.com.uy/articulo/2020/4/sobre-los-datos-de-la-pandemia-y-su-no-utilidad/>

otro componente se predice de forma separada mediante un método denominado Cardt⁴, que fue creado por los autores para participar en la competición M4. Este método es el resultado de combinar dos formulaciones, el método Delta, especifica y estima una tendencia “amortiguada” para las tasas de crecimiento de la serie. El método Rho, estima un modelo autoregresivo adaptativo. Se crean nuevas predicciones a partir de un promedio de las provenientes de estos dos métodos. Finalmente se aplica lo que los autores llaman “calibración”, donde las predicciones se toman como datos observados y se estima un modelo autoregresivo más rico que el proveniente del método Rho, los valores estimados que se obtienen por la aplicación de este método se convierten en las predicciones finales. El procedimiento Cardt fue ajustado y mejorado para realizar las predicciones de casos positivos y de número de muertes por COVID-19.

Todos y cada uno de los procedimientos, incluidas las metodologías utilizadas, están debidamente documentados y son accesibles al público. De este modo, las predicciones generadas por los autores pueden ser evaluadas por cualquier usuario no experto.

Los quiebres estructurales pueden generar cambios en la función de distribución, alterando la dependencia temporal de los datos y causando fallos sistemáticos en las predicciones. Es bien sabido que la ocurrencia de eventos extraordinarios (outliers) puede dar lugar a distribuciones asimétricas y con “colas pesadas”, aunque el proceso generador de datos tenga una estructura normal. La estadística de series temporales ha generado distintos métodos para detectar y estimar eventos atípicos y quiebres en el valor medio de los procesos estocásticos.

Entre la familia de procedimientos disponibles los autores proponen una metodología que se denomina estimación por saturación. Estas metodologías resuelven lo que aparecía como un “problema sin solución”, relacionado con el proceso de selección de las variables a retener en el modelo, partiendo de una realidad en que pueden existir más variables que observaciones. La primera solución para este problema fue propuesta por Hendry (1999), basado en una saturación por ventanas temporales. Con el paso del tiempo, el método de saturación amplió su base. Desde los trabajos pioneros, se desarrollaron el método IIS (impulse indicator saturation), el SIS (step indicator saturation), el TIS (trend indicator saturation) hasta el método MIS (Multiplicative indicator saturation). En el caso del IIS se crea un conjunto completo de variables indicatrices, una para cada observación de la muestra. El SIS considera variables de tipo escalón (cambio permanente de nivel) para cada observación, generando un índice acumulado de variables tipo impulso. A través del TIS, se pueden capturar quiebres en la tendencia, saturando el modelo mediante indicadores de tendencia. Existe, asimismo, el métodos MIS que combina el método IIS y SIS mediante una saturación multiplicativa. Este sistema es parte de un algoritmo de selección de modelos que se denomina Autometrics⁵ que incluye un procedimiento que permite realizar las estimaciones en casos donde hay más variables que observaciones. La idea que hay detrás de esta metodología es que los quiebres pueden darse en cada punto del tiempo, aunque en el proceso de modelización se retendrán, solamente, aquellos que resultan estadísticamente significativos.

Los autores aportan los resultados de la evaluación de sus predicciones para los siete días siguientes, comparando sus pronósticos con las proyecciones generadas por los modelos epidemiológicos del MRC Centre for Global Disease Analysis at Imperial College London (MCIC)⁶. Las proyecciones del MCIC corresponden al acumulado de siete días y son el resultado de la aplicación de tres modelos epidemiológicos Bayesianos. Estas predicciones muestran sesgo ne-

⁴Doornik, J.; Castle, J. y Hendry, D. (2020) Card forecasts for M4 International Journal of Forecasting 36

⁵Autometrics es un algoritmo para la selección de modelos que se enmarca en el marco de lo “General a lo Particular”.

⁶<https://mrc-ide.github.io/covid19-short-term-forecasts/index.html>

gativo, aunque éste se ha ido moderando a medida que la epidemia avanza. La evaluación de predicciones generadas por CDH exhiben un desempeño predictivo considerablemente mejor que los modelos MCIC, presentando sesgo positivo, aunque muy próximo a cero. Durante las dos primeras semanas del mes de mayo, últimos datos disponibles al momento de publicar el artículo revisado, la brecha entre los niveles de precisión de las predicciones MCIC y CDH se ha reducido de manera notoria.

En el siguiente cuadro se muestran los resultados de la comparación del desempeño predictivo de los modelos aplicados por MCIC y los de los autores (F), la precisión de las predicciones se evalúan mediante los siguientes indicadores: Media absoluta de los errores (MAE), errores relativos (MPE), y en valor absoluto (MAPE).

<i>Week ending</i>	<i>Count</i>	<i>MAE</i>		<i>MPE(W)</i>		<i>MPE(T)</i>		<i>MAPE(W)</i>		<i>MAPE(T)</i>	
		MCIC	F	MCIC	F	MCIC	F	MCIC	F	MCIC	F
up to 2020-04-04	29	1068	629	-66	26	-43	21	71	40	47	27
2020-04-11	23	1912	661	-87	-2	-40	2	91	31	42	16
2020-04-18	24	372	372	-31	-12	-12	-3	35	30	13	10
2020-04-25	24	1101	1108	-23	-10	-7	-1	32	29	9	8
2020-05-02	27	388	372	-62	-33	-10	-6	65	43	11	7
2020-05-09	28	161	166	-9	-11	-1	0	22	26	3	3

Table 3: Mean absolute errors (MAE) and mean [absolute] percentage errors (M[A]PE) of MCIC and our forecasts *F*. (W) is as a percentage of the weekly total, (T) is relative to the cumulative total at the end of the week.

Figura 1: Fuente: Tomado de Castle, J.; Doornik, J.; Hendry, D. (2020)

Según los autores, las predicciones provenientes de los modelos epidemiológicos clásicos son útiles para describir el proceso completo de la pandemia, pero no son tanto para predecir los movimientos de corto plazo de los casos confirmados. Por tanto, el sistema de predicción de corto plazo propuesto por Castle, Doornik y Hendry debe considerarse como una herramienta complementaria de los modelos epidemiológicos convencionales.

Los autores comparan las predicciones provenientes de sus modelos con los que surgen de los modelos clásicos epidemiológicos. La Figura 2 permite visualizar con claridad las trayectorias predichas y los datos observados.

El desarrollo empírico propuesto por los autores aporta un argumento más para valorar las predicciones de corto plazo y jerarquiza el aporte de una respuesta metodológica que se apoya en modelos adaptativos y robustos.

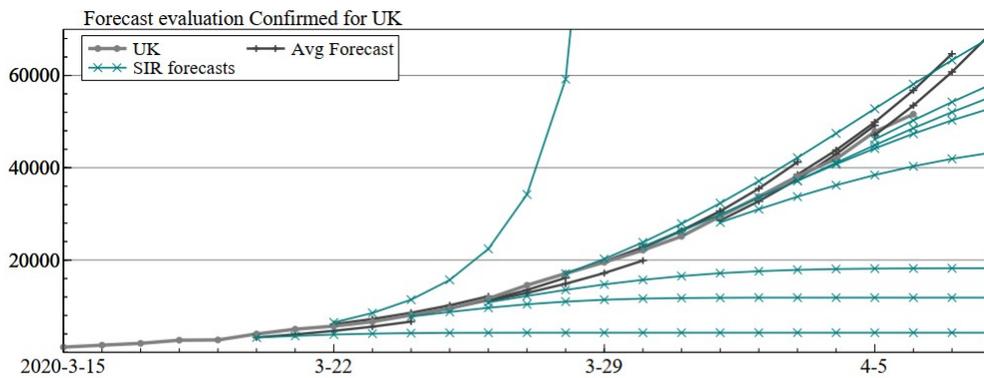


Figure 7: Forecasts of confirmed cases of COVID-19 for UK from 2020-03-20 to 2020-04-05. Average forecasts and SIR forecasts.

Figura 2: Fuente: Tomado de Castle,J.; Doornik,J; Hendry,D. (2020)

La pandemia ha puesto de relieve el aporte de los científicos de los diversos países, tanto en lo que refiere a su apoyo a las autoridades sanitarias y gubernamentales, como en el plano estrictamente académico. Desde diversas áreas, los científicos han realizado enormes contribuciones, cuyos resultados han dado lugar a nuevas aproximaciones metodológicas y a innovaciones de muy diversa naturaleza. En especial, los avances de los académicos que trabajan en econometría de series temporales deberían ser considerados como referencias fundamentales en la práctica predictiva en muchas disciplinas, en particular, en economía.

El uso de modelos adaptativos surge como una herramienta imprescindible para sortear el problemas complejos de no estacionariedad en media. Los resultados que surgen de la utilización de estos procedimientos en materia sanitaria deberían alentar a analistas e investigadores a utilizar este tipo de técnicas en sus labores predictivas.

Las contribuciones de Castle, Doornik y Hendry tienen un valor particular, por la transparencia en la evaluación de las predicciones y por la abundante documentación metodológica que han puesto a disposición de los interesados. Estas prácticas merecen ser replicadas, sobre todo si se pretende mejorar el desempeño predictivo de los modelos utilizados, aún en contextos tan desafiantes como los que implica la elaboración de proyecciones sobre contagios y fallecimientos por COVID-19.

Referencias bibliográficas

- Castle, J.; Doornik, J.; Hendry, D. (2020) Short-term forecasting of the Coronavirus Pandemic- 2020-05-14. Nuffield College. 2020 W06.
https://www.nuffield.ox.ac.uk/economics/Papers/2020/2020W06_COVID-19_shortterm_forecasts.pdf
- Castle, J.; Doornik, J.; Hendry, D. (2020) Short-term forecasting of the Coronavirus Pandemic. “[IJF special section: Epidemics and forecasting with focus on COVID-19”].
<https://forecasters.org/blog/2020/04/30/short-term-forecasting-of-the-coronavirus-pandemic/>
- Castle, J.; Hendry, D. (2019) Modelling our changing world. Palgrave Text in Econometrics. Palgrave Macmillian.
- Castle, J.; Doornik, J y Hendry, D. (2019) Some forecasting principles from the M4 competition. Nuffield College.2019 W01.
<https://www.nuffield.ox.ac.uk/economics/Papers/index.html>
- Castle, J.; Clements, M. y Hendry, D. (2014) Robust Approaches to Forecasting. University of Oxford. Department of Economics. Working Papers 697. January 2014.
<https://www.economics.ox.ac.uk/departement-of-economics-discussion-paper-series/robust-approaches-to-forecasting>
- Doornik, J.; Castle, J. y Hendry,D. (2020) Card forecasts for M4 International Journal of Forecasting 36.
- Doornik, J. (2009) Autometrics. The Methodology and Practice of Econometrics. Edited by Jenifer Castle y Neil Shepard. Oxford University Press.
- Hendry, D. F. (1999) An econometric analysis of US food expenditure, 1931–1989.
- Johansen, S. y Nielsen, B. (2009). An analysis of the indicator saturation estimator as a robust regression estimator. The Methodology and Practice of Econometrics. Edited by Jenifer Castle y Neil Shepard. Oxford University Press.
- Sanroman, G. (2020) Sobre los datos de la pandemia y su (no) utilidad.
<https://ladiaria.com.uy/articulo/2020/4/sobre-los-datos-de-la-pandemia-y-su-no-utilidad/>