

Modelos de series temporales adaptativos y robustos para
predecir contagios y muertes por COVID-19 ¹
Predicciones resultantes de los modelos de Castle, Doornik y Hendry

Silvia Rodríguez- Collazo

silvia@iesta.edu.uy

Seminario del Instituto de Estadística (SIESTA)
Departamento de Métodos Cuantitativos,
Facultad de Ciencias Económicas y Administración

14 de abril de 2021



FACULTAD DE
CIENCIAS ECONÓMICAS
Y DE ADMINISTRACIÓN

SIESTA

INSTITUTO
DE ESTADÍSTICA



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY

¹Agradezco los valiosos comentarios, sugerencias recibidas, así como los fructíferos y estimulantes intercambios realizados con Fernando Lorenzo, Bibiana Lanzilotta, Laura Nalbarte, Ramón Álvarez-Vaz y Enrique Tenca. Por supuesto los errores que persistan son de mi entera responsabilidad.

- 1 Motivación
- 2 Objetivos
- 3 Diferencia entre escenarios y predicciones
- 4 Errores de los pronósticos
- 5 Elementos del proceso de predicción
- 6 Actualización de las predicciones
- 7 Desempeño predictivo
- 8 Pronósticos más recientes
- 9 Comentarios finales

A partir de enero de 2021, cuando Uruguay alcanzó un cierto número de contagios y de muertes por COVID-19, Castle, Doornik y Hendry (CDH) integraron en su sistema de predicción a nuestro país. Por lo que a partir de ese momento publican en su página web predicciones a 7 días de plazo para Uruguay que se actualizan de manera sistemática.

En contraposición con la detallada documentación pública que han generado CDH, en Uruguay la documentación pública generada por el equipo de Modelos y Ciencia de Datos del GACH es muy escasa.

No es posible encontrar documentos **de acceso público** que den cuenta de las metodologías utilizadas ni tampoco se dispone de información pública sobre las proyecciones actualizadas, con excepción de dos informes que con diverso grado de exactitud incluyen algunos resultados.

En esta presentación aprovecharé a mostrar proyecciones realizadas por DCH hasta ayer martes 13 de abril.

Objetivos de la presentación

- Comprender los resultados que se obtienen a partir de dos tipos de metodologías, con énfasis en la predicción o proyección, para la modelización de algunas variables que informan sobre el desarrollo de la epidemia.
- Analizar como presentan, actualizan y comunican Jennifer Castle, Jurgen Doornik y David Hendry(CDH en adelante) su sistema de proyecciones. Estas proyecciones se realizan para un amplio conjunto de países y las variables son el número acumulado de contagios y de fallecimientos .
- Explicitar algunos principios que deben de cumplir los procedimientos de proyección y predicción para que sean informativos y útiles.
- Observar os resultados del proceso de actualización de las proyecciones.
- Presentar una evaluación de las predicciones del acumulado de contagios y el número de fallecimientos para Uruguay provenientes de los modelos creados por Castle, Doornik y Hendry (2020).
- Dar a conocer las predicciones más recientes de la evolución del acumulado de contagios y el número de fallecimientos para Uruguay provenientes de esos modelos.

Los modelos epidemiológicos, que vamos a llamarlos modelos de tipo matemático están basados en la forma como se transmite la enfermedad, apoyados en teorías probadas de la forma en que se propagan las enfermedades.

Se utiliza la matemáticas para tratar de explicar los procesos subyacentes de los brotes, en general adoptando una reducida cantidad de parámetros.

Las proyecciones se realizan en base a esos parámetros, calibrados a partir de la experiencia previa o de valores plausibles, extrapolando relaciones o parámetros.

Estos modelos pueden ser usados para construir y analizar escenarios. Mediante la generación de escenarios alternativos ante cambios en el parámetro/s de base se construyen los correspondientes resultados del modelo, **que constituyen resultados potenciales.**

A ese escenario construido a través del modelo, en ocasiones se le llama proyección.

Un escenario nos puede decir **lo que podría suceder, no lo que es probable que suceda.**

Dos aproximaciones metodológicas y la diferencia entre elaboración de escenarios y producir predicciones II

En un enfoque alternativo, basado en modelos estocásticos con fines de predicción.

En ellos no se pretende comprender la razón de los cambios en la evolución de la epidemia, sino que partiendo de los datos observados del pasado se intenta encontrar regularidades modelizables en esos datos, para predecir lo que ocurrirá en los próximos días.

Su objetivo primordial es obtener una buena predicción y no sólo un buen ajuste a los datos, por lo que en ocasiones no son modelos de tipo explicativo sino que están contruidos con un fin específico: predecir.

El pronóstico, surge de un modelo, un predictor y el resultado es una extrapolación estadística a un plazo determinado.

Estos modelos incorporan las variaciones aleatorias de la evolución de la enfermedad.

El pronóstico o predicción (*forecast*), será el **resultado esperado** de la variable en el futuro, valor esperado que resultará del modelo estimado.

Si el pronóstico es para una variable observada, como el número acumulado de contagios, es sencillo verificar si el pronóstico es compatible con los datos observados, pues la comparación entre valor esperado o pronóstico y valor observado surge de forma directa.

Pero si el pronóstico o la proyección se realiza sobre una variable no observada, verificar si el pronóstico fue compatible con los datos no es directo.

Por ejemplo si el modelo se apoya en el número estimado de personas que contagia cada infectado, el conocido número de reproducciones, R_t , que es estimado, no observado. Y a partir de un modelo para este parámetro se estima una trayectoria para la cantidad de contagios. Entonces la evaluación de la proyección, su comparación entre con los datos observados de contagios no es directa .

Un enfoque metodológico no es mejor que otro a priori, sino que ambos trabajan sobre la base de supuestos diferentes y los resultados de los modelos **son conceptualmente diferentes y tienen utilidades diferentes.**

Al elaborar un modelo con el objetivo de **proyectar** hacia adelante en el tiempo, sólo se puede obtener información sobre lo que ocurriría en el futuro **bajo el supuesto de que no se registran cambios** en los parámetros sobre los que se construye el modelo y bajo el supuesto que no se registrarán cambios en la evolución futura respecto a la estructura y distribución pasada en los datos.

Cuando esos cambios ocurren, ya sea por cambios en los parámetros base o en la dinámica de la enfermedad, las predicciones fallan y los escenarios contruidos o los pronósticos se distancian *demasiado* en la realidad.

Bajo esa situación el grado de adaptabilidad y flexibilidad del modelo permite o no corregir el rumbo con mayor o menor velocidad y así poder re estimar y proyectar nuevamente incluyendo esos cambios que se registraron.

La evolución de esta epidemia tiene mucho que ver con el comportamiento individual y **colectivo** de las personas, por lo que ya sea que se impongan políticas de restricción de movilidad, aforos, etc. por parte del gobierno o que las personas decidan y/o puedan atender las recomendaciones sobre distanciamiento y cuidado personal. Todos estos factores tienen la capacidad de modificar la dinámica de los contagios.

Los modelos que no tengan la flexibilidad necesaria, producirán por más tiempo proyecciones o pronósticos alejados de la realidad.

La teoría de la predicción constituye en sí misma un campo de estudio.

El error es inherente a la tarea de predicción, pero de su cuantificación y análisis se puede extraer información muy valiosa para el proceso de actualización de las predicciones.

Hay **elementos que debemos tener presentes a la hora de elaborar predicciones** o proyecciones. En Diebold, F. (2007) se advierte sobre un conjunto de aspectos a tener presente cuando se realizan predicciones:

- ¿Cómo cuantificamos lo que es un buen pronóstico?
- ¿Cómo se calculan los pronósticos óptimos?, ¿Cuál es el costo asociado a los errores de pronóstico?, ¿es igual si el signo del error es positivo o negativo?, ¿tiene igual costo equivocarse por encima que por debajo del valor observado?
- ¿Bajo que forma se realizan las predicciones?: como la mejor **conjetura**, como un **rango** razonable de posibles valores futuros que reflejan la incertidumbre asociada al pronóstico, como una **distribución de probabilidad** de los posibles valores futuros
- ¿Cuál es el horizonte de predicción?
- ¿Cuál es la información sobre la que se elaboran las predicciones?
- ¿Cuál es el método que se utiliza? ¿Es el más adecuado para el propósito trazado?

- ¿Qué es un buen pronóstico ? La respuesta está asociada a *cuán cerca* está el pronóstico de los datos finalmente observados y por tanto **qué métrica** se selecciona para cuantificar esa distancia.
- La definición de la función de pérdida del error de predicción está vinculada con el predictor que se utilizará para realizar la predicción y por tanto con la predicción que se obtiene (Esperanza condicional, mediana, etc).
- Pero si no se conoce la metodología, no se puede inferir sobre cuál es la mejor forma de evaluar esa predicción.
- La forma como se decide formular las predicciones determinará la comunicación que se realice de las mismas y también la posibilidad de que quienes usan esas predicciones para tomar decisiones, puedan comprender los resultados del trabajo de modelización y predicción y convertirlos en información útil.
- Es necesario dejar en claro el horizonte de predicción. No es lo mismo predecir a 7 días en adelante que a 30 días en adelante.
- Explicitar el método que se utiliza para elaborar las predicciones (proyecciones) y el fundamento de su elección contribuye a clarificar el entorno de la predicción.

Poder ubicar estos elementos en las metodologías nos ayudarán a evaluar el proceso y la calidad del trabajo realizado.

Con la actualización de las predicciones se incorporan las novedades que traen los nuevos datos y con ello se fortalece la capacidad de **interpretación temprana de los potenciales cambios de rumbo** en la evolución de la epidemia.

A través de los gráficos que vemos a continuación se representa el proceso de corrección y actualización de los pronósticos.

Esta representación toma la forma de un “cabello florecido”, donde cada florecimiento es la nueva predicción con datos hasta un cierto período y “cada nuevo florecimiento” muestra cómo se corrige la trayectoria esperada de la variable al incorporar los nuevos datos observados.

La corrección incorpora la nueva información que trae consigo cada dato observado al ser incorporado al modelo.

La información nueva desencadena esa corrección y con ello permite detectar tempranamente los cambios que se están procesando y que podrán consolidarse en el correr de los días.

Este sistema de predicción incorpora otras de las ventajas que trae la actualización cada pocos días. Se reducen los errores y se corrigen rápidamente las trayectorias pronosticadas. En momentos donde el cambio se está procesando, esto constituye una señal a atender e interpretar.

Proceso de actualización de las predicciones m1, del acumulado de casos positivos para Uruguay MARZO 2021

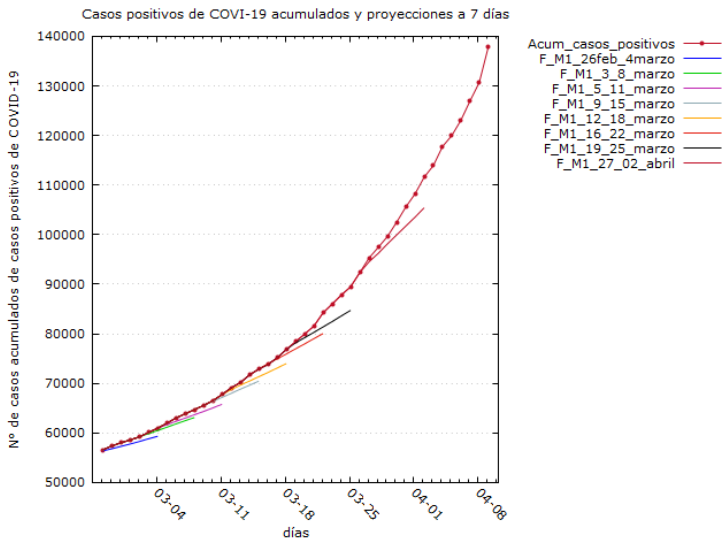


Figura: Fuente: SINAIE y www.doornik.com/COVID-19. Datos observados y Confirmed count forecast Latin America

Actualización de las predicciones M1 de fallecimientos acumulados para Uruguay - MARZO 2021

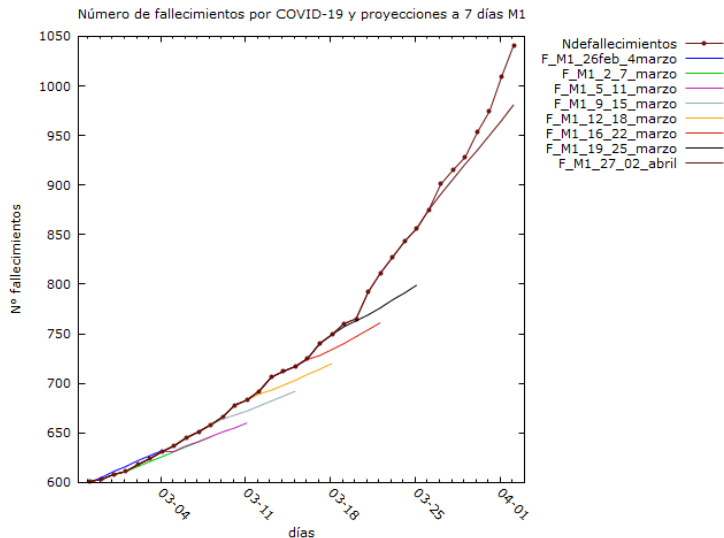


Figura: Fuente: SINAIE y www.doornik.com/COVID-19. Datos observados y Deaths count average forecast Latin America

Actualización de las predicciones M2 de fallecimientos acumulados para Uruguay

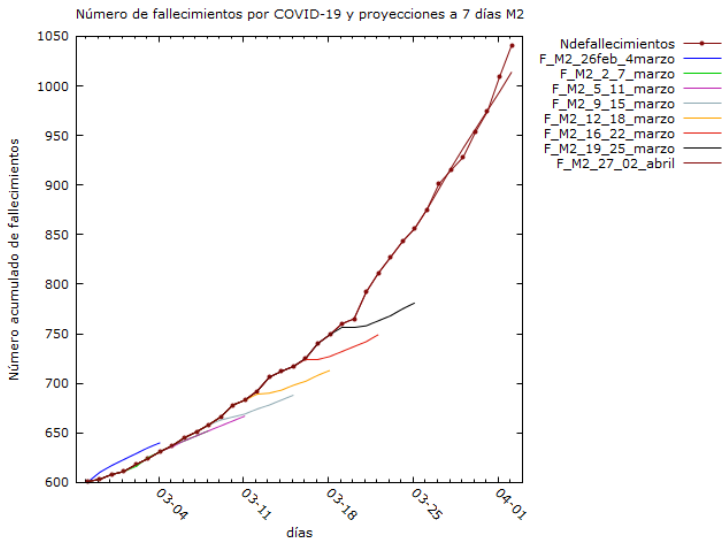


Figura: Fuente: SINAIE y www.doornik.com/COVID-19. Datos observados y Deaths count average forecast Latin America

Evaluación de las predicciones del M1 para Acumulado de casos positivos de COVID-19 para Uruguay

2021	Casos acumulados (obs)	26/02 al 04/03	Error relat (%)	02/03 al 06/03	Error relat (%)	05/03 al 11/03	Error relat (%)	09/03 al 15/03	Error relat (%)	12/03 al 18/03	Error relat (%)	16/03 al 22/03	Error relat (%)	19/03 al 25/03	Error relat (%)	27/03 al 02/04	Error relat (%)
26 febrero	56542	56360	-0.32														
27 febrero	57362	56800	-0.98														
28 febrero	57994	57270	-1.25														
1 marzo	58589	57750	-1.43														
2 marzo	59171	58260	-1.54	59200	0.05												
3 marzo	60074	58800	-2.12	59830	-0.41												
4 marzo	60945	59910	-2.68	60480	-0.76												
5 marzo	61929			61130	-1.29	61650	-0.45										
6 marzo	63010			61810	-1.90	62330	-1.08										
7 marzo	63837			62460	-2.16	62990	-1.33										
8 marzo	64700			63100	-2.47	63650	-1.62										
9 marzo	65527					64320	-1.84	65520	-0.01								
10 marzo	66484					65030	-2.19	66330	-0.23								
11 marzo	67717					66750	-2.90	67140	-0.85								
12 marzo	69074							67970	-1.60	68700	-0.54						
13 marzo	70133							68610	-1.89	69610	-0.79						
14 marzo	71691							69620	-2.89	70460	-1.72						
15 marzo	72862							70430	-3.34	71320	-2.12						
16 marzo	73770									72180	-2.16	73960	0.26				
17 marzo	75138									73070	-2.75	74910	-0.30				
18 marzo	76616									73980	-3.69	75910	-1.18				
19 marzo	78401											76940	-1.86	78160	-0.31		
20 marzo	79923											77960	-2.46	79200	-0.90		
21 marzo	81537											79000	-3.11	80280	-1.54		
22 marzo	84212											80030	-4.97	81370	-3.37		
23 marzo	86007													82450	-4.14		
24 marzo	87812													83590	-4.81		
25 marzo	89458													84720	-5.30		
26 marzo	92343																
27 marzo	95278															94500	-0.82
28 marzo	97406															96200	-1.24
29 marzo	99584															98100	-1.49
30 marzo	102461															99900	-2.50
31 marzo	105549															101700	-3.65

Figura: Fuente: Elaboración propia en base a datos del SINAIE y www.doornik.com/COVID-19

Evaluación de las predicciones del M1 para Acumulado de casos positivos de COVID-19 para Uruguay - ENERO 2021

Como sabemos, los errores se incrementan a medida que nos alejamos del último dato observado. Es por ello que es interesante separar los errores a diferentes pasos para evaluarlos.

Errores relativos de predicción Modelo 1 (%): Acum casos positivos							
Periodo	1 paso	2 pasos	3 pasos	4 pasos	5 pasos	6 pasos	7 pasos
08/01 a 14/01	0.7	0.6	-1.7	-2.0	-3.0	-2.8	
12/01 a 18/01	-0.6	-0.4	-3.1	-0.4	-4.0	-3.9	-3.1
14/01 a 20/01	-2.6	-3.3	-3.2	-2.8	-2.0	-1.5	-1.6
18/01 a 24/01	1.0	2.1	2.2	3.1	2.0	2.2	3.2
21/01 a 27/01	0.3	-0.9	-1.0	-0.7	0.2	0.6	1.3
26/01 a 01/02	-0.03	0.34	0.94	1.36	1.67	2.40	3.30

Figura: Fuente: Elaboración propia en base a datos del SINAIE y www.doornik.com/COVID-19.
Datos observados y Confirmed count forecast Latin America

Evaluación de las predicciones del M1 para Acumulado de casos positivos de COVID-19 para Uruguay - MARZO 2021

Período	Errores relativos de predicción Modelo 1 (%): Acum casos positivos						
	1 paso	2 pasos	3 pasos	4 pasos	5 pasos	6 pasos	7 pasos
26/02 al 04/03	-0.32	-0.98	-1.25	-1.43	-1.54	-2.12	-2.68
02/03 al 08/03	0.05	-0.41	-0.76	-1.29	-1.90	-2.16	-2.47
05/03 al 11/03	-0.45	-1.08	-1.33	-1.62	-1.84	-2.19	-2.90
09/03 al 15/03	-0.01	-0.23	-0.85	-1.60	-1.89	-2.89	-3.34
12/03 al 18/03	-0.54	-0.75	-1.72	-2.12	-2.16	-2.75	-3.69
16/03 al 22/03	0.26	-0.30	-1.18	-1.86	-2.46	-3.11	-4.97
19/03 al 25/03	-0.31	-0.90	-1.54	-3.37	-4.14	-4.81	-5.30
27/03 al 02/04	-0.82	-1.24	-1.49	-2.50	-3.65		

Figura: Fuente: Elaboración propia en base a datos del SINAIE y www.doornik.com/COVID-19.
Datos observados y Confirmed count forecast Latin America

Evaluación de las predicciones del M2 para Acumulado de casos positivos de COVID-19 para Uruguay - MARZO 2021

Período	Errores relativos de predicción Modelo 2 (%): Acum casos positivos						
	1 paso	2 pasos	3 pasos	4 pasos	5 pasos	6 pasos	7 pasos
26/02 al 04/03	-0.46	-1.66	-2.15	-2.42	-2.62	-3.24	-3.75
02/03 al 08/03	0.54	0.53	0.53	0.31	-0.06	-0.01	-0.03
05/03 al 11/03	-0.03	-0.32	-0.18	-0.17	-0.09	-0.22	-0.72
09/03 al 15/03	-0.01	-0.23	-0.85	-1.60	-1.89	-2.89	-3.34
12/03 al 18/03	-0.41	-0.35	-1.06	-1.28	-1.15	-1.63	-2.49
16/03 al 22/03	0.16	-0.61	-1.62	-2.45	-3.14	-3.88	-5.77
19/03 al 25/03	-0.24	-0.72	-1.20	-2.89	-3.47	-4.01	-4.33
27/03 al 31/03	2.55	1.81	1.84	1.72	1.01	0.14	

Figura: Fuente: Elaboración propia en base a datos del SINAIE y www.doornik.com/COVID-19.
Datos observados y Confirmed count forecast Latin America

Evaluación de las predicciones del M1 para Acumulado de fallecimientos por COVID-19 para Uruguay - ENERO 2021

Errores relativos de predicción Modelo 1 (%) : Número de fallecidos							
Periodo	1 paso	2 pasos	3 pasos	4 pasos	5 pasos	6 pasos	7 pasos
08/01 a 14/01	-0.4	0.0	0.4	1.5	2.2	3.6	5.4
12/01 a 18/01	0.7	1.4	0.3	0.7	-1.0	-0.9	
14/01 a 20/01	0.7	-0.7	-0.3	-2.3	-2.2	-3.3	-2.7
18/01 a 24/01	0.3	-0.9	-0.3	-1.4	-3.3	-1.6	-1.6
21/01 a 27/01	-1.2	-3.0	-1.6	-1.3	-3.1	-3.5	2.48
26/01 a 01/02	-0.25	0.49	0.72	0.71	1.16	2.29	1.68

Figura: Fuente: Elaboración propia en base a datos del SINAE y www.doornik.com/COVID-19.
Datos observados y Deaths count average forecast Latin America

Número de fallecidos al 1 de enero de 2021: 193

Número de fallecidos al 31 de enero de 2021:436

Evaluación de las predicciones del M1 para Acumulado de fallecimientos por COVID-19 para Uruguay - MARZO 2021

Período	Errores relativos de predicción Modelo 1 (%): Acum Fallecimientos						
	1 paso	2 pasos	3 pasos	4 pasos	5 pasos	6 pasos	7 pasos
26/02 al 04/03	-0.17	0.33	0.49	0.82	0.81	0.48	0.16
02/03 al 08/03	-0.16	-0.48	-0.79	-0.94	-1.40	-1.54	-1.82
05/03 al 11/03	0.00	-0.62	-0.77	-1.06	-1.65	-2.65	-2.64
09/03 al 15/03	-0.30	-1.47	-1.61	-1.74	-2.29	-3.51	-3.49
12/03 al 18/03	0.00	-0.72	-1.97	-1.95	-2.21	-3.51	-3.87
16/03 al 22/03	-0.14	-1.62	-2.00	-2.63	-3.74	-4.80	-6.17
19/03 al 25/03	-0.39	-1.68	-2.90	-4.32	-5.20	-6.17	-6.66
27/03 al 31/03	-1.11	-0.98	-0.75	-1.89	-2.46		

Figura: Fuente: Elaboración propia en base a datos del SINAIE y www.doornik.com/COVID-19.
Datos observados y Deaths count average forecast Latin America

Número de fallecidos al 1 de marzo de 2021: 611

Número de fallecidos al 9 de marzo de 2021: 666

Número de fallecidos al 19 de marzo de 2021: 760

Número de fallecidos al 25 de marzo de 2021: 856

Evaluación de las predicciones del M2 para Acumulado de fallecimientos por COVID-19 para Uruguay - MARZO 2021

Período	Errores relativos de predicción Modelo 2 (%): Acum Fallecimientos						
	1 paso	2 pasos	3 pasos	4 pasos	5 pasos	6 pasos	7 pasos
26/02 al 04/03	-0.17	1.16	1.48	1.96	1.94	1.76	1.43
02/03 al 08/03	-0.16	0.16	0.00	0.00	-0.47	-0.61	-0.91
05/03 al 11/03	-0.16	-0.47	-0.61	-0.91	-1.35	-2.36	-2.34
09/03 al 15/03	-0.45	-1.77	-2.05	-2.18	-2.87	-4.07	-4.04
12/03 al 18/03	0.00	-1.15	-2.67	-2.65	-3.17	-4.32	-4.81
16/03 al 22/03	-0.14	-2.16	-2.94	-3.68	-5.03	-6.31	-7.64
19/03 al 25/03	-0.39	-2.45	-4.29	-5.92	-7.13	-8.07	-8.76
27/03 al 31/03	-0.55	0.22	0.97	0.31	0.10		

Figura: Fuente: Elaboración propia en base a datos del SINAIE y www.doornik.com/COVID-19.
Datos observados y Deaths count average forecast Latin America

Pronósticos más recientes sobre acumulado de casos positivos de COVID-19

Fecha	Pronóstico del acumulado de casos positivos M1		Diferencia acum M1	Pronóstico del acumulado de casos positivos M2		Diferencia acum M2
	Pronóstico del acumulado de casos positivos M1	Diferencia acum M1		Pronóstico del acumulado de casos positivos M2	Diferencia acum M2	
4/10/2021	142500			141300		
4/11/2021	146200	3700		145300	4000	
4/12/2021	149800	3600		149400	4100	
4/13/2021	153500	3700		153400	4000	
4/14/2021	157400	3900		157500	4100	
4/15/2021	161200	3800		161700	4200	
4/16/2021	165200	4000		166000	4300	

Figura: Fuente: Elaboración propia en base a datos del SINAIE y www.doornik.com/COVID-19

Pronósticos más recientes sobre acumulado de fallecimientos por COVID-19

Fecha	Pronóstico del acumulado de fallecimientos M1	Diferencia acum M1	Pronóstico del acumulado de fallecimientos M2	Diferencia acum M2
4/10/2021	1415		1420	
4/11/2021	1453	38	1467	47
4/12/2021	1493	40	1519	52
4/13/2021	1536	43	1572	53
4/14/2021	1579	43	1628	56
4/15/2021	1624	45	1686	58
4/16/2021	1673	49	1746	60

Figura: Fuente: Elaboración propia en base a datos del SINAIE y www.doornik.com/COVID-19

- Los equipos internacionales encargados de hacer seguimiento de la epidemia a través de los datos y de la construcción de modelos, han desarrollado múltiples estrategias cuyos resultados aportan información diferente, con grados de precisión y de error diferentes.
- De las dos aproximaciones que se mencionan en esta nota, un tipo de estrategia de modelización genera información que fundamentalmente permite construir escenarios futuros posibles bajo ciertos supuestos y otros producen un conjunto de valores esperados sobre la trayectoria futura, también apoyados en supuestos, pero otros supuestos.
- Los modelos CDH vienen brindando predicciones en tiempo real desde mediados de marzo de 2020 para un conjunto de países, en particular para Uruguay desde enero de 2021.
- CDH han evaluado sus niveles de error y se han comparado, para el caso de Inglaterra, con los modelos epidemiológicos y han detectado menores errores de predicción en el corto plazo que los resultantes de los modelos epidemiológicos, pero en el mediano plazo las conclusiones se revierten, por lo que concluyen que ambas estrategias son útiles y complementarias.

- En Uruguay no es posible hacer este tipo de comparaciones. La información pública disponible, resultante de la modelización realizada por el equipo del GACH encargado de estos temas es muy escasa, se brinda esporádicamente y en ninguna oportunidad se cuenta con una tabla con las proyecciones a un horizonte de tiempo claramente definido y tampoco se actualiza la información, con lo cual es imposible sistematizar los resultados y hacer un seguimiento y análisis de los mismos.
- A partir de enero Uruguay se integra a la base de datos donde se reportan las predicciones para los siguientes 7 días que producen los modelos CDH. Estas predicciones son públicas y se publican en la web indicada en esta nota. Estos pronósticos se revisan con una periodicidad aproximada de 4 días.
- Aspectos relevantes como la explicitación de la metodología utilizada, de la variable que se modeliza y predice, del horizonte de predicción, la periodicidad de la actualización y por supuesto la información sobre las predicciones pone a esta forma de proceder como un ejemplo a seguir y desnuda carencias en la forma como se procede en Uruguay.

- 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.; Doornik,J; Hendry,D. (2020) "Medium-term Forecasting of the Coronavirus Pandemic".
https://www.doornik.com/COVID-19/doc/COVID-19_mediumterm_forecasts.pdf
- Castle,J.; Hendry,D. (2019) " Modelling our Changing World". Palgrave Text in Econometrics. Palgrave Macmillian.
- Diebold,F. (2007) "Elements of Forecasting". Fourth Edition. Thomson South-West.

- Doornik JA, Castle JL, Hendry DF (2020) "Statistical Short-term Forecasting of the COVID-19 Pandemic". J Clin Immunol Immunother 6: 046.
- Castle,J.; Doornik,J; Hendry,D. (2019) "Some forecasting principles from the M4 competition". Nuffield College.2019 W01.
<https://www.nuffield.ox.ac.uk/economics/Papers/index.html#2019>
- Castle,J.;Clements, M.; 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.; 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.

- GACH-Área Modelos y Ciencia de Datos. “Análisis de la situación de la epidemia en Uruguay. Informe del 12 de diciembre de 2020”.
https://medios.presidencia.gub.uy/11p_portal/2020/GACH/INFORMES/expertos-modelos-ciencia-datos-estado-situacion.pdf
- GACH-Área Modelos y Ciencia de Datos. “Análisis de situación de la epidemia en Uruguay al 18 de enero”.
https://medios.presidencia.gub.uy/11p_portal/2021/GACH/INFORMES/analisis_situacion_final_18_01_21.pdf
- Johansen, S. and B. Nielsen (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.
- Rodríguez Collazo,S.(2020) . “Modelos de series temporales adaptativos y robustos para predecir contagios y muertes por COVID-19: la respuesta de Castle, Doornik y Hendry”. Notas de reflexión. Instituto de Estadística de la Facultad de Ciencias Económicas y Administración. Junio 2020. <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/handle/20.500.12008/25413>