

## Análisis de predicciones del Covid-19 en los Países de la Alianza del Pacífico

Julio Cesar Riascos<sup>1</sup>  
Brigitt González Muñoz<sup>2</sup>

### RESUMEN

El nuevo SARS-CoV-2 o Covid-19, transformó la dinámica del mundo en el 2020, causando una crisis económica, política y sanitaria. Más de 830 mil personas han perdido la vida por la expansión letal del virus y, en América Latina, las proyecciones diarias tienen una tendencia creciente. La expansión de la pandemia ha dado gran relevancia a la capacidad de análisis de escenarios y previsiones que, apoyadas en datos científicos, puedan proporcionar elementos de juicio necesarios para la toma de decisiones, así como la implementación de medidas de control durante el desarrollo de la pandemia y su progresividad de cara al futuro. En este estudio se presentan modelos epidemiológicos, econométricos y estadísticos aplicados a los países de la Alianza del Pacífico (Chile, Colombia, México y Perú), utilizando registros oficiales de casos diagnosticados y muertes por Covid-19 de la Organización Mundial de la Salud (OMS) del periodo comprendido entre el 22 de enero hasta el 15 de agosto de 2020, con el objetivo de analizar la evolución y escenarios de predicción dentro y fuera de muestra. Asimismo, se realizan observaciones de la velocidad de propagación del Covid-19 y de la tasa de estimación y durabilidad del mismo, basados en funciones tipo Gompertz y Arima, teniendo en cuenta las medidas de prevención de la propagación y contagio del virus y distanciamiento social adoptadas por estos países.

**Palabras clave:** Alianza del Pacífico; Covid-19; Contagios y decesos, Funciones tipo Arima; Modelo tipo Gompertz.

---

<sup>1</sup> Universidad de Nariño (Colombia). Correo: [jriascos2009@gmail.com](mailto:jriascos2009@gmail.com) ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7156-7993>

<sup>2</sup> Universidad de Nariño (Colombia). Correo: [ibrgittgonzalez@gmail.com](mailto:ibrgittgonzalez@gmail.com) ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6457-8678>

## ABSTRACT

The new SARS-CoV-2 or Covid-19, transformed the dynamics of the world in 2020, causing an economic, political and health crisis. More than 830 thousand people have lost their lives due to the lethal spread of the virus, and in Latin America, daily projections have an increasing trend. The expansion of the pandemic has given great importance to the ability of analysis of scenarios and forecasts, supported by scientific data can provide evidence needed for decision making, as well as the implementation of control measures during the development of the pandemic and its progressiveness of the future. This study presents epidemiological, econometric and statistical models applied to the countries of the Pacific Alliance: Chile, Colombia, Mexico and Peru, using official records of cases diagnosed and deaths by Covid-19 of the World Health Organization (WHO) from January 22 to August 15, 2020, with the aim of analyzing the evolution and prediction scenarios inside and outside the sample. Likewise, observations are made of the speed of spread of Covid-19 and the rate of estimation and durability of it, based on Gompertz and Arima-type functions, taking into account the measures of prevention of the spread and contagion of the virus and social distancing adopted by these countries.

**Keywords:** Pacific Alliance; Covid-19; Contagions and Deaths; Arima - type functions; Gompertz - type model.

## 1. Introducción

Al 15 de agosto de 2020 el número de casos positivos de Covid-19 registrados a escala global reportaron 21.459.699 personas, mientras que la estadística de decesos asociados fue de 765.718 individuos. Como resultado de lo anterior, la tasa de letalidad por Covid-19 se estimó en 3,65%. Para los países de la Alianza del Pacífico esa misma tasa se ubicó en el 5,74% y las cifras individuales arrojaron un indicador correspondiente al 10,92% para México, 5,01% para Perú, 3,24% para Colombia y 2,71% para Chile (OMS, 2020).

En este documento, se propone un estudio sobre la dinámica del Covid-19 para los países que hacen parte de la Alianza del Pacífico, a través de los registros históricos reportados por la Organización Mundial de la Salud en el periodo comprendido entre enero 22 y 15 de agosto de 2020.

El objetivo central del documento estriba en el análisis de predicciones para la determinación del Covid-19 utilizando como herramientas las funciones tipo Gompertz y los modelos Arima. Con ese propósito, el estudio se divide en cinco partes incluida esta breve presentación. En la segunda sección se expone un marco teórico donde se señalan los aspectos técnicos de las funciones tipo Gompertz y los modelos Arima de una forma introductoria. La tercera unidad exhibe de manera sucinta la metodología de trabajo. La cuarta parte aborda el análisis de los resultados y finalmente, la última sección se encarga de abordar algunas conclusiones y recomendaciones.

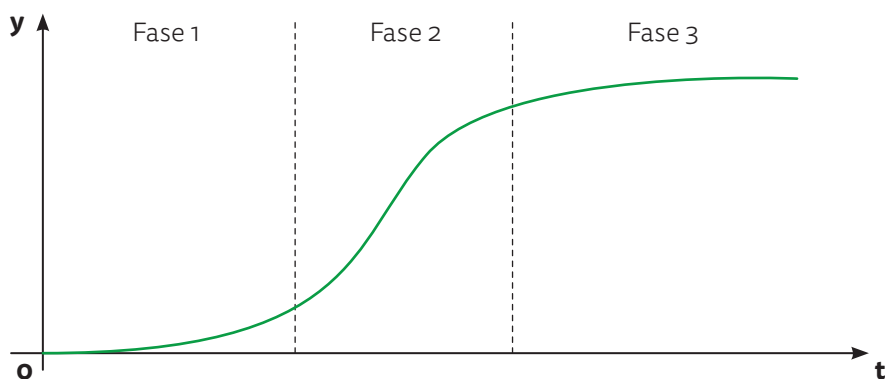
## 2. Marco teórico

### El modelo tipo Gompertz

Benjamín Gompertz (1825) propuso un modelo matemático que permite evidenciar la dinámica de un fenómeno de naturaleza temporal caracterizado por una tasa de lento crecimiento en su fase temprana (fase 1), y que posteriormente adquiere mayor velocidad implicando la existencia de un máximo (fase 2) que, al final, describe una etapa de estabilización a lo largo del periodo de estudio (fase 3). El modelo gráfico se expresa en la figura 1.

**Figura 1.**

Fases factibles en la función Gompertz. Fuente: Gompertz (1825).



Un modelo tipo Gompertz simple se describe en la ecuación 1:

$$Y_t = ae^{-e^{b(t-c)}}$$

En una función de este tipo, el parámetro  $a$  se asocia al número de casos proyectados al final de la pandemia. La primera derivada de esta función con respecto al tiempo  $t$ , permite obtener la curva de casos diarios  $y$ , mediante ella es posible determinar las estimaciones que corresponden a proyecciones futuras. El punto en que se maximiza esta función constituye el nivel más elevado de la pandemia.

$$y(t) = \frac{\partial Y}{\partial t} = abe^{b(t-c)}e^{-e^{b(t-c)}}$$

Otra forma de plantear el modelo es:

$$Y_t = a^{-b^r t}$$

En este caso  $b$  constituye una constante de desplazamiento horizontal, cuya utilidad reside en establecer el tiempo estimado que tarda la curva en alcanzar la estabilización. De otra parte, “ $r$ ” se define como una tasa de crecimiento exponencial estimada que posibilita determinar una proxy de las tasas de contagio.

### 3. Los Modelos Arima

Las funciones Arima (Gujarati & Porter, 2010) hacen parte de la metodología descrita por Box Jenkins, bajo la cual se propone un modelo general, se estiman los coeficientes tentativos, se efectúa un testeo de diagnósticos bajo pruebas de hipótesis y finalmente, se utiliza el modelo resultante para efectuar predicción. Un modelo autorregresivo simple se caracteriza por expresar el comportamiento de una variable dependiente  $Y_t$  como el producto de una versión retardada de sí misma durante un periodo de tiempo  $(t-1)$  de forma que funge las veces de una variable independiente. La relación se expresa en la ecuación 4.

$$Y_t = \Phi_0 + \Phi_1 Y_{t-1} + \varepsilon_t$$

Donde:

$Y_t$  = Variable dependiente

$Y_{t-1}$  = Variable independiente

$\Phi_0, \Phi_1$  = Coeficiente autónomo y parámetro de impacto correspondientemente.

$\varepsilon_t$  = Término de error

En su forma general, el modelo contempla la existencia de rezagos distribuidos de la variable dependiente asumiendo el rol de factores independientes. Lo anterior se ilustra en la ecuación 5.

$$Y_t = \Phi_0 + \Phi_1 Y_{t-1} + \Phi_2 Y_{t-2} + \dots + \Phi_p Y_{t-p} + \varepsilon_t$$

De otra parte, los modelos de promedios móviles constituyen estructuras bajo las cuales, a partir del comportamiento de la variable dependiente  $Y_t$ , actúan como el resultado de los errores de un modelo base que se retardan para dar una secuencia al proceso generador de datos. El arquetipo de un modelo de media móvil simple es el siguiente:

$$Y_t = \theta_0 + \theta_1 \varepsilon_{t-1} + v_t$$

Donde:

$Y_t$  = Variable dependiente

$\varepsilon_{t-1}$  = Variable independiente

$\theta_0, \theta_1$  = Coeficiente autónomo y parámetro de impacto correspondientemente.

$v_t$  = Término de error

En su versión general, el modelo contempla la existencia de rezagos distribuidos del término de error efectuando el papel de variables exógenas. Esta idea se representa en la ecuación 7.

$$Y_t = \theta_0 + \theta_1 \varepsilon_{t-1} + \theta_2 \varepsilon_{t-2} + \dots + \theta_q \varepsilon_{t-q} + v_t$$

Un modelo Arima (1, 0, 1) o Arma (1, 1) se obtiene de una combinación de secuencias autorregresivas y de medias móviles, por ejemplo un AR (1) de la ecuación 4 con un MA (1) de la ecuación 6:

$$Y_t = \Phi_0 + \Phi_1 Y_{t-1} + \theta_1 \varepsilon_{t-1} + v_t$$

Un modelo más general se expresaría de la siguiente forma:

$$Y_t = \Phi_0 + \Phi_1 Y_{t-1} + \Phi_2 Y_{t-2} + \dots + \Phi_p Y_{t-p} + \theta_1 \varepsilon_{t-1} + \theta_2 \varepsilon_{t-2} + \dots + \theta_q \varepsilon_{t-q} + v_t$$

Esta última ecuación se denomina modelo Arma (p, q) o Arima (p, 0, q). Donde p y q simbolizan los esquemas autorregresivos y de media móvil correspondientemente.

Finalmente, si se examina el problema de la raíz unitaria y se decide aplicar un nivel introductorio de primeras diferencias sobre la serie original, se obtiene un modelo Arima (1,1,1) dado que el orden de integración I es de primer nivel.

$$Y_t - Y_{t-1} = \Phi_0 + \Phi_1 Y_{t-1} + \theta_1 \varepsilon_{t-1} + v_t$$

Una forma más general sería la siguiente:

$$Y_t - Y_{t-1} = \Phi_0 + \Phi_1 Y_{t-1} + \Phi_2 Y_{t-2} + \dots + \Phi_p Y_{t-p} + \theta_1 \varepsilon_{t-1} + \theta_2 \varepsilon_{t-2} + \dots + \theta_q \varepsilon_{t-q} + v_t$$

El anterior modelo se conoce como un Arima (p, i, q).

## 4. Metodología

El método de trabajo consistió en elaborar dos tipos de bases de datos para los países que integran la Alianza del Pacífico. La primera muestra contiene información correspondiente a los casos reportados de Covid-19 y las muertes asociadas al mismo en el periodo comprendido entre el 22 de enero hasta el 15 de agosto de 2020, implicando un tamaño total de 207 observaciones diarias. La segunda muestra fue estructurada a partir de la primera omitiendo las últimas 15 observaciones, generando como resultado una submuestra de 176 días comprendidos entre enero 22 y julio 15 de 2020. El propósito de la submuestra residió en la identificación de un proceso generador de datos estadísticos que permitiera efectuar, en primera instancia, buenas predicciones dentro de muestra, para que posteriormente pudiese ser utilizado en el pronóstico de las 31 observaciones eliminadas en el primer conjunto de cifras y posibilitara, de esa forma, evaluar las proyecciones fuera de muestra con los datos reales. La información fue obtenida directamente de los registros oficiales de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y, posteriormente, se organizaron en dos programas:

Gretl, que fue utilizado para el desarrollo de la modelación econométrica basada en esquemas tipo Arima, y Stata, para la construcción de funciones tipo Gompertz.

El análisis implicó además el enfrentamiento de dos tipos de modelos. Por un lado, las funciones Arima que siguen la metodología convencional propuesta por Box Jenkins, estructurada para las unidades de análisis y sus cambios en el tiempo, incluyendo los escenarios de pronóstico dentro y fuera de muestra y, en segundo término, el examen correspondiente de las funciones Gompertz.

La programación de las funciones tipo Gompertz es por defecto no lineal, pues se trata de un modelo exponencial al que se le asignan valores iniciales en los parámetros  $a$ ,  $b$  y  $r$ , y después de procesos de iteración, se determinan los mejores valores que ofrecen el mejor ajuste a los datos, y por consiguiente, son susceptibles de predicción.

El proceso generador de datos para casos y decesos se programó de la siguiente manera:

$$nl(Y_t = \{a = \alpha\} * \exp(\{b = \beta\} * \exp(\{r = \gamma\} * t)))$$

Donde NL es el comando de programación no lineal,  $Y_t$  constituye los casos o decesos por país,  $\alpha$ ,  $\beta$ , y  $\gamma$  son parámetros fijos cuyos valores tentativos se ajustan por iteración. Con especial cuidado de  $\beta$ , y  $\gamma$  que constituyen, por definición, valores negativos, y  $t$  que es una variable de tendencia temporal. Los resultados de las estimaciones se presentan en los cuadros 4, 5, 6 y 7. Los dos primeros para muestras acotadas o restringidas y los dos últimos para muestras totales o irrestrictas.

## 5. Resultados

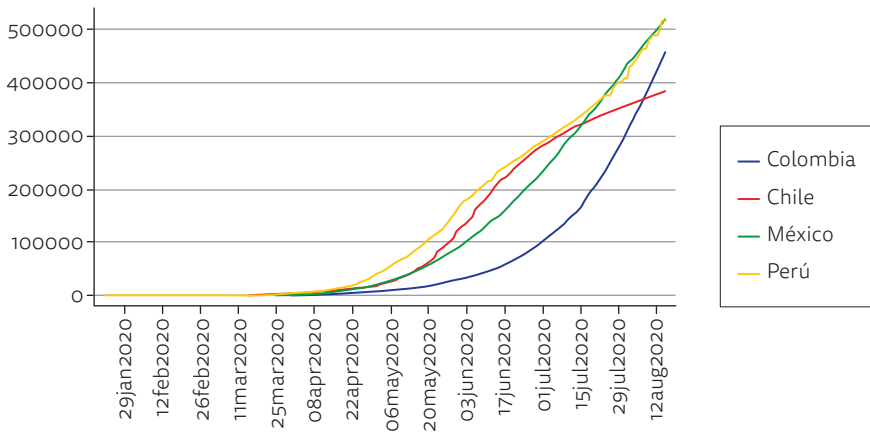
Los países que integran la Alianza del Pacífico subyacen dentro de las 20 naciones con más contagios de Covid-19 a escala global. En la figura 2 se exhibe cómo el virus asciende de forma multiplicativa, por lo que su evolución se encuentra lejos de estabilización próxima. El número de infectados sobrepasa el umbral de los 300 mil contagios, principalmente en Colombia, México y Perú. El caso chileno, a pesar de situarse en el puesto número 18 del mundo, a finales de mayo según la Universidad de Johns Hopkins, evidencia una dinámica más cercana al aplanamiento de la curva.

### Casos reportados para los Países de la Alianza del Pacífico

A continuación, se presenta la información correspondiente a los casos reportados de Covid-19 y las muertes asociadas al mismo en el periodo comprendido entre el 22 de enero y el 15 de agosto de 2020, implicando un tamaño total de 207 observaciones diarias.

**Figura 2.**

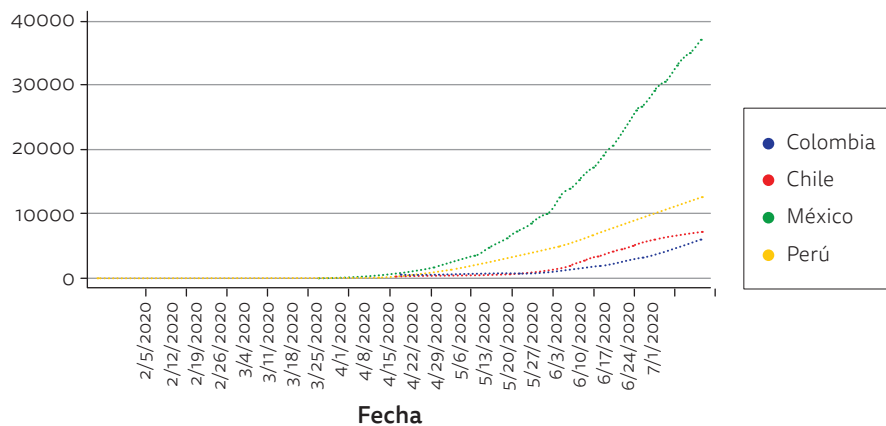
Países de la Alianza del Pacífico: Casos de Covid reportados por la OMS.



Fuente: Elaborada por los autores con base de datos OMS (2020).

**Figura 3.**

Países de la Alianza del Pacífico: decesos por Covid-19 reportados por la OMS.



Fuente: Elaborada por los autores con base de datos OMS (2020).



Las cifras de letalidad del virus tienden a ascender conforme avanza el tiempo, con la característica tácita de que las muertes se replican unas semanas después de los contagios<sup>1</sup>. Para mayo, Chile ocupaba el lugar número 35 a nivel mundial después de Brasil, México, Perú y Colombia, según la Universidad de Johns Hopkins las estimaciones de mediados de año continúan con la alta mortalidad.

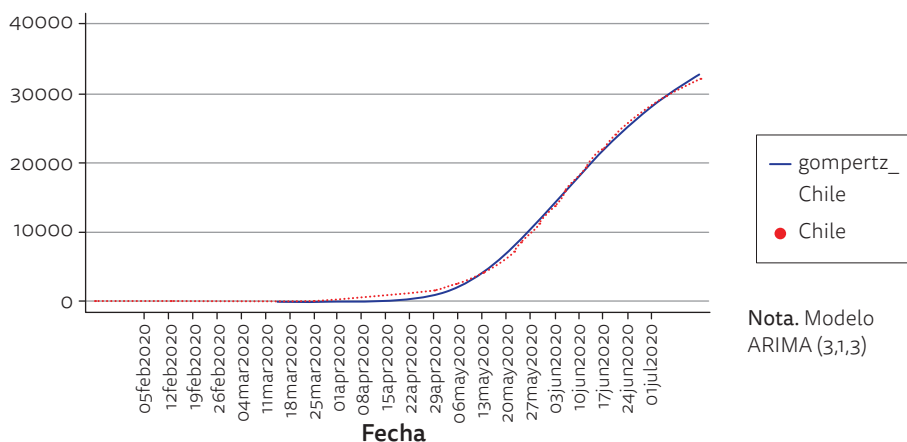
Desde el examen estadístico, tanto los modelos Gompertz como las funciones Arima poseen coeficientes, valores de probabilidad significativos y capacidad explicativa y predictiva adecuadas, siendo en consecuencia prácticos para la predicción de casos, como para la predicción de decesos. (Anexos: Cuadros 4, 5, 6 y 7).

En adelante, se exhiben los gráficos que ilustran el resultado de las estimaciones efectuadas por número de casos y decesos en relación con la presencia de Covid-19 detectados diariamente en los países de la Alianza del Pacífico (Chile, Colombia, México y Perú), a partir de una submuestra compuesta inicialmente de 176 días comprendidos entre el 22 enero y el 15 de agosto de 2020.

### Análisis de casos en los países de la Alianza del Pacífico

**Figura 4.**

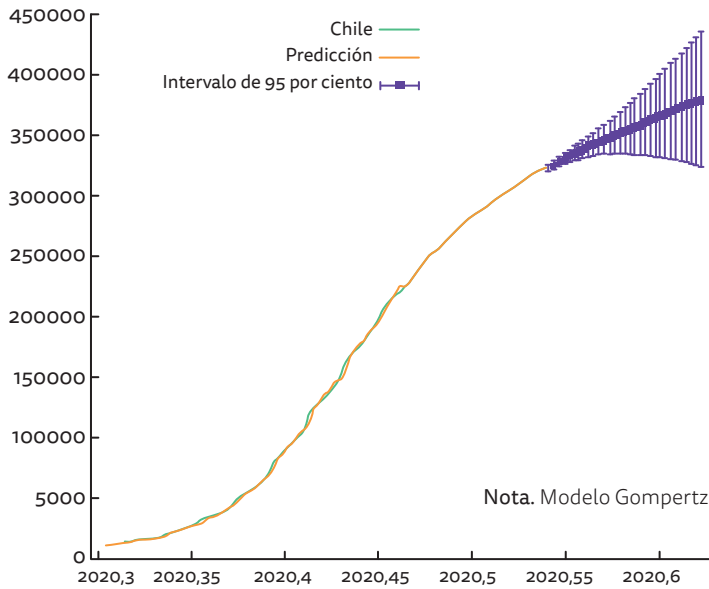
Estimaciones de número de casos de Covid-19 detectados diariamente en Chile.



Nota. Modelo ARIMA (3,1,3)

Fuente: Elaborada por los autores con base en datos OMS (2020).

<sup>1</sup> Las cifras de letalidad son altas al comienzo porque hay pocos casos y de ellos la mayoría fallece. Conforme pasa el tiempo, los casos diagnosticados aumentan exponencialmente y las muertes no aumentan en la misma proporción. De esta forma, la letalidad va disminuyendo en el tiempo hasta estabilizarse.

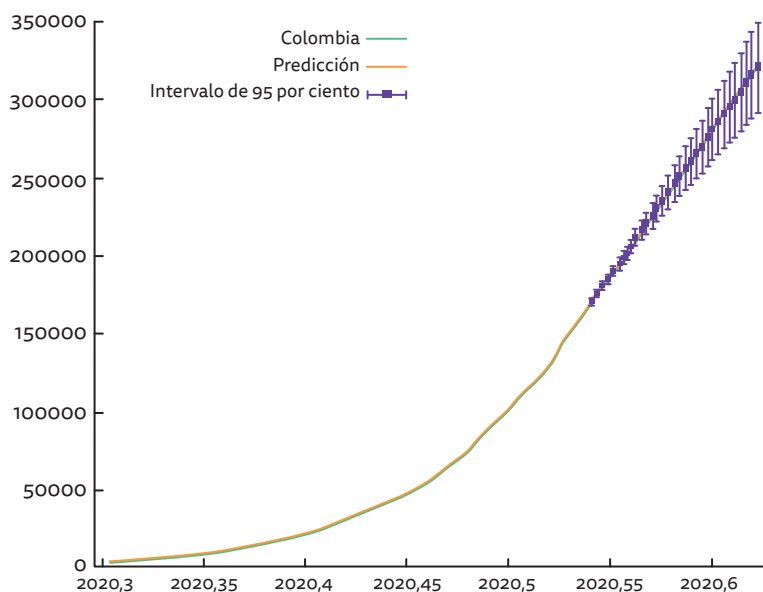
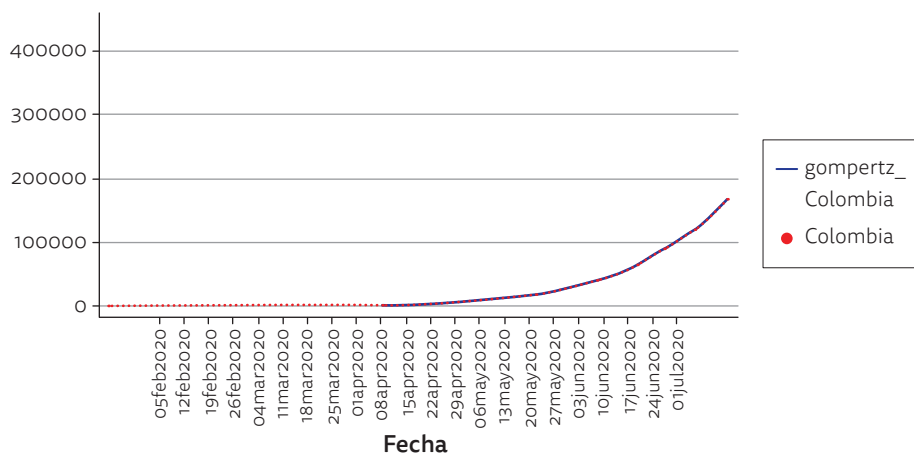


Fuente: Elaborada por los autores con base en datos OMS (2020).

El número de casos diarios presenta un fuerte crecimiento exponencial a partir del 20 de marzo, cuatro semanas después de la declaración de primer contagio. En el mes de agosto continúa aumentando el número de infectados llegando a 383.902 infectados. En un escenario optimista se estima que iniciaría el descenso de contagios ocurridos a mediados de agosto con 324.379,22 contagios, según los resultados propuestos por el modelo Arima. Las predicciones en ambos modelos presentan una disminución de la velocidad de contagios, indicando una cercana fase de estabilización y aplanamiento de curva.

**Figura 5.**

Estimaciones de número de casos de Covid-19 detectados diariamente en Colombia.



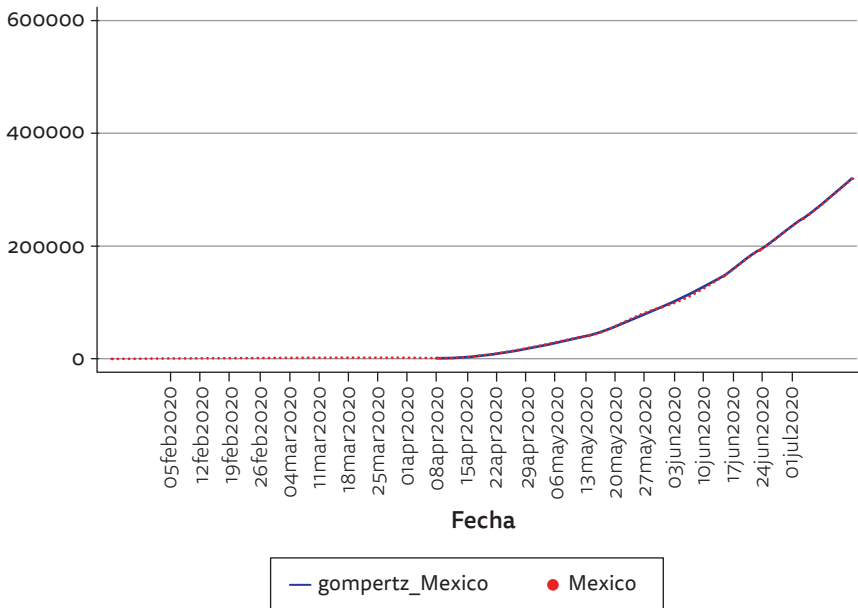
Fuente: Elaborada por los autores con base en datos OMS (2020).

**Nota.** Arriba modelo Arima (3,1,3), abajo modelo Gompertz.

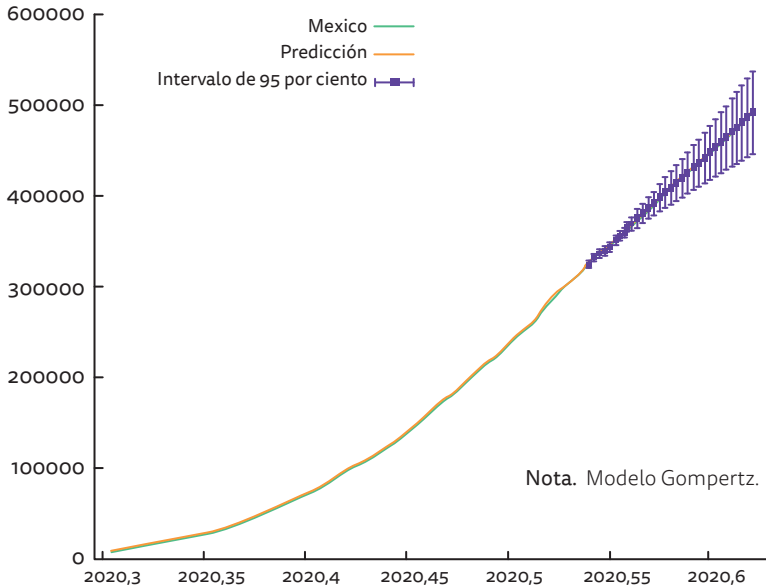
Los resultados evidencian un crecimiento acelerado de la epidemia, especialmente a partir de la primera semana de junio, eso sugiere que las medidas de prevención frente a la propagación y contagio del Covid-19 suscitadas en Colombia fueron rezagadas. De acuerdo con los resultados, si se mantiene constante el número de contagios diarios, las predicciones sugieren en ambos modelos que se superarán los 350.000 infectados a mediados de agosto.

**Figura 6.**

Estimaciones de número de casos de Covid-19 detectados diariamente en México.



Nota. Modelo Arima (3,1,2)

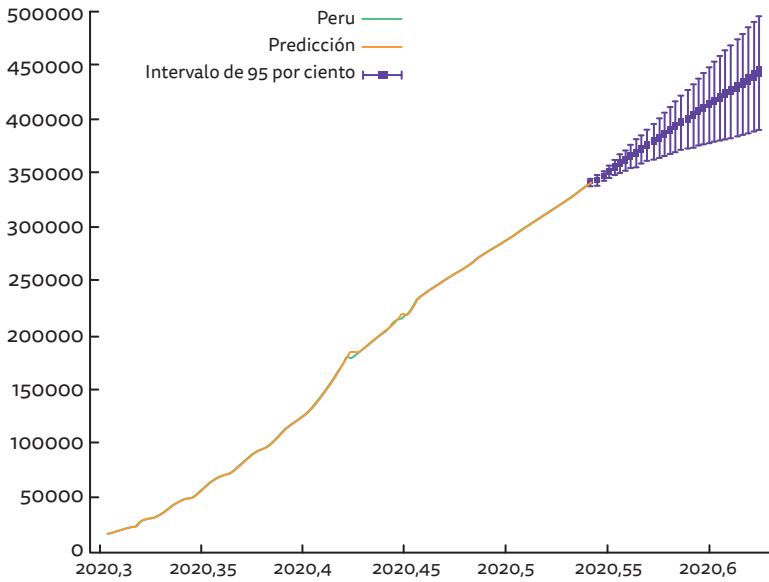
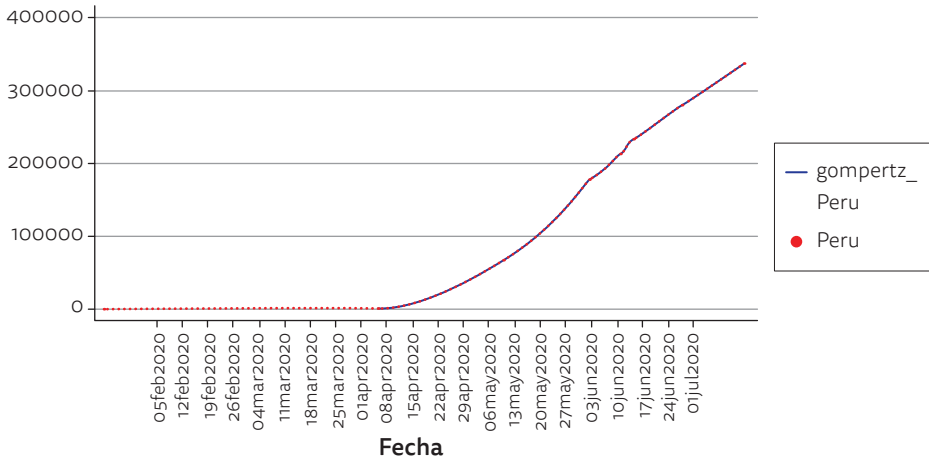


Fuente: Elaborada por los autores con base en datos OMS (2020).

En México es posible advertir que desde la mitad de mayo se ha generado un estallido del proceso epidemiológico con respecto al Covid-19, el número de casos prácticamente se sextuplica comparado con el mes inmediatamente anterior, pasando de 8.772 (20 de abril) a 56.594 infectados (20 de mayo). En este escenario, los valores pronosticados para el mes de agosto son muy elevados con registros potenciales que alcanzan el número de 500.000 contagios.

**Figura 7.**

Estimaciones de número de casos de Covid-19 detectados diariamente en Perú.



Nota. Arriba modelo ARIMA (1,1,1), abajo modelo Gompertz.

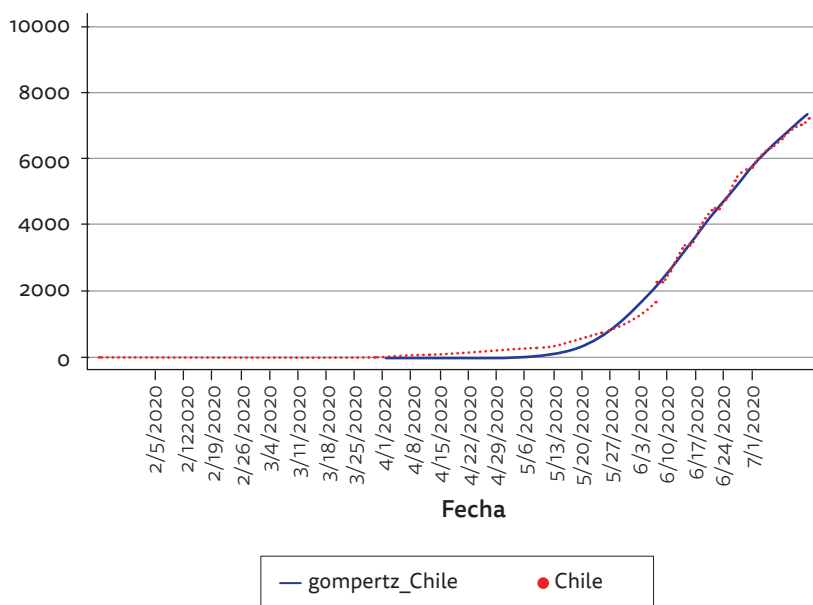
Fuente: Elaborada por los autores con base de datos OMS (2020).

En Perú, el 6 de marzo marca el inicio del proceso de expansión del número de contagios, bajo una secuencia que implicaba un ritmo de casos que se duplicaba cada 3 días. En los meses siguientes el factor multiplicativo fue de 2 y 3 por cada semana, con un ascenso significativo a partir del 8 de abril reportando 4.342 infectados, de acuerdo con el incremento en el número de pruebas realizadas. El máximo número de infectados se aproximó a 500.000 personas al 15 de agosto.

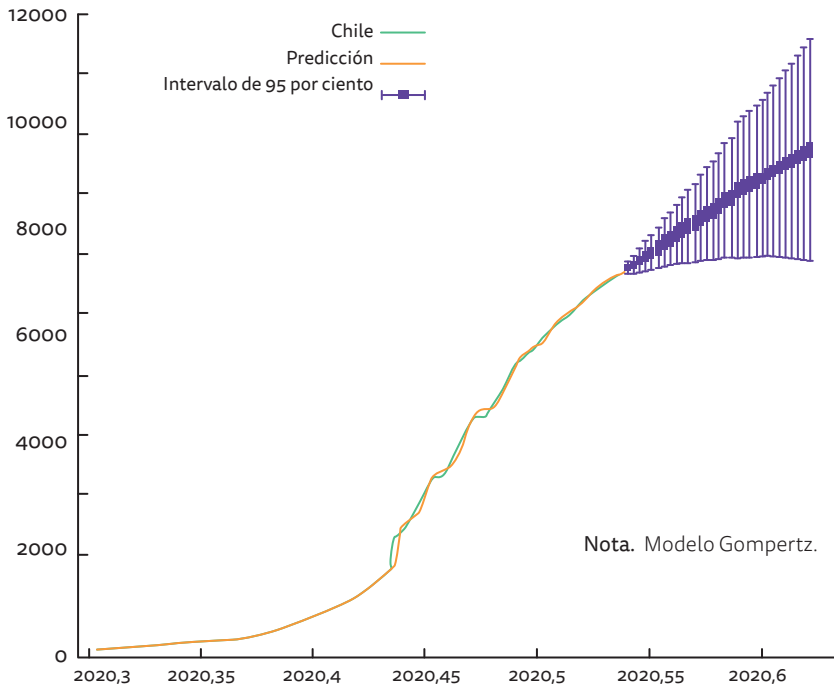
### Análisis de decesos en los Países de la Alianza del Pacífico

**Figura 8.**

Estimaciones de número de decesos por Covid-19 detectados diariamente en Chile.



Nota. Modelo Arima (3,1,3)



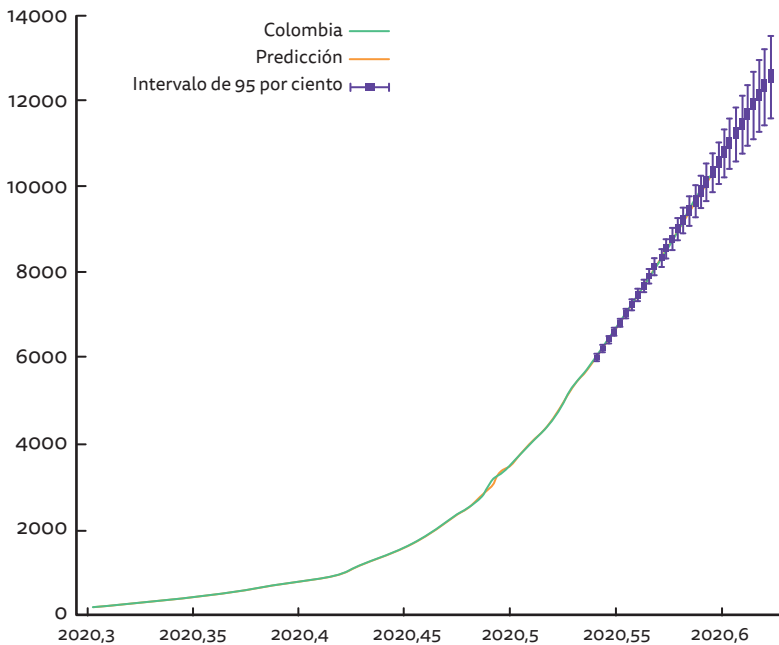
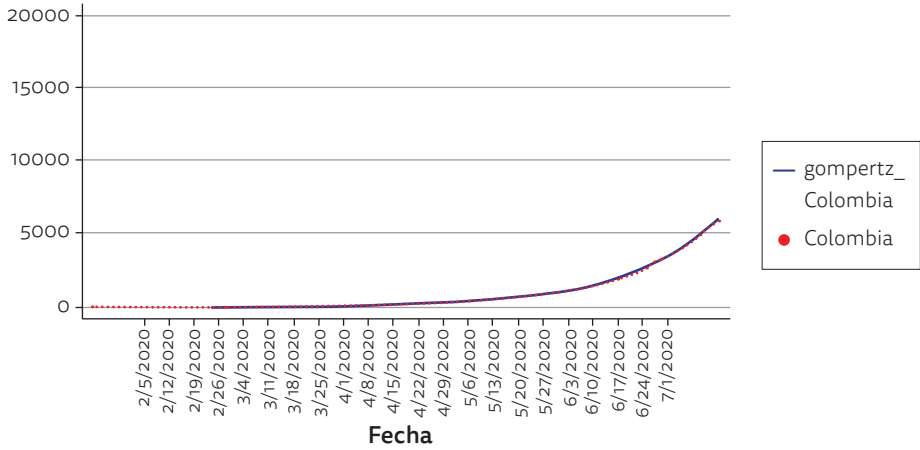
Fuente: Elaborada por los autores con base de datos OMS (2020).

En Chile, después del 23 de abril, el número de muertes presenta un crecimiento desigual pero constante. A mediados de agosto se pronostica en ambos modelos más de diez mil muertes por Covid-19. En un escenario favorable, para este mismo periodo, la curva tiende a estabilizarse con una predicción de 7.439 decesos, aproximadamente cuatro mil muertes menos que en una predicción pesimista según el modelo Arima.



**Figura 9.**

Estimaciones de número de decesos por Covid-19 detectados diariamente en Colombia.



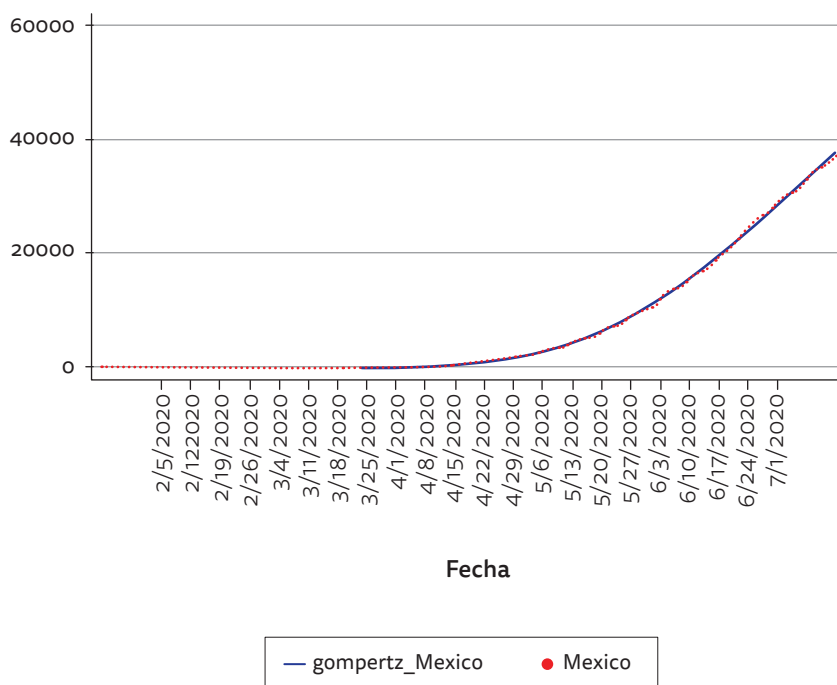
**Nota.** Arriba modelo ARIMA (2,1,3), abajo modelo Gompertz.

*Fuente:* Elaborada por los autores con base de datos OMS (2020).

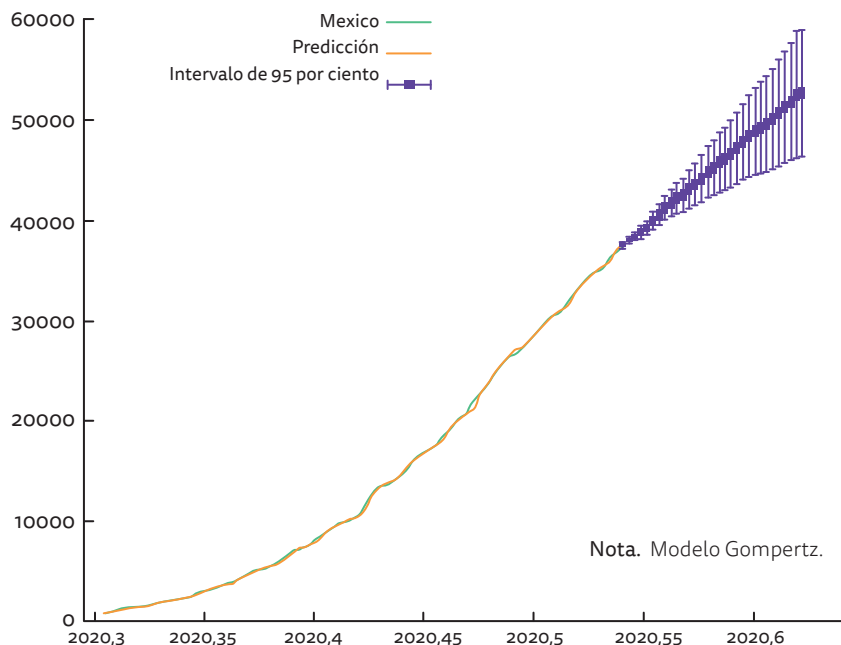
Al igual que Chile, el primer fallecimiento fue el 23 de marzo, a partir de la fecha, se evidencia un incremento constante en el número de decesos. Analizando los modelos, para la segunda semana de agosto se estima que en Colombia se sobrepasarán los 12.000 fallecidos. En este caso no es posible advertir un aplanamiento de la curva en ninguno de los escenarios. Según la Universidad de Oxford, el 30 de julio fue la fecha con registros más elevados, reportando 7,47 muertes por millón de habitantes, con un total de 9.810 fallecidos a causa de Covid-19.

**Figura 10.**

Estimaciones de número de decesos por Covid-19 detectados diariamente en México.



Nota. Modelo Arima (3,1,3)

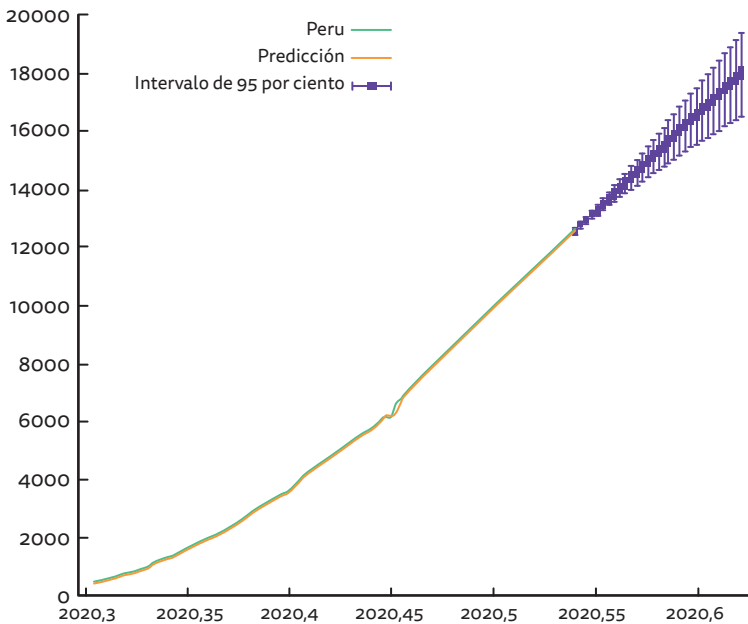
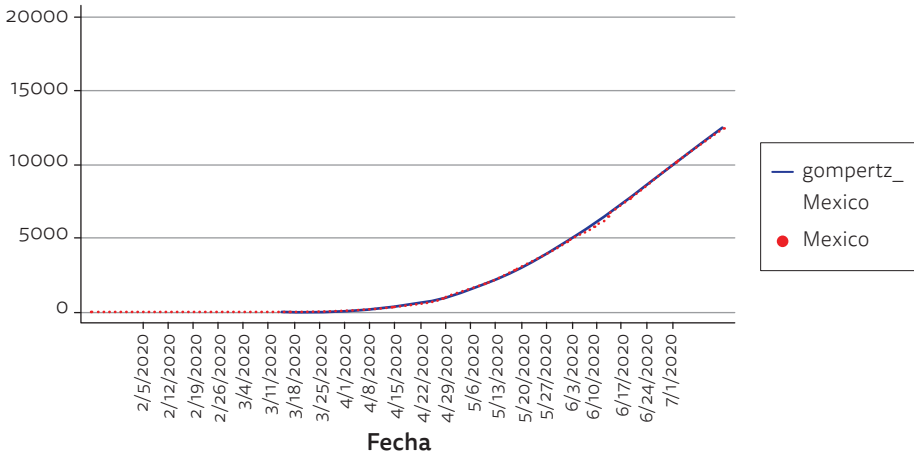


Fuente: Elaborada por los autores con base de datos OMS (2020).

La evolución del número de muertes notificadas cada día describe, como en todos los casos, un comportamiento ascendente. Las cifras de fallecidos aumentan particularmente para el periodo de junio a julio a un ritmo del 59,47%, pasando de 27.769 a 46.688 decesos, un 23.72% más que el mes respectivamente anterior. Para mediados de agosto se estiman más de 55.000 muertes por el virus.

**Figura 11.**

Estimaciones de número de decesos por Covid-19 detectados diariamente en Perú.



Nota. Arriba modelo ARIMA (1,1,1), abajo modelo Gompertz.

Fuente: Elaborada por los autores con base de datos OMS (2020).

En Perú, a finales del mes de abril, es notorio el aumento en el número de defunciones llegando a más de mil muertes por el virus. En los modelos se estima que más de veinte mil personas habrán perdido la vida por el Covid-19 para la segunda semana de agosto.

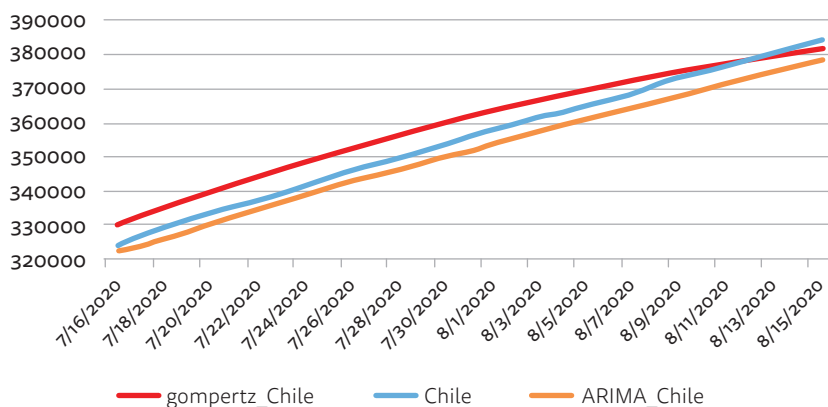
## Análisis de las Predicciones

Friedman (1967), en sus ensayos de economía positiva: planteó que la evaluación de la capacidad explicativa y predictiva de un modelo podía efectuarse a través de un sinnúmero de pruebas estadísticas. Sin embargo, también señaló que el mejor diagnóstico posible se efectúa cuando se comparan los resultados de un modelo con la realidad. En el siguiente apartado gráfico se ilustran las predicciones fuera de muestra de los modelos tipo Arima y las funciones Gompertz para cada caso, encontrando que la verosimilitud de los modelos es relativa según cada país. Por ejemplo, en Chile las predicciones de casos son mejor evidenciadas durante la mayor parte de julio y agosto por un modelo tipo Arima, sin embargo, al final de la serie que considera la mitad de agosto, el modelo Gompertz se acerca de forma más apropiada a los reportes oficiales.

La siguiente evaluación de pronóstico de análisis de casos y decesos a causa de Covid-19 se evidencia en el periodo comprendido entre el 16 de julio y 15 de agosto de 2020, implicando una submuestra de 176 observaciones diarias.

### Figura 12.

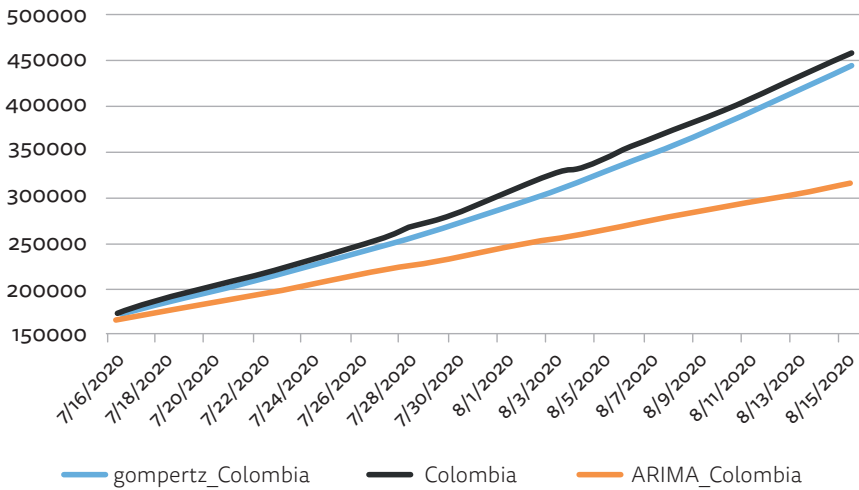
Pronóstico de número de casos de Covid-19 en Chile.



Fuente: Elaborada por los autores con base de datos OMS (2020).

**Figura 13.**

Pronóstico de número de casos de Covid-19 en Colombia.



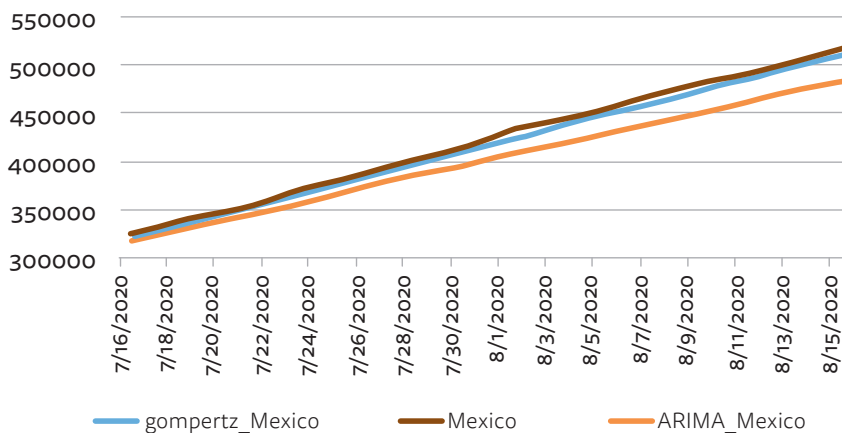
Fuente: Elaborada por los autores con base de datos OMS (2020).

Para Colombia, es indudable que el modelo Gompertz es superior a la hora de efectuar predicciones que se aproximen a la naturaleza expuesta por los registros reportados. A medida que avanza el tiempo los pronósticos generados por las funciones Arima pierden gradualmente más efectividad.

Un hecho relevante es que, en este contexto, las predicciones son inferiores a los casos confirmados por las autoridades, lo que implica que la información evolutiva sobre Covid-19 supera las estimaciones y, por lo tanto, sugiere un relajamiento por parte de la población en términos de cuidado y la flexibilidad de las medidas gubernamentales que le son complementarias.

**Figura 14.**

Pronóstico de número de casos de Covid-19 en México.

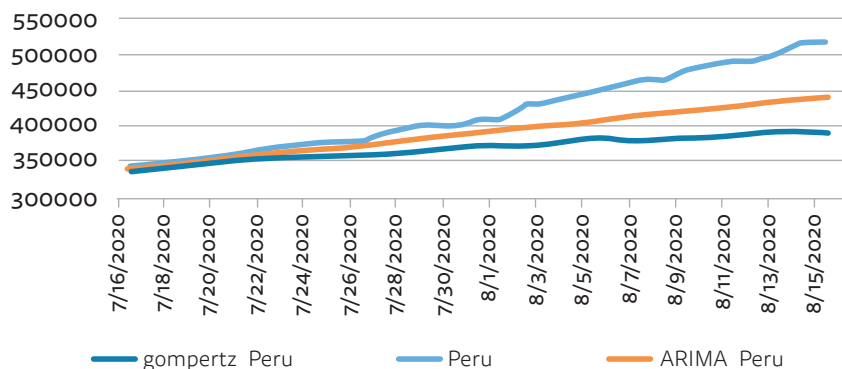


Fuente: Elaborada por los autores con base de datos OMS (2020).

En México, se evidencia que el modelo Gompertz es más efectivo a la hora de efectuar pronósticos sobre casos reportados de Covid. Al igual que en Colombia, el modelo Arima pierde efectividad cuando se trata de proyecciones. El patrón de registro efectivo refleja que las proyecciones son inferiores a los reportes, evidenciando un relajamiento por parte del ordenamiento social y las medidas de control para contener la pandemia.

**Figura 15.**

Pronóstico de número de casos de Covid-19 en Perú.



Fuente: Elaborada por los autores con base de datos OMS (2020).

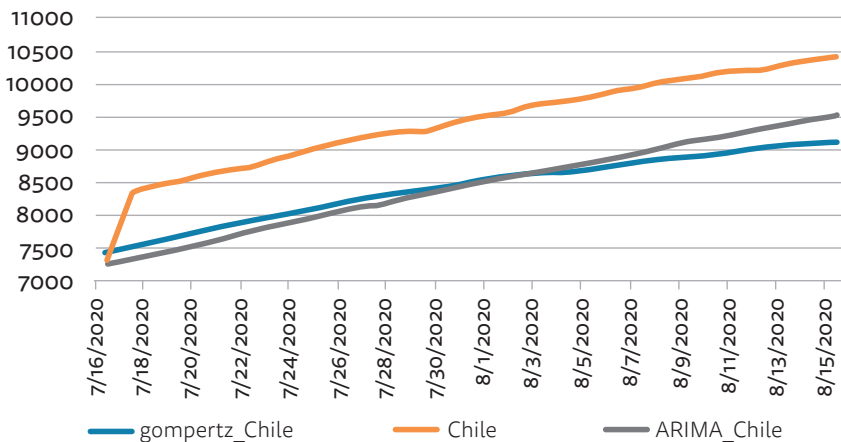
El caso peruano evidencia la misma secuencia de eventos descrita para Colombia y México, esto es, los registros de caso superan las estimaciones. En este contexto, la modelación Arima supuso un mayor acercamiento a los datos efectivos. Sin embargo, a medida que avanza el tiempo, los pronósticos mantienen una brecha cada vez más creciente de los casos reportados, brecha que se ilustra mucho más si se toma como referencia el pronóstico tipo Gompertz.

Existe una crítica al análisis de casos, dado que los problemas de los sistemas de información, la limitada oferta de pruebas por parte de algunas regiones periféricas, los errores de diagnóstico, así como la presencia de agentes asintomáticos, sugiere que existan dificultades a la hora de expresar con precisión las dimensiones que en materia de contagio supone la pandemia.

De otra parte, el análisis de decesos resulta más confiable porque los reportes expresan la causa de muerte asociada a un diagnóstico clínico especializado y confirmado.

**Figura 16.**

Pronóstico de número de decesos por Covid-19 en Chile.



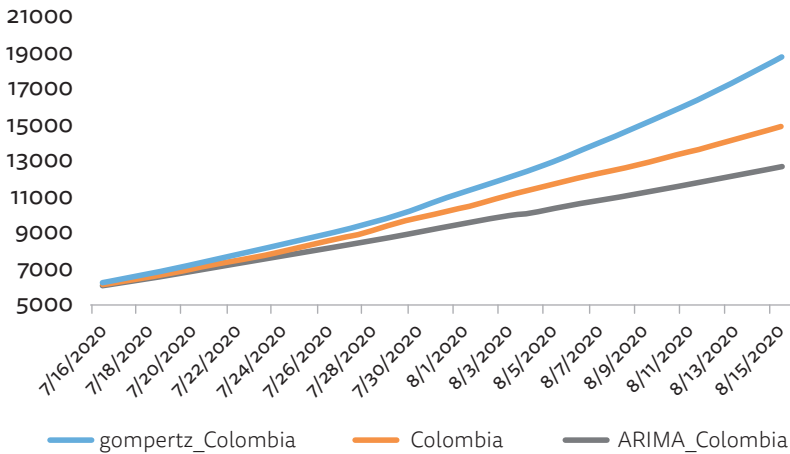
Fuente: Elaborada por los autores con base de datos OMS (2020).

Como se ilustra, los decesos experimentados en Chile superan cualquier predicción. Si bien la verosimilitud entre el modelo Gompertz (que resulta más efectivo al principio de la muestra y el modelo Arima que termina siendo mejor) constituye una característica evidenciada ya en el análisis de casos por contagio, el escenario sugiere que los reportes sobrepasan las medidas contempladas por las autoridades, lo que se traduce en una situación social que supera las expectativas de política pública en la materia.



**Figura 17.**

Pronóstico de número de decesos por COVID-19 en Colombia.

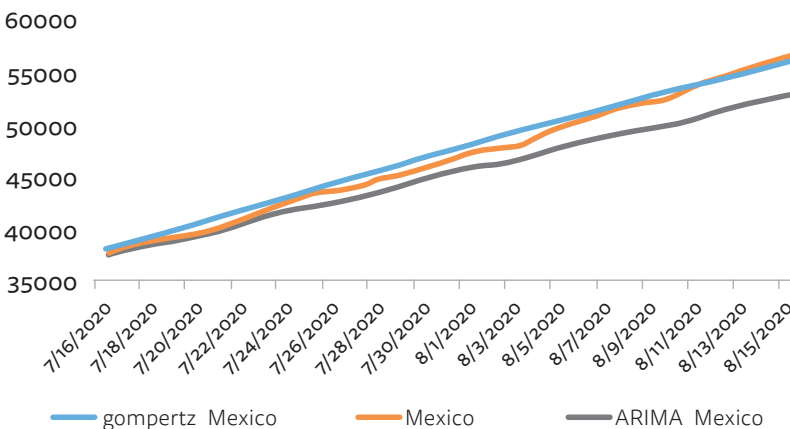


Fuente: Elaborada por los autores con base de datos OMS (2020).

En el caso colombiano, el número de decesos es mejor explicado por el modelo Arima. Sin embargo, el modelo Gompertz puede ser entendido como una medida de techo; los reportes efectivos sobrepasan las estimaciones Arima, pero no sobrepasan las estimaciones Gompertz, por cuanto estas pueden servir para proponer esquemas de control y ampliar las brechas al disminuir el número de decesos de forma sistemática.

**Figura 18.**

Pronóstico de número de decesos por Covid-19 en México.

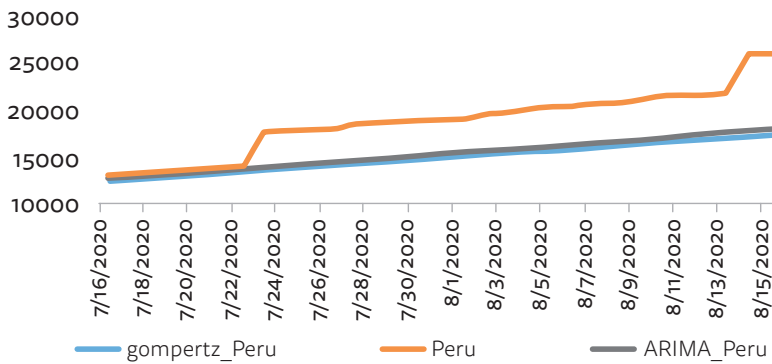


Fuente: Elaborada por los autores con base de datos OMS (2020).

En el caso mexicano existe una rivalidad a la hora de pronosticar los decesos. Este enfrentamiento parece resolverse en las últimas fechas por el modelo Gompertz que se aproxima con un ajuste adecuado a los reportes. Se recomienda considerar, al igual que en Colombia, los modelos tipo Gompertz para decesos como medidas de límite superior en el diseño de política pública.

**Figura 19.**

Pronóstico de número de decesos por Covid-19 en Perú.



Fuente: Elaborada por los autores con base de datos OMS (2020).

Igual que como se había evidenciado con el número de casos, los decesos en Perú superan las expectativas tipo Gompertz o Arima. Resulta no menos que preocupante que las predicciones tengan convergencia entre ellas, pero sean superadas por brechas constantes que amenazan con desarrollar un patrón sistemático de aumento.

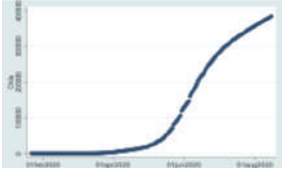
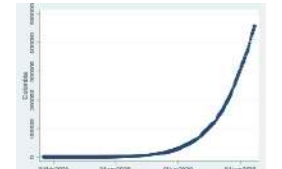
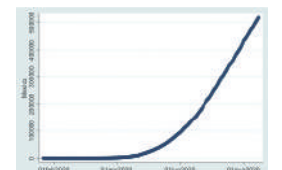
Teniendo en cuenta las anteriores estimaciones, se efectuó un pronóstico del 15 al 31 de agosto de 2020, tanto en los modelos Gompertz como en las funciones tipo Arima, lo anterior con el objeto de inferir el comportamiento y desarrollo del proceso de contagio, así como su velocidad. De igual manera, el ejercicio permite evaluar el resultado de las medidas adoptadas por los países de la Alianza del Pacífico hasta finales del mes de agosto, evidenciando que las cifras para casos y decesos son crecientes, especialmente para Colombia y México que han experimentado un abrupto estallido en el número de contagios y muertes.

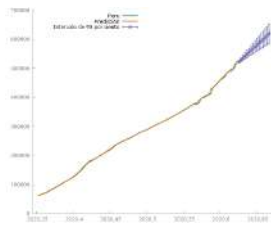
“Al respecto, Álvaro Idrovo, epidemiólogo y profesor del Departamento de Salud Pública de la Universidad Industrial de Santander, observa que México, Perú y Chile, son dos escenarios diferentes. En ese sentido, explica que el camino que

muestran Chile y Perú es similar al de Colombia, que contrasta con el de México, que es un contexto donde no hubo un confinamiento definitivo a diferencia de los tres primeros.” (Diario la Vanguardia, 2020).

En la tabla 1 se obtienen mejores estimaciones en el modelo Gompertz para Chile, Colombia y México. Se observa que en quince días el número de contagios aumenta significativamente para Colombia con 270.380 nuevos infectados, México 102.673, Perú 102.308 (modelo Arima\*) y Chile con 4.994. Para este último, los registros disminuyen sus valores de número de contagios acumulados.

**Tabla 1.**  
**Pronóstico de número de casos de Covid-19**

País	Reporte de Contagios de COVID-19 - OMS (15 de agosto) Predicción Modelo Gompertz (31 de agosto)	Predicción Modelo Gompertz (31 de agosto)	Predicción Modelo ARIMA (31 de agosto)	Gráfica Modelo Gompertz o ARIMA*
Chile	383.902	388.896.09	412.405,65	
Colombia	456.689	727.069.5	638.143,53	
México	456.689	727.069.5	638.143,53	

Perú*	516.296	525.492,06	618.676,24	
-------	---------	------------	------------	--

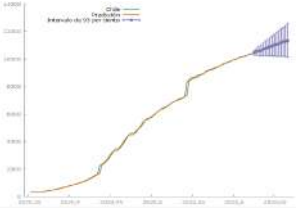
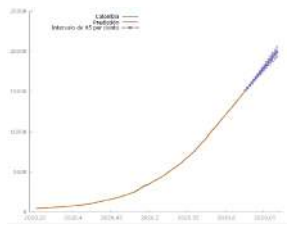
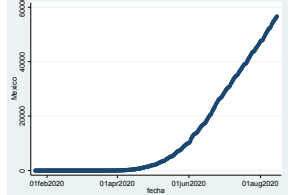
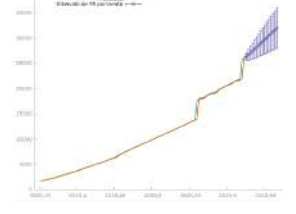
Fuente: Elaborada por los autores con base en datos OMS (2020).

Según la OMS para inicios del mes de agosto, Colombia ocupó el duodécimo lugar en cuanto a muertes y se acercó a los 11.000 fallecimientos. A mediados de agosto, México se acerca al umbral de los 60 mil decesos y en la última jornada se reportaron más de 200 muertes. En Chile se presentan 10.395 personas fallecidas por coronavirus, con una tasa de letalidad (fallecidos respecto a confirmados) del 2.73% y, en Perú 25.856 perdieron la vida a causa del letal virus.

En la tabla 2, las estimaciones de número de muertes a 31 de agosto presentan tasas de mortalidad altas con mejores acercamientos a la realidad con el modelo Arima para Chile, Colombia y Perú.

En Colombia se prevé que fallecerán más de cinco mil personas en 15 días, Perú sobrepasará el umbral de los 30.000 decesos, y Chile tendrá un incremento de 7.12% aproximándose a una fase de estabilización. México superará las 66 mil muertes según la predicción del modelo Gompertz.

**Tabla 2.**  
**Pronóstico de número de decesos por Covid-19**

País	Reporte de Decesos por Covid-19 - OMS (15 de agosto)	Predicción Modelo Gompertz (31 de agosto)	Predicción Modelo Arima (31 de agosto)	Gráfica Modelo Gompertz o Arima*
Chile	10.395	11.192.09	11.365,00	
Colombia	14.810	22.729.43	19.917,32	
México	56.543	63.292.56	66.544,39	
Perú	25.856	30.230.68	31.926,50	

Fuente: Elaborada por los autores con base en datos OMS (2020).

De acuerdo con lo anterior, es posible establecer las predicciones de la tasa de letalidad por Covid-19 como un cociente entre el número de decesos y el número de casos correspondientemente, ambos obtenidos de la función de pronóstico más competitiva entre la tipología Gompertz o Arima. Los resultados se ilustran a continuación:

**Tabla 3.**  
**Tasas de mortalidad efectivas y pronosticadas asociadas a Covid-19**

Fecha	Alianza del Pacífico	México	Perú	Colombia	Chile
Predicción 15 de agosto	5,41%	10,94%	4,09%	2,84%	2,49%
Datos reales 15 agosto	5,74%	10,92%	5,01%	3,24%	2,71%
Predicción 31 de agosto	5,69%	10,88%	5,16%	3,12%	2,76%
Datos reales 27 agosto	5,50%	10,79%	4,55%	3,17%	2,74%

*Fuente: Elaborada por los autores con base en datos OMS (2020).*

Los resultados de los pronósticos en las tasas de mortalidad para el conjunto de países que conforman la Alianza del Pacífico son superiores a la tasa global. No obstante, en los casos particulares de Colombia y Chile las estimaciones son ligeramente inferiores.

Para el 15 de agosto, las cifras de tasa de mortalidad reales siguen superando a las predicciones, exceptuando el caso de México, en el cual, el pronóstico es 0.02% más que el reportado. Para finales de agosto para México y Perú, se presenta el caso contrario, los datos reales son menores a las predicciones en un 0.09% y 0.61 respectivamente. En general, para la Alianza del Pacífico, la tasa de mortalidad disminuye un 0.24% según reportes reales, diferenciándose de las estimaciones que presentaban un incremento de 0.28% con un desfase de 0.04%.

## 6. Conclusiones

Los modelos matemáticos, estadísticos y epidemiológicos se constituyen en inexorables herramientas de análisis para estudiar la dinámica de la pandemia y el establecimiento de escenarios diversos, a través de los cuales, sea posible advertir la respuesta que la política pública en materia de salud ejerce sobre su sociedad. Pese a lo anterior, es necesario señalar que, como toda herramienta analítica experimenta limitaciones naturales. Por consiguiente, debe comprenderse que las predicciones no pretenden precisión como objetivo ineluctable, tampoco pretenden establecer los determinantes económicos, sociales, demográficos, entre otros que explican los valores de pronóstico, su trabajo más bien resulta indicativo. En este estudio los decesos fueron mejor pronosticados en modelos tipo Arima, en contraste, para las predicciones de casos resultaron más eficientes las estimaciones en modelo Gompertz.

Con base en los modelos es posible establecer que:

La letalidad del virus es considerable, la cuantificación de personas infectadas no constituye una estadística absoluta, la presencia de asintomáticos, así como las limitaciones en la oferta de pruebas de diagnóstico constituyen restricciones relevantes para ejercer modelaciones definitivas.

En la mayor parte de los análisis cuantitativos las predicciones fueron superadas por las cifras reales, lo que sugiere no solo que el crecimiento en el número de contagios y de decesos ha superado las expectativas, sino que además pone en evidencia la eficacia de los procesos de cuarentena adoptados por cada país.

## 7. Recomendaciones

El problema parece cultural, puesto que el creciente ritmo de contagios y muertes sugiere una ineficaz política pública para controlar la pandemia, que además es vulnerada por quienes no acatan los protocolos de autocuidado. Adicionalmente, la baja efectividad en el control se relaciona con la ausencia de garantías mínimas de una población con necesidades económicas crecientes.

Una de las claves del problema estriba en el manejo de los protocolos de confinamiento y control, una consciencia colectiva y la existencia de una disciplina para que las personas asuman como una nueva cultura las medidas de bioseguridad.

## 8. Referencias bibliográficas

- Diario La Vanguardia*. (Julio 5 de 2020). Covid-19: un virus “fuera de control” en Perú, Chile y México. Recuperado de <https://www.vanguardia.com/mundo/covid-19-un-virus-fuera-de-control-en-peru-chile-y-mexico-CF2575062>
- Friedman, M. (1967). La metodología de la economía positiva. En *Ensayos de economía positiva*. Madrid: Gredos.
- Gompertz, B. (1825). On the nature of the function expressive of the law of human mortality, and on a new mode of determining the value of life contingencies. 1825. Recuperado de <http://www.med.mcgill.ca/epidemiology/hanley/c609/material/Gompertz-1825.pdf>
- Gujarati, D., y Porter, D. (2010). *Econometría*, 5.a ed. México: McGraw Hill.
- John Hopkins University. (2020). Global Map and data in motion. Coronavirus resource center. Recuperado de <https://coronavirus.jhu.edu/map.html>
- Minsalud. (2020). Biblioteca Digital. Obtenido de Resolución n.º 385 del 12 de marzo de 2020. Recuperado de <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/resolucion-385-de-2020.pdf>
- OMS. (2020). Covid-19 data reported by countries and territories in the Region of the Americas. Recuperado de <https://ais.paho.org/hiph/viz/COVID-19EpiDashboard.asp>



## 9. Anexos

**Tabla 4.**  
Proceso generador de datos casos de Covid-19 Gompertz (enero 22-julio 15 de 2020)

Coeficientes	Chile	Colombia	México	Perú
a	410.306,9***	86.600.000***	1.111.849***	434.550,8***
b	-148,7206***	-16,41561***	-18,94695***	-48,82466***
r	-0,0368653***	-0,0054808***	-0,0154263***	-0,0296732***
R <sup>2</sup>	0,9989	0,9999	1	0,9997
Root MSE	4345,479	526,5149	714,0075	2323,816

\*\*\*  $p < 0.01$ , \*\*  $p < 0.05$ , \*  $p < 0,1$

**Tabla 5.**  
Proceso generador de datos decesos por COVID-19 Gompertz (enero 22-julio 15 de 2020)

Coeficientes	Chile	Colombia	México	Perú
a	9808,697***	5.47e+10	89100,11***	25974,71***
b	-664,1178***	-24,42474***	-29,82706***	-22,26767***
r	-0,0439411***	-0,0023894***	-0,0200883***	-0,019342***
R <sup>2</sup>	0,9971	0,9993	0,9997	0,9998
Root MSE	134,5484	42,99698	42,79921	60,80615

\*\*\*  $p < 0.01$ , \*\*  $p < 0.05$ , \*  $p < 0,1$

**Tabla 6.**  
**Proceso generador de datos casos de COVID-19 Gompertz (enero 22- agosto 15 de 2020)**

Coeficientes	Chile	Colombia	México	Perú
a	403.852***	7,57e+07***	1.186.340***	696.346.3***
b	-155,5671***	-16,84174***	-18,40357***	-17,41165***
r	-0,0373283***	-0,0057756***	-0,0149997***	-0,0296732***
R <sup>2</sup>	0,9995	0,9999	1	0,9973
Root MSE	4345,479	526,5149	714,0075	2323,816

\*\*\* $p < 0.01$ , \*\* $p < 0.05$ , \* $p < 0,1$

**Tabla 7.**  
**Proceso generador de datos decesos por COVID-19 Gompertz (enero 22-agosto 15 de 2020)**

Coeficientes	Chile	Colombia	México	Perú
a	12.194,83***	470.903,4	89.815,42***	25974,71***
b	-240,7352***	-17,43868***	-28,53716***	-22,26767***
r	-0,0356026***	0,0078466***	-0,0197357***	-0,019342***
R <sup>2</sup>	0,9987	0,9996	0,9997	0,9998
Root MSE	134,5484	42,99698	42,79921	60,80615

\*\*\* $p < 0.01$ , \*\* $p < 0.05$ , \* $p < 0,1$