

N° 30-2020

Agosto

INFORME ESPECIAL

**Evolución de la pandemia en Colombia
y estimación del número de reproducción
efectivo de contagio de la Covid-19**

Evolución de la pandemia en Colombia y estimación del número de reproducción efectivo de contagio de la Covid-19

Marcos González Auhing ¹. Diego Fernando Montañez²²

I. Introducción

Desde el primer caso reportado el 06 de marzo en Colombia (Organización Mundial de la Salud, 2020), el número de casos confirmados ha crecido a un ritmo exponencial y continúa aumentando hasta la fecha. El brote de la enfermedad ha tenido efectos alarmantes en la vida humana y en las economías de los países afectados. Al escribir estas líneas, se cuenta más de 23 millones de casos confirmados y más de ochocientos mil de muertes en el mundo, estando Colombia entre los 8 países más afectados según el recuento de Johns Hopkins, con sus más de 522 mil contagios y 16 mil fallecidos con datos hasta el 23 de agosto.

El virus se ha extendido a más de 188 países y, en consecuencia, los gobiernos en todo el mundo han tomado y siguen tomando medidas sin precedentes. Su impacto social y económico es complejo de cuantificar, pero en todos los aspectos es enorme, causando estragos en todas las esferas de la actividad productiva (Anderson et al., 2020). Sin duda alguna, uno de los grandes dilemas a nivel mundial es la reactivación gradual de la

¹ Integrante del Grupo de Estudios en Economía y Empresa (GEE) Universidad EAFIT.
Email: megonzalea@eafit.edu.co

² Investigador del Grupo de Estudios en Economía y Empresa (GEE), Universidad EAFIT.
Dirección: dfmontaneh@eafit.edu.co

INFORME ESPECIAL

ANÁLISIS DE COYUNTURA

■ ■ ■

economía, la menor restricción de la movilidad y el impacto que ello tenga sobre el nivel contagio, este último medido convencionalmente con el R_0 .

Para dimensionar el impresionante nivel de propagación en el mundo del SARS-Cov-2, destacamos que, en tan sólo cuatro días, la suma de casos alcanzó registros que superaban el millón de casos: en el periodo comprendido entre el 5 de agosto hasta al 8 de agosto del 2020. Bajo este panorama los gobiernos no podrán minimizar ni las muertes por enfermedad por coronavirus 2019 (COVID-19) ni el impacto económico de la propagación viral. Mantener la mortalidad lo más baja posible será la máxima prioridad para las personas; pero los gobiernos deberán también establecer medidas para mitigar la inevitable recesión económica (Anderson et al., 2020)

La OMS la ha declarado pandemia el 11 de marzo del 2020, con pequeñas cadenas de transmisión en muchos países y grandes cadenas que se han extendido ampliamente en algunas regiones, pero que han cambiado a lo largo de estas semanas. Por mencionar los más afectados en orden de casos confirmados, se tiene países como Estados Unidos (más de 5.700.000), Brasil (más de 3.622.000), India (más de 3.160.000), Rusia (más de 960.000), Suráfrica (Más de 611.000), Perú y México (más de 500.000) y Chile (más de 400.000); cifras registradas hasta el 23/08/2020. Ahora bien, es preocupante para los países de la región el incremento que están experimentando, en lo que se refiere a número de fallecidos: Brasil (más 115.000), México (Más de 60.000), Perú (más 27.800), Chile (más 10.900), Ecuador (más 6.200), y Colombia superando la barrera de los 17.600³.

Este documento analiza cómo ha evolucionado la pandemia en el país respecto a países similares para continuar monitoreando la evolución de los casos y fallecidos por Covid-19 y el efecto de las medidas implementadas por el Gobierno Nacional. Pero la novedad distintiva del enfoque es la estimación del número de reproducción efectiva en el brote

³ Ver Corona Resource Center de la Universidad Johns Hopkins, disponible en: <https://coronavirus.jhu.edu/map.html>

INFORME ESPECIAL

ANÁLISIS DE COYUNTURA

■ ■ ■

de COVID-19. Usamos un método basado en ajustar el modelo SIR a los datos reales, lo que permite mostrar la dinámica del número de reproducción en cualquier fase de la pandemia. El cálculo se realiza para el período que comienza cuando el país presenta al menos 1000 infectados reportados. Terminamos con algunas conclusiones y recomendaciones.

II. ¿Qué es la COVID-19 y qué sabemos hasta ahora?

Uno de los primeros interrogantes es éste: ¿qué sabemos hasta ahora sobre el virus que está poniendo en jaque la economía mundial? El virus responsable de COVID-19, SARS-CoV-2, se encuentra en la especie de virus corona tipo SARS. A 125 nm, es ligeramente más grande que los virus de influenza, SARS y MERS. Es casi seguro que es descendiente de un virus de corona de murciélago del cual hay muchas variedades. El más cercano es un virus que se originó en el murciélago *Rhinolophus*, que es mayor al 96% homólogo con el virus SARS-CoV-2 actual. Es solo un 79% homólogo con el CoV del SARS original (Zhou et al., 2020).

La propagación del virus no tiene precedentes llegando ya a más de 180 países en el mundo (Wang et al., 2020). Varios estudios han encontrado que la transmisibilidad de COVID-19 tiene un número de reproducción básico, conocido como R_0 , de 2 hasta 6,47, en promedio 3,58 (Liu et al. 2020). Lo que significa que la enfermedad puede propagarse de una persona promedio a un número entre 2 y 6,47 personas. Esto es más alto que otros brotes de enfermedades recientes como el SARS, H1N1, Ébola y MERS-CoV, que tienen valores de R_0 , entre 2 y 5 (Organización Mundial de la Salud, 2003); 1,4 y 1,6 (Baldo et al, 2016); 1,50 y 2,67 (Althaus, 2014) y entre 0,6 y 1,3 (MacIntyre, 2014) respectivamente.

Estudios anteriores han utilizado métodos econométricos y estadísticos para estimar el impacto económico de los brotes de enfermedades. Siguiendo la revisión de literatura del trabajo de Yu & Aviso (2020), nos encontramos con el trabajo de Meltzer et al. (1999), que estima el impacto potencial de una pandemia de influenza en los

INFORME ESPECIAL

ANÁLISIS DE COYUNTURA

■ ■ ■

Estados Unidos, en función de las tasas brutas de ataque, pero sin tener en cuenta los efectos multiplicadores que pueden causar pérdidas significativas para la fuerza laboral. *Beutels & col.* (2009), por su parte, emplearon funciones de correlación cruzada para comparar la evolución de las tendencias de datos de series temporales y medir el impacto económico del SARS en Beijing, descubriendo que no hay un efecto a largo plazo, ya que, en el caso analizado, el gasto en consumo simplemente se aplazó. *Keogh-Brown & Smith* (2008) realizaron una estimación retrospectiva utilizando indicadores macroeconómicos para los países afectados y encontrando que no había un impacto significativo en la economía con la excepción de los sectores de alojamiento y restaurantes en Hong Kong, Australia y Canadá. *Joo & col.* (2019) estimaron el impacto del MERS-CoV en los sectores relacionados con el turismo de la economía coreana mediante el uso de un modelo de promedio móvil integrado autorregresivo estacional. Sin embargo, estos no lograron capturar las interdependencias en varias industrias dentro de la economía, poniendo de presente la necesidad de abordar un análisis de equilibrio general como el CGE.

En la literatura naciente, se encuentra el libro titulado *"Economics in the Time of COVID-19"*, que contiene 14 capítulos que abordan los impactos económicos a nivel mundial y en determinadas regiones del COVID-19, con algunos apartados más epidemiológicos. Siguiendo esta línea se encuentran los trabajos de *Zhao et al.* (2020) para la economía China; el de *Fornaro & Wolf* (2020) con recomendaciones de política económica sobre un marco conceptual simple; el trabajo de *Anderson et al.* (2020) para Japón; el de *Rodríguez et al* (2020) para una economía latinoamericana, Brasil, aunque desde un punto de vista más epidemiológico que económico. Cabe destacar además un working paper de los autores *McKibbin & Fernando* (2020), titulado *"The global macroeconomic impacts of COVID-19: Seven scenarios"*, donde aplican un modelo CGE y DSGE (Dynamic Stochastic General Equilibrium), simulando siete escenarios con un modelo híbrido para 20 economías afectadas. Encuentran que los escenarios demuestran que incluso un brote contenido podría impactar significativamente la economía global a corto

INFORME ESPECIAL

ANÁLISIS DE COYUNTURA

■ ■ ■

plazo; el estudio de Atkeson (2020) presenta a los economistas un modelo SIR simple de la progresión de COVID-19 en los Estados Unidos durante los próximos 12-18 meses; finalmente, uno de los trabajos que están llamando mucho la atención es el de Eichenbaum et al. (2020), titulado "The Macroeconomics of Epidemics", en el cual extienden el modelo de epidemiología canónico para estudiar la interacción entre las decisiones económicas y las epidemias. Encuentran, estimando un DSGE con un módulo SIR que, en el escenario de referencia, la política de contención óptima aumenta la severidad de la recesión, pero salva aproximadamente medio millón de vidas en los Estados Unidos.

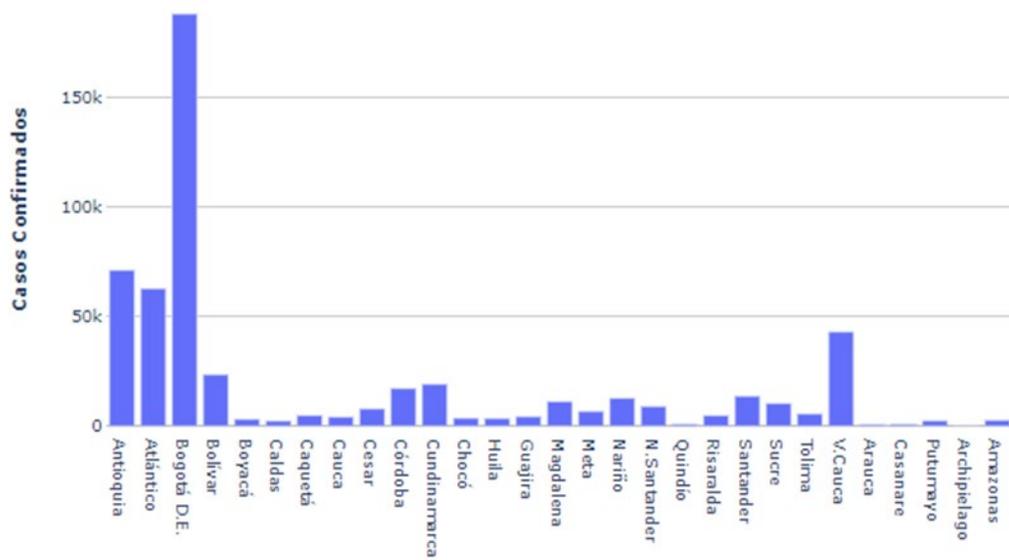
Ahora bien, en lo que se refiere a nivel doméstico, entidades como Bancolombia y Corficolombia con información del Instituto Nacional de Salud (INS), desarrollan un análisis breve de los posibles impactos económicos en el país. Como bien lo analizan en el informe de Corficolombia de corona virus para Colombia, el impacto económico asociado a este episodio puede ser mucho más severo de lo que inicialmente se pensaba, y si bien debe ser temporal, no puede descartarse hasta que al mundo no cuente con una vacuna, y quizás entonces tampoco desaparezca por completo. Por esta razón es importante que tanto el sector público como el privado trabajen de forma conjunta, y que todos, sin excepciones, contribuyamos no solo buscando mitigar los riesgos de contagio, sino en la búsqueda de una respuesta solidaria frente a los efectos adversos que tendrá el Coronavirus en la economía. No obstante, ambos se quedan cortos en el cálculo de los efectos de la tasa de contagio, por consiguiente, el objeto de este documento es modelar y cuantificar bajo un marco modelado de SIR la tasa de contagios y los índices de movilidad de Google y Apple para cuantificar los impactos de política pública y calcular las posibles pérdidas económicas en el país.

INFORME ESPECIAL

ANÁLISIS DE COYUNTURA

■ ■ ■

Figura 1: Total de casos confirmados por departamentos.



Fuente: Elaboración propia con datos hasta el 25/08/2020 del Instituto Nacional de Salud (INS) y Coronavirus Pandemic (COVID-19).

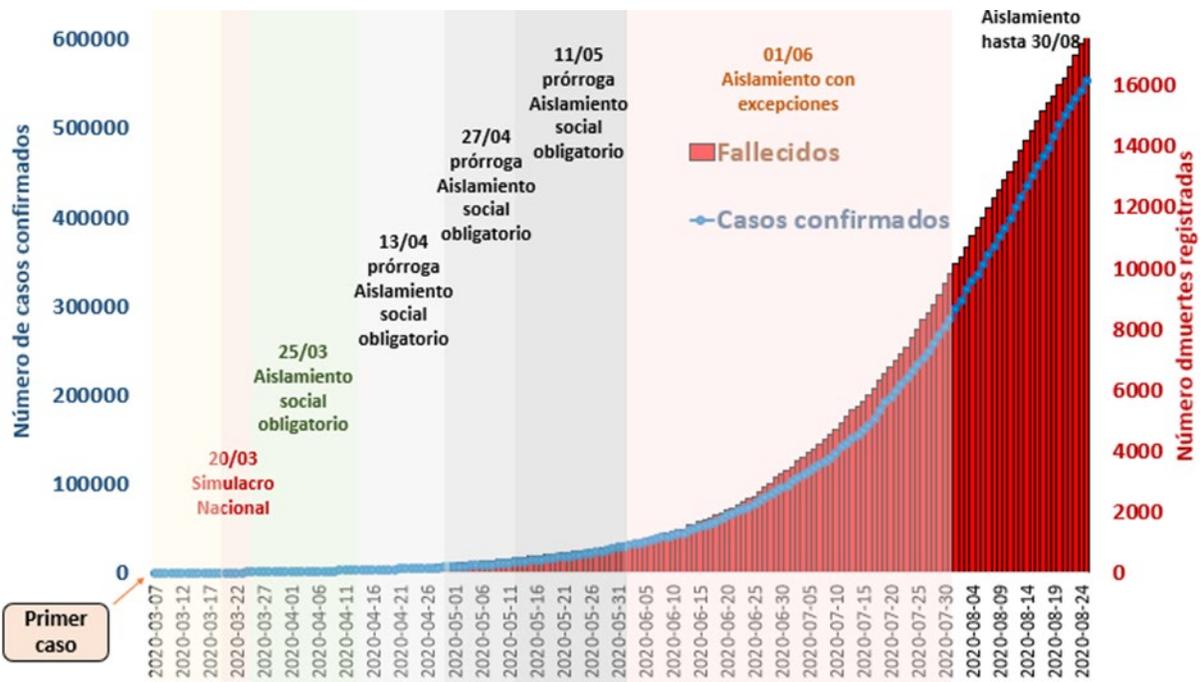
Para ello, es preponderante identificar la evolución de casos y fallecidos en el país debido al COVID-19, que se presenta en la Figura 2, dónde la línea azul reporta los casos confirmados y la barra roja muestra el número de fallecidos, ambas medidas como el acumulado diario. Los datos se muestran a partir del primer caso registrado en el país el 6 de marzo del 2020, publicados por el Instituto Nacional de Salud (INS).

INFORME ESPECIAL

ANÁLISIS DE COYUNTURA

■ ■ ■

Figura 2: Evolución diaria de casos y muertos por COVID-19 en Colombia



Fuente: Elaboración propia con datos hasta el 25/08/2020 del Instituto Nacional de Salud (INS) y Coronavirus Pandemic (COVID-19).

Se evidencia una tendencia creciente en el número de casos confirmados por COVID-19 en el país. Hasta el 25/08/2020 se registran 551.696 casos en todo el territorio nacional, concentrados en Bogotá con 192.654 casos, Antioquia 71.983; Valle del Cauca con 41.217 y Barranquilla con 35.532 casos positivos. Por consiguiente, el gobierno nacional, ha implementado un paquete de medidas restrictivas, antecedido por medidas previas como la adoptada en Bogotá que, a partir de la noche del jueves 19 de marzo, siendo las 23:59pm, inició un simulacro nacional de aislamiento, que se extendería hasta el martes 24, tal como se muestra con el fragmento sombreado de rojo en la Figura 2. El paquete de medidas comenzó con el "aislamiento obligatorio" desde el martes 24 a partir de las 23:59pm hasta el 13 de abril a las cero horas, que se observa por la franja verde de la Figura 2, medida ésta sin precedentes en el país, pero que se tomó con el objeto proteger a los más vulnerables y mitigar, en la medida de lo posible, la propagación del virus. El país ha seguido el camino en la lucha contra el COVID-19 de varios países en el mundo, como China (Wuhan), Italia, España, Brasil, Ecuador, entre

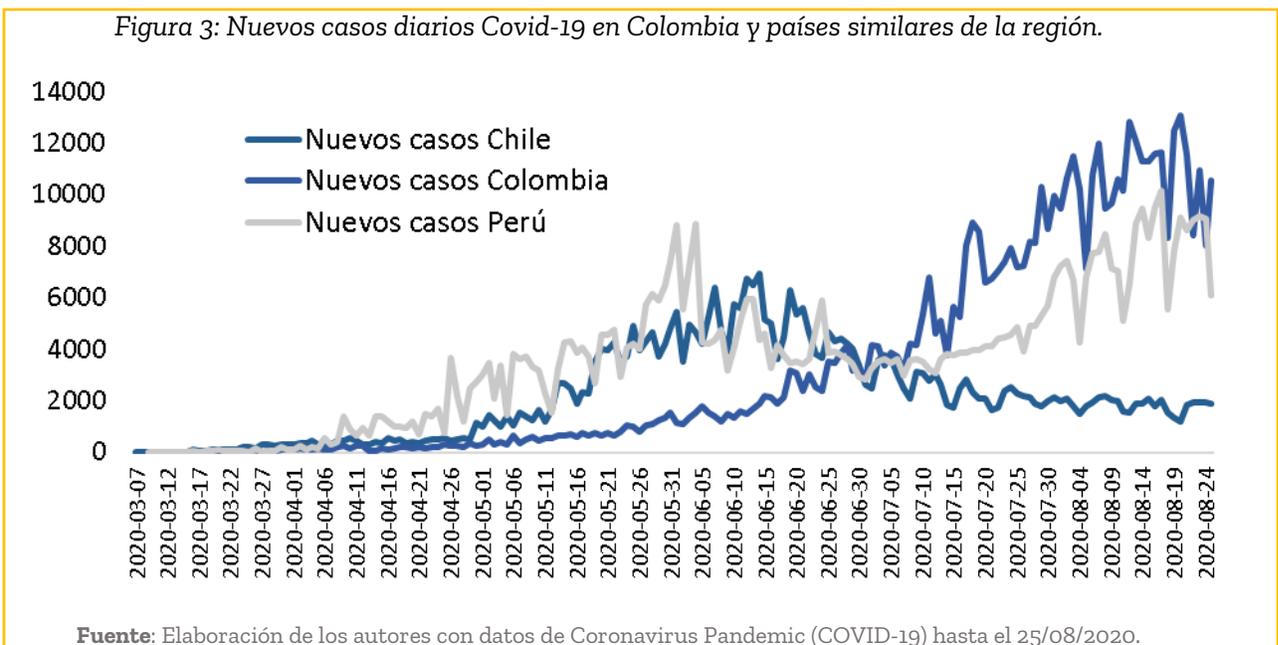
INFORME ESPECIAL

ANÁLISIS DE COYUNTURA

■ ■ ■

otros, hasta llegar a tener uno del aislamiento más largo del mundo que se ha postergado desde la franja gris hasta la última franja que data el 30 de agosto, como se puede evidencia en la Figura mencionada.

Ahora bien, Colombia no muestra señales de llegar el pico del contagio, como se proyectaba en el mes de julio, y como si lo han mostrado los países europeos y algunos países latinoamericanos similares en la región, que se muestran en la Figura 3, indicativa de los nuevos casos confirmados con frecuencia diaria en Chile, Colombia y Perú.



II.A. La reproducción del contagio

El número de reproducción básico (R_0) se define como la cantidad de casos que se espera que ocurran en promedio en una población homogénea como resultado de la infección por un solo individuo, cuando la población es susceptible al comienzo de una enfermedad infecciosa, es decir, se estima cuando hay cero inmunidades en la población. En este sentido, si el R_0 promedio es mayor que 1, la infección se propagará exponencialmente. Si es menor que 1, la infección se propagará lentamente y

INFORME ESPECIAL

ANÁLISIS DE COYUNTURA

■■■

desaparecerá. Cuanto mayor sea el valor, más rápido crecerá una pandemia (Aronson et al., 2020).

Por otra parte, el R_t representa el número de reproducción efectivo que corresponde a la cantidad de personas de una población que pueden ser infectadas por un individuo en cualquier momento específico. El R_t se ve afectado por el número de personas con la infección y por el comportamiento de las personas, como la distancia social y la movilidad (Nouvellet et al., 2020).

Se han realizado diversos estudios relacionados al número de reproducción efectivo durante la pandemia COVID-19. Nouvellet et al. (2020) realizan un estudio donde muestra una correlación entre el R_t y la movilidad con los datos de Google. Godio et al. (2020) utilizan el solver Particle Swarm Optimization (PSO) para ajustar los datos en el modelo SEIR, con el fin de obtener los valores de los parámetros, tomando en cuenta los datos de movilidad de Google. Fellows et al. (2020) usan un marco Bayesiano para obtener el R_t y sus resultados muestran una fuerte correlación con los datos de movilidad de Google y acciones no farmacéutica, como el uso de tapa boca y la distancia social. Glaeser et al. (2020) realizan un análisis econométrico con datos de panel e instrumentos obteniendo una correlación de la movilidad en los contagios en Atlanta, Boston, Chicago y New York.

III. Modelos epidemiológicos para Colombia: Dos enfoques

III.A. Primer enfoque: Modelo epidemiológico SIR del COVID-19 para Colombia

Es importante un análisis del nivel de propagación que puede tener el SARS-Cov-2 en el país. Una opción muy utilizada es la construcción de modelos epidemiológicos tipo SIR propuesto por Kermack & Mckendrick (1927). Un modelo SIR es un modelo de Markov de la propagación de una epidemia en una población en la que la población total se divide en categorías de ser susceptible a la enfermedad (S), infectarse activamente con la enfermedad (I) y recuperados (R) (Atkeson, 2020).

INFORME ESPECIAL

ANÁLISIS DE COYUNTURA

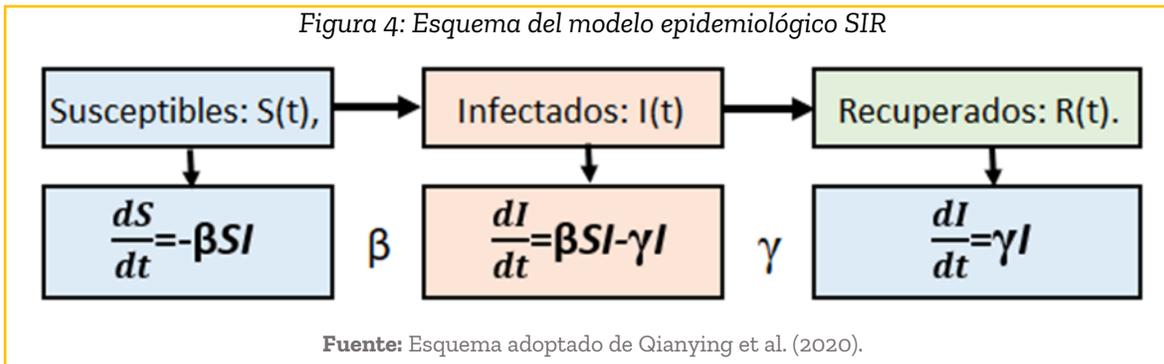
■ ■ ■

A la vista del crecimiento exponencial del COVID-19 en distintas regiones del mundo, así como su declaración de pandemia por la OMS, una amplia variedad de modelos de SIR de la progresión de esta epidemia está siendo utilizados por los expertos en salud pública para generar escenarios que se utilizan para guiar las decisiones para recomendar e imponer medidas de mitigación cada vez más estrictas en economías de todo el mundo. Los economistas no están completamente familiarizados con las implicaciones cuantitativas de estos modelos y por lo tanto no participan plenamente en la discusión política con respecto a la compensación entre la salud pública y las implicaciones económicas de estas medidas de mitigación y de distanciamiento social (Atkeson, 2020). Por ello la creciente importancia de algún tipo de acercamiento como se mostró en la creciente literatura en la sección anterior.

De esta forma se elabora un modelo SIR muy sencillo para Colombia, que se sintetiza en la figura 4. Para nuestra modelización usaremos el modelo SIR estándar, que fue propuesto por Kermack & Mckendrick (1927). En una población de tamaño fijo N en la que se ha desatado una epidemia que se propaga mediante contagio, en un tiempo t los individuos pueden estar en tres estados distintos: Susceptibles: $S(t)$, Infectados: $I(t)$ y Recuperados: $R(t)$.

En el modelo SIR se cuenta con tres parámetros relevantes: β , llamado tasa de transmisión, de manera que $1/\beta$ mide la probabilidad de que un susceptible se infecte cuando entra en contacto con un infectado; γ , llamado tasa de recuperación, de manera que el periodo medio de recuperación es $1/\gamma$; finalmente, el número de reproducción básico, conocido como R_0 . El proceso se sintetiza en la figura 4.

Figura 4: Esquema del modelo epidemiológico SIR



Siguiendo el trabajo titulado "Forecasting of coronavirus COVID19 epidemic (SIRmodel)" de Bastida (2020) que estima para más de 20 países el fenómeno del COVID, se adopta el modelo para la economía colombiana, con los casos reportados hasta al 17/08/2020, se estima en el lenguaje MATLAB, es importante aclarar que será una estimación a partir de los datos, lo que implica que se calibra de acuerdo con la información registrada por el INS.

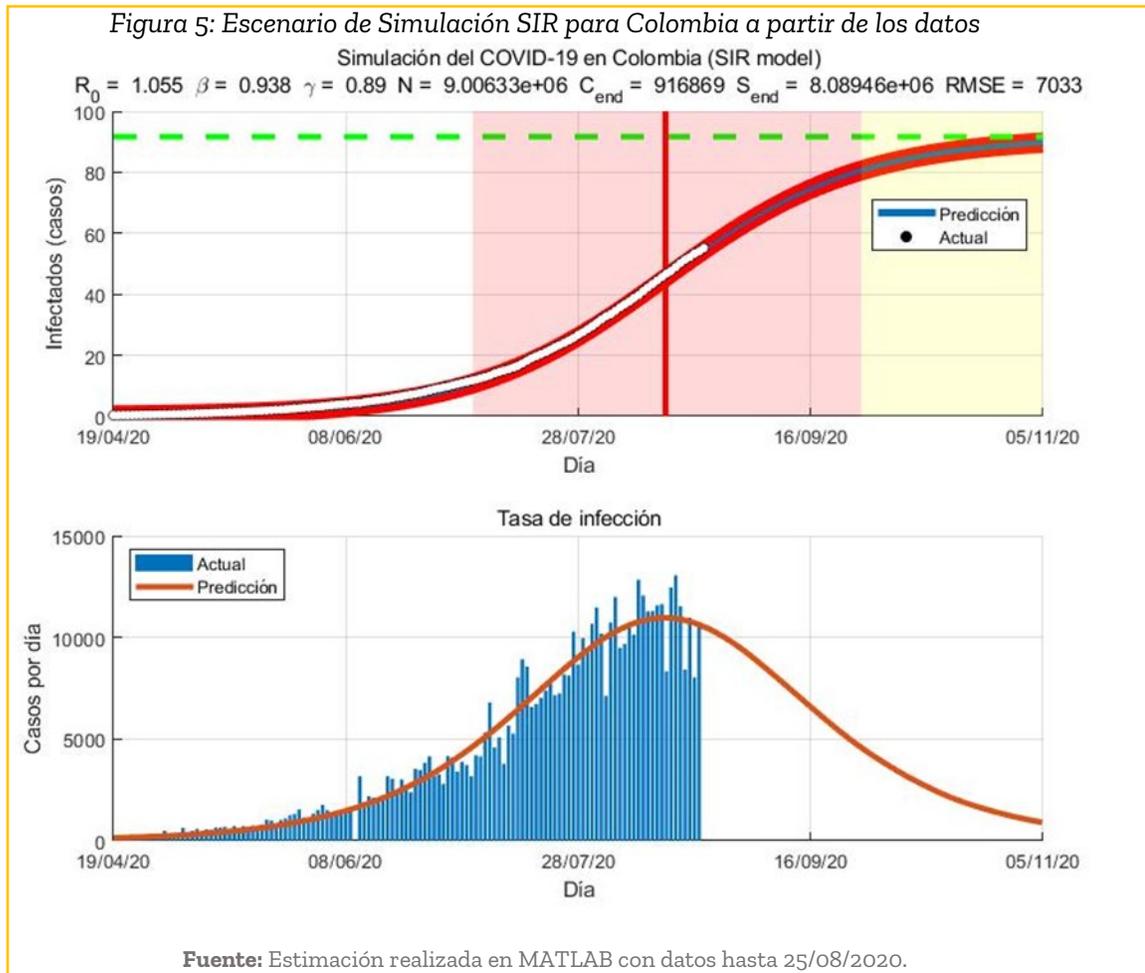
De esta manera se implementa el modelo epidémico susceptible-infectado-recuperado (SIR) para la estimación de la evaluación de la epidemia. Se supone que el modelo es una descripción razonable de la epidemia de una etapa. En particular, el modelo supone una población constante, una mezcla uniforme de las personas y una recuperación igualmente probable de infectados. El modelo está basado en datos, por lo que su pronóstico es tan bueno como los datos. El pronóstico cambia con datos nuevos o modificados.

Los parámetros del modelo se obtienen minimizando la función objetivo, que es la suma de cuadrados para residuos de valores y la suma de cuadrados para diferencias de residuos de valores. Los pesos de los sumandos se seleccionan automáticamente. Teniendo en cuenta los datos presentados en la figura 5, el rango de valores del RO del trabajo de Liu et al. (2020) y la población de Colombia según el DANE, se presenta para el análisis una versión simple del modelo epidemiológico SIR para el COVID-19 en Colombia.

INFORME ESPECIAL

ANÁLISIS DE COYUNTURA

■ ■ ■



Se evidencia de la figura 5 que se puede llegar a los 900.000 casos confirmados de COVID-19 en el país para el 05/11/2020, proyección basada en los datos, donde los puntos blancos son los casos confirmados en todo el territorio nacional hasta al 25/08/2020, mientras que la curva azul en medio de las dos rojas (intervalos) es la predicción de los casos COVID-19. Adicionalmente, la figura 5 se divide en franjas de colores: la roja muestra, según el modelo SIR a partir de los datos, un periodo de un nivel alto de contagio. Es importante destacar, que han existido problemas técnicos por parte de la INS que posiblemente involucren subregistros o rezagos de la información de casos en el país, sumado al fenómeno que muchas personas son asintomáticas lo que hace que el modelo sea un poco limitado, no obstante, como es a partir de la información disponible permite vislumbrar el probable comportamiento que se

presente en el país en los próximos días. Pero, en resumen, según la proyección de los datos, estamos pasando el anunciado pico en el país.

III.B. Segundo enfoque: Estimación del número de reproducción efectivo

De Petrova et al. (2020) presentan un enfoque para estimar el número de reproducción efectiva y su aplicación para el brote de COVID-19. Usan un método basado en ajustar el modelo SIR a los datos reales que permite mostrar la dinámica en tiempo real del número de reproducción en cualquier fase de la pandemia. El cálculo de este parámetro se lo realiza desde que el país presenta al menos 1000 infectados reportados. Los autores publicaron los códigos en Python en la plataforma de Github, los cuales se usan (con ciertos cambios) para realizar el análisis para Colombia y ciertos países de la región.

El modelo SIR muestra cómo una enfermedad se propaga a través de una población. Es un acrónimo de Susceptible, Infectado y Recuperado, realizado por Kermack & Mckendrick (1927). Se incluyen las siguientes ecuaciones, similares a la presentadas anteriormente:

$$N = S + I + R \text{ Ecuación de la población}$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} = -\beta SI \text{ Ecuación de susceptibles}$$

$$\frac{\partial I}{\partial t} = \beta SI - \gamma I \text{ Ecuación de infectados}$$

$$\frac{\partial R}{\partial t} = \gamma I \text{ Ecuación de recuperados}$$

Donde:

N es el tamaño total de la población

β es la tasa de contacto promedio en la población.

γ es el inverso del período infeccioso medio ($1 / t_{\text{infeccioso}}$).

INFORME ESPECIAL

ANÁLISIS DE COYUNTURA

■■■

Los parámetros que se utilizan son; la tasa de contacto promedio en la población (β) y el inverso del periodo infeccioso medio (γ). Con la división de los dos parámetros, se calcula el $R_0 \cdot (\frac{\beta}{\gamma})$

Datos

Los datos diarios de casos confirmados, recuperados y fallecidos provienen del *Center for Systems Science and Engineering* (CSSE) de la Universidad Johns Hopkins, y se obtiene el promedio móvil de 3 días para suavizar la serie. Los datos de movilidad de Apple corresponden a la media de los valores de "driving", "walking" y "transit", que se generan contando el número de solicitudes realizadas a Apple Maps para obtener indicaciones de ruta hacia un lugar.

Ajuste del modelo

La optimización del modelo se la realiza con respecto a los parámetros β y γ , y se ajusta a los datos que permite encontrar los parámetros que corresponden al brote real. El parámetro β se establece mediante optimización, sin embargo, el parámetro γ corresponde a estudios médicos. El estudio original utiliza los periodos de recuperación según las publicaciones de la OMS⁴; el tiempo medio desde el inicio hasta la recuperación clínica para los casos leves de COVID-19 es de aproximadamente 2 semanas y de 3 a 6 semanas para los pacientes graves o críticos. Entre los pacientes que han fallecido, el tiempo desde el inicio de los síntomas hasta el fallecimiento varía de 2 a 8 semanas. Finalmente, se utiliza un tiempo medio de recuperación de 30 días, es decir, que el parámetro $\gamma = 1/30$.

La tasa de contacto promedio β se la calcula a partir de la función ψ , donde V_t representa el número real de casos diarios infectados I_t^2 representa nuevos casos diarios infectados según estimado por el modelo SIR.

⁴ Se está revisando los tiempos promedios de recuperación de otras fuentes y de los datos del Instituto Nacional de Colombia.

$$\beta^* = \operatorname{argmin}_{\beta} \sum_{t=t_0}^{t_0+n} (V_t - I_t)^2 \quad (5)$$

Se utiliza el método de Powell (método de dirección conjugada de Powell) para encontrar el valor mínimo de la optimización del parámetro β , utilizando una ventana de 7 días.

Resultados para Colombia

En la figura 6, se muestra el cálculo del R_t diario desde que se reportaron más de 1000 casos en Colombia (02/04/2020). También, se presenta los casos diarios de contagio por cada millón de habitantes. Desde el 29 de julio, Colombia presenta un R_t menor a 1 que puede indicar una menor velocidad de transmisión de la enfermedad. En la figura 7, se incorpora el R_t junto al promedio de los datos de movilidad de Apple. Además, se denota que, con cierto retraso, el número de reproducción efectivo comienza a caer cerca de uno. Finalmente, en la figura 8, se muestra la evolución de los casos por millón de habitantes y R_t de algunos países de Latinoamérica, Europa, Asia y Estados Unidos.

Figura 6: Casos diarios y número de reproducción efectivo.

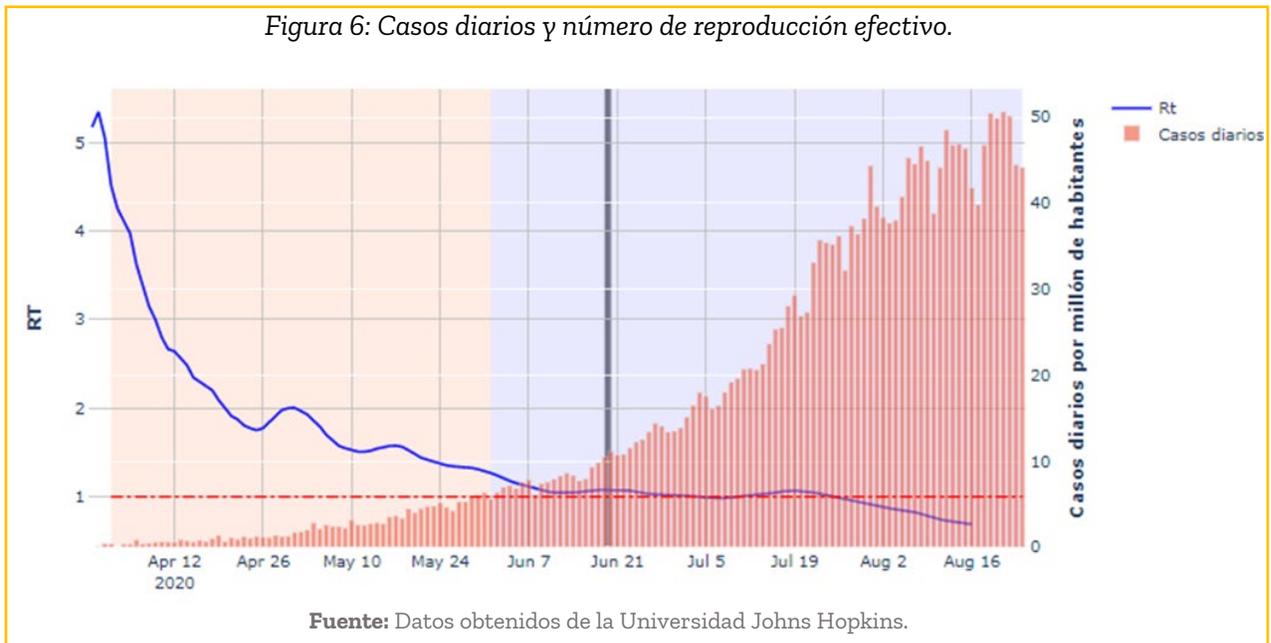
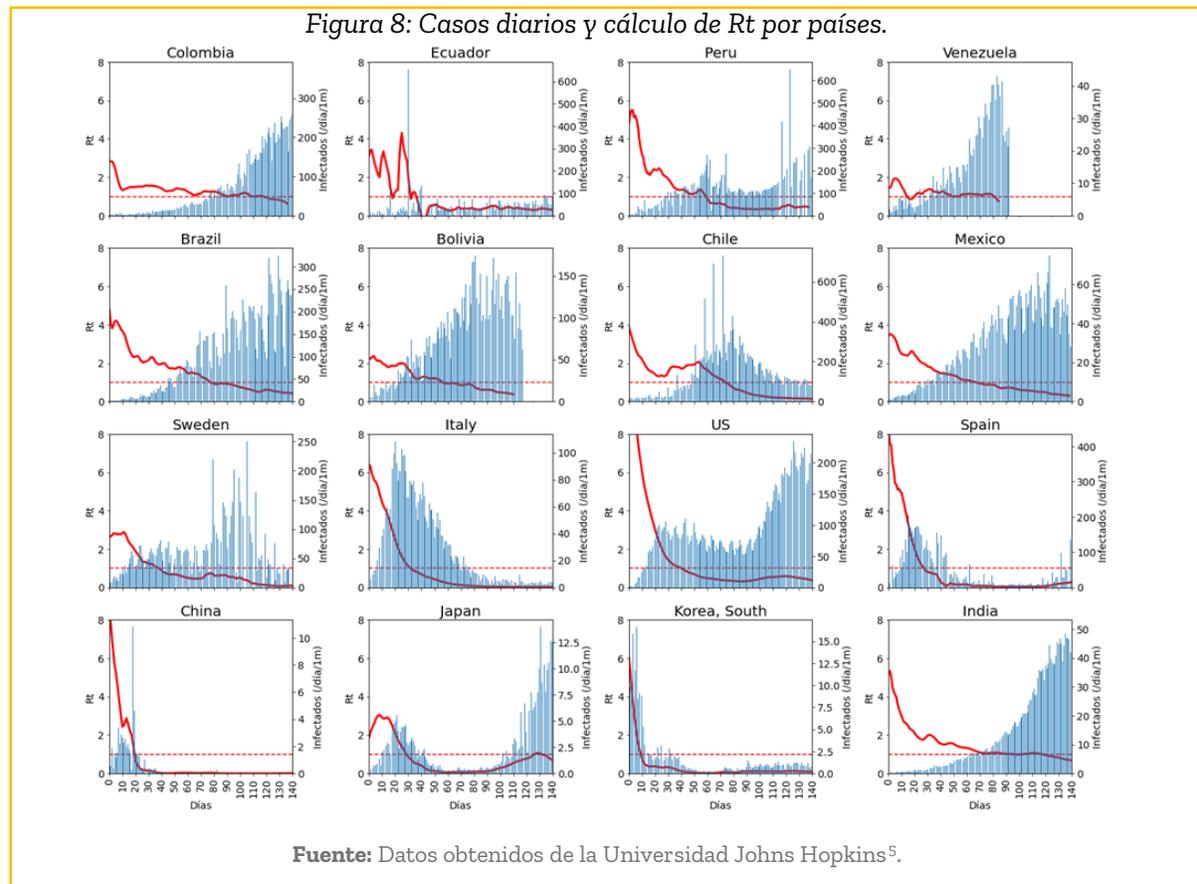


Figura 7: Casos diarios y movilidad de Apple



Fuente: Datos obtenidos de la Universidad Johns Hopkins.

Figura 8: Casos diarios y cálculo de Rt por países.



Fuente: Datos obtenidos de la Universidad Johns Hopkins⁵.

⁵ Nota: Los datos de Ecuador pueden presentar subregistros dificultando el análisis de la evolución de la enfermedad.

IV. Conclusiones

Los enfoques presentados se basan en el modelo epidemiológico SIR que tiene supuestos que no se ajustan totalmente a la enfermedad del Covid-19, como el supuesto de la homogeneidad de la población. Sin embargo, el seguimiento de los datos y sus análisis a través de modelos nos permiten tener una visión más amplia a la pandemia que estamos viviendo. Citando las palabras de George Box "los modelos, por supuesto, nunca son ciertos, pero afortunadamente solo es necesario que sean útiles. Para ello, normalmente es necesario que no se equivoquen gravemente". No se ha encontrado un indicio claro sobre el aplanamiento de la curva de contagios en el país, aún queda camino por recorrer. Este es el momento donde mayor cuidado se debe tener.

Referencias

Anderson, R. M., Heesterbeek, H., Klinkenberg, D., & Hollingsworth, T. D. (2020). How will country-based mitigation measures influence the course of the COVID-19 epidemic? En *The Lancet* (Vol. 395, Número 10228, pp. 931-934). Lancet Publishing Group. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30567-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30567-5)

Aronson, J. K., Brassey, J., & Mahtani, K. R. (2020). «When will it be over?»: An introduction to viral reproduction numbers, R_0 and R_e . www.cebm.net/oxford-covid-19/

Atkeson, A. (2020). What Will Be the Economic Impact of COVID-19 in the US? Rough Estimates of Disease Scenarios. En *NBER Working Paper Series* (Número 595, p. 25). <https://doi.org/10.3386/w26867>

Bastida, M. (2020). Estimation of the final size of the coronavirus epidemic by the SIR model.

Eichenbaum, M., Rebelo, S., & Trabandt, M. (2020). The Macroeconomics of Epidemics. National Bureau of Economic Research. <https://doi.org/10.3386/w26882>

INFORME ESPECIAL

ANÁLISIS DE COYUNTURA

■ ■ ■

Fellows, I. E., Slayton, R. B., & Hakim, A. J. (2020). The COVID-19 Pandemic, Community Mobility and the Effectiveness of Non-pharmaceutical Interventions: The United States of America, February to May 2020. <http://arxiv.org/abs/2007.12644>

Fornaro, L., & Wolf, M. (2020). Covid-19 Coronavirus and Macroeconomic Policy: Some Analytical Notes.

Glaeser, E. L., Gorbach, C. S., & Redding, S. J. (2020). How much does COVID-19 increase with mobility? Evidence from NEW YORK and four other U.S. cities. NBER Working Paper Series, 53(9), 1689-1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Godio, A., Pace, F., & Vergnano, A. (2020). Seir modeling of the italian epidemic of sars-cov-2 using computational swarm intelligence. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(10). <https://doi.org/10.3390/ijerph17103535>

Kermack, W. O., & Mckendrick, A. G. (1927). A contribution to the mathematical theory of epidemics. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical and Physical Character*, 115(772), 700-721. <https://doi.org/10.1098/rspa.1927.0118>

McKibbin, W. J., & Fernando, R. (2020). The Global Macroeconomic Impacts of COVID-19: Seven Scenarios. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3547729>

Meltzer, M. I., Cox, N. J., & Fukuda, K. (1999). The economic impact of pandemic influenza in the United States: Priorities for intervention. *Emerging Infectious Diseases*, 5(5), 659-671. <https://doi.org/10.3201/eid0505.990507>

Nouvellet, P., Bhatia, S., & Cori, A. (2020). Report 26: Reduction in Mobility and COVID-19 Transmission. Imperial College London, June, 1-94. <https://doi.org/10.25561/79643>

INFORME ESPECIAL
ANÁLISIS DE COYUNTURA
■■■

Petrova, T., Soshnikov, D., & Grunin, A. (2020). Estimation of Time-Dependent Reproduction Number for Global COVID-19 Outbreak. June, 7-12. <https://doi.org/10.20944/PREPRINTS202006.0289.V1>

Wang, H., Wang, Z., Dong, Y., Chang, R., Xu, C., Yu, X., Zhang, S., Tsamlag, L., Shang, M., Huang, J., Wang, Y., Xu, G., Shen, T., Zhang, X., & Cai, Y. (2020). Phase-adjusted estimation of the number of Coronavirus Disease 2019 cases in Wuhan, China. *Cell Discovery*, 6(1), 1-8. <https://doi.org/10.1038/s41421-020-0148-0>

Yu, K. D. S., & Aviso, K. B. (2020). Modelling the Economic Impact and Ripple Effects of Disease Outbreaks. *Process Integration and Optimization for Sustainability*, 4(2), 183-186. <https://doi.org/10.1007/s41660-020-00113-y>

Zhou, G., Chen, S., & Chen, Z. (2020). Back to the spring of 2020: facts and hope of COVID-19 outbreak. En *Frontiers of Medicine* (Vol. 14, Número 2, pp. 113-116). Higher Education Press. <https://doi.org/10.1007/s11684-020-0758-9>