

Análisis de los factores asociados al crecimiento exponencial de los casos diarios de Covid-19 durante la primera ola epidemiológica en Brasil

Analysis of factors associated to the exponential growth of daily covid-19 cases during the first epidemiological wave in Brazil

Anthony Sebastián Bustos-Espinosa^{a*}, Eduardo Ibagüen-Mondragón^b, Sandra Patricia Hidalgo-Bonilla^c

^{a*}Lic. en Matemáticas, sbustos760@udenar.edu.co, <https://orcid.org/0000-0001-8326-3161>,
Grupo de Investigación en Biología Matemática y Matemática Aplicada (GIBIMMA), Universidad de Nariño, Pasto-Colombia

^bDr. en Ciencias, edbargun@udenar.edu.co, <https://orcid.org/0000-0001-6308-1344>,
Grupo de Investigación en Biología Matemática y Matemática Aplicada (GIBIMMA), Universidad de Nariño, Pasto-Colombia

^cDr. en Ciencias, sahidalgo@yachaytech.edu.ec, <https://orcid.org/0000-0001-8905-8716>,
Escuela de Ciencias Químicas e Ingeniería. Universidad de Investigación de Tecnología Experimental Yachay. Ecuador, Ibarra-Ecuador

Forma de citar: Bustos Espinosa, A. S., Ibagüen Mondragón, E., & Hidalgo Bonilla, S. P. . (2021). Análisis de los factores asociados al crecimiento exponencial de los casos diarios de Covid-19 durante la primera ola epidemiológica en Brasil. *Eco Matemático*, 12 (2), 87-99

Recibido: 11/04/2021

Aceptado: 17/5/2021

Palabras clave

Modelo de Malthus;
ola epidemiológica;
crecimiento exponencial;
tasa de crecimiento;
periodos.

Resumen: Brasil es el tercer país con más casos reportados por Covid-19, y ocupa el segundo lugar en muertes a causa de esta enfermedad en el mundo. Factores determinantes en la dinámica de transmisión y propagación del virus en Brasil han sido los periodos de crecimiento exponencial de contagios diarios. Este trabajo se enfoca en estimar dichos periodos durante la primera ola epidemiológica de los casos reportados diariamente en Brasil, y analizar sus factores asociados, mediante métodos determinísticos y estadísticos, con la ayuda de Excel y Statgraphics. Los resultados indican que la primera ola epidemiológica tuvo una duración de 252 días, en los que se identifican 6 periodos de crecimiento exponencial que no superan los 6 días. Las tasas de contagio más alta y más baja fueron $k_1=0,3658$ y $k_2=0,1768$, con rangos de cuatro y cinco días, respectivamente. Los principales factores que influyeron en la propagación exponencial son el cumplimiento irregular del aislamiento social, manifestaciones sociales en contra y a favor del gobierno en turno, la falta de restricción a la circulación vehicular durante días festivos, noticias falsas y sugerencia de curas milagrosas.

*Autor para correspondencia: sbustos760@udenar.edu.co

Keywords

Malthus model;
epidemiological wave;
exponential growth;
growth rate; periods.

Abstract: Brazil is characterized by being one of the countries with the most confirmed cases of Covid-19 in the world. Therefore, studying periods of exponential growth is important since one of the characteristics that has most affected the dynamics of the Covid-19 pandemic is the exponential growth of daily infections. This work focuses on estimating these periods during the first epidemiological wave of cases reported daily in Brazil, and analyze their associated factors, using deterministic and statistical methods, with the help of Excel and Statgraphics. The existence of 6 periods of exponential growth, of which the smallest period has a range of 4 days, while the biggest has a range of 6 days. The highest and lowest infection rates were $k_1=0,3658$ and $k_2=0,1768$, respectively, with ranges of 4 and 5 days. The main factors that influenced the exponential spread were: irregular compliance with social isolation; social protests defending and against the government in turn; the lack of restriction on vehicular traffic on public holidays; and also, fake news and promises of miracle cures.

Introducción

El brote en curso por la enfermedad Covid-19, ha generado más de 182 millones de casos confirmados y ha cobrado más de 3.9 millones de vidas, desde su descubrimiento a finales del año 2019. Su rápida propagación ha generado colapsos en los sistemas de salud de algunos países y como consecuencia muchos pacientes no pueden ser tratados. El número de muertes y de contagiados exceden en gran medida a los otros dos coronavirus (coronavirus del síndrome respiratorio agudo severo y el Coronavirus del Síndrome Respiratorio del Medio Oriente). A pesar de que ya paso más de un año desde la aparición del nuevo coronavirus, todavía se registran casos diarios, lo que plantea una enorme amenaza para la salud pública mundial y la economía (Zhao, y otros, 2020).

La preparación ante estas amenazas víricas resultó ser insuficiente, y evidenció la desventaja en la que la humanidad se encuentra ante pandemias como la generada por el SARS-COV-2. Al ser un virus aparentemente nuevo, se logró en un tiempo record el desarrollo de diferentes vacunas con gran porcentaje de efectividad, las cuales están siendo utilizadas para inmunizar a la población mundial lo más pronto posible; sin embargo, debido a que las farmacéuticas se encuentran en la fase inicial de producción de las vacunas, el proceso de inmunización es lento. Lo anterior conllevó a

que, en el tiempo de espera la gran mayoría de los países optara por diferentes tipos de confinamiento, y estrategias que permitieran controlar el brote, no obstante, en algunos países esto no frenó en su totalidad la tasa de contagios diarios por Covid-19 en su primera ola epidemiológica.

En un planeta globalizado los agentes virales tienen la capacidad de moverse rápidamente de una región a otra en muy poco tiempo. En este sentido el aumento de la población, la creciente urbanización, el intercambio de personas y recursos aumentan el riesgo de propagación del SARS-COV-2 (Arbeláez-Campillo, Andreyevna, & Rojas-Bahamón, 2019). Aunque, la tasa de importación es relativamente baja comparada con la tasa de propagación comunitaria. No obstante, entre mayor sea cualquiera de estas tasas de propagación más rápido se desarrolla el crecimiento exponencial (Acuña, Comas, Hernandez, Santana, & Velasco, 2020; Pueyo, 2020).

Según (Zhao, y otros, 2020) los datos de brotes tempranos por Covid-19 siguieron en gran medida el crecimiento exponencial. Además, en (Pueyo, 2020) se verifica que si no se toman medidas estrictas de mitigación el brote se desarrollará exponencialmente. Además, los resultados presentados en (Ibargüen-Mondragón, Vergel-Ortega, & Gomez-Vergel, 2020) sugieren que la Covid-19 se ha extendido por todo el mundo y su incidencia sigue creciendo a un ritmo

exponencial. Sin embargo, los factores asociados todavía no han sido establecidos

La transmisión del SARS-CoV-2 se ve agravada por el largo tiempo medio de incubación de aproximadamente 5-6 días (que varía de 0 a 24 días), y porque las personas sin síntomas, presintomáticas o con síntomas leves pueden transmitir la enfermedad (Aquino, y otros, 2020; Hellwell, y otros, 2020). Esto representa uno de los mayores inconvenientes para la identificación de posibles casos diarios confirmados. Por otra parte, en Brasil, gran parte de las infecciones sintomáticas por SARS-CoV-2 no se están diagnosticando a su debido tiempo (Aquino, y otros, 2020). Por lo tanto, se presentan sesgos en el rastreo de casos y el trabajo se limita a estudiar los casos reportados diariamente.

El primer caso confirmado por Covid-19 en América Latina se registró en Brasil el 25 de febrero de 2020 en São Paulo en un hombre de 61 años con viaje reciente a Italia (Aquino, y otros, 2020). Al finalizar el año 2020 el país presentó un total de 7.675.973 casos confirmados por Covid-19. Además, todas las metrópolis en Brasil mostraron un crecimiento exponencial en el número de casos. La tasa de transmisión fue mayor en Fortaleza y Manaus. Los resultados confirman la rápida propagación del virus y su alta mortalidad en el país (Sousa, y otros, 2020).

Dado que este es un proyecto de investigación formativa, el alcance se reduce a determinar los periodos de crecimiento exponencial de contagios y el análisis de los factores asociados a estos periodos. En ningún momento, se pretende realizar predicciones sobre la pandemia. Cabe resaltar que, aunque el proyecto se realiza con datos obtenidos de fuentes oficiales, estos presentan sesgos en cuanto a los hechos reales durante la primera ola epidemiológica. En este sentido la veracidad de los resultados que se obtengan y su aproximación con la realidad durante la pandemia dependen de factores

ajenos al modelado matemático, que podrían ser abordados en futuras investigaciones.

La modelización matemática ha contribuido significativamente a la solución de problemas reales, y a partir de ellos se han generado teorías que posteriormente se han aplicado a diversas áreas del conocimiento (Ibarguen-Mondragon, Vergel-Ortega, & Gomez-Vergel, 2020). De hecho, existen diversos trabajos que estudian la curva de contagios por Covid-19 basados en el ajuste de modelos predictivos de crecimiento poblacional del tipo logístico o exponencial; sin embargo, la mayoría se enfoca en determinar el modelo que mejor describa la curva de contagios totales (Medina-Mendieta, Cortés-Cortés, & Cortés-Iglesias, 2020; Obando, Peña, Obando, & Montenegro, 2020).

Se ha verificado que, dentro de la dinámica de transmisión del Covid-19 la fase de crecimiento exponencial es determinante para conocer la velocidad de propagación del virus (Acuña, Comas, Hernandez, Santana, & Velasco, 2020). Por lo tanto, en este trabajo se utiliza el modelo de Malthus para determinar y analizar los periodos de crecimiento exponencial de los casos reportados diariamente por Covid-19 en Brasil. En el cual la estimación de los parámetros se realiza ajustando el modelo a los datos de la epidemia mediante el enfoque estándar de mínimos cuadrados no lineales (Obando, Peña, Obando, & Montenegro, 2020).

Materiales y métodos

Para llevar a cabo este estudio se utilizarán datos disponibles en el sitio web de la universidad Johns Hopkins (la cual sigue en tiempo real la pandemia), la página oficial de la OMS, entre otras. Los datos disponibles en las páginas mencionadas anteriormente se descargan en archivos de formato Excel, con el propósito de crear una base de datos sobre los casos de contagio confirmados diariamente en Brasil.

Luego, en Excel se crean gráficas de dispersión con líneas suavizadas y marcadores, con el fin de evidenciar empíricamente periodos de crecimiento durante la ola epidemiológica, con rangos mayores o iguales a cuatro días, que puedan ser, o no exponenciales. De esta manera se identifican los posibles periodos de crecimiento exponencial, con su respectiva ecuación (donde incluye su tasa de crecimiento) y coeficiente de determinación (R^2).

En (Ibarquien-Mondragon, Vergel-Ortega, & Gomez-Vergel, 2020) se demuestra que la propagación de la Covid-19 puede tener un crecimiento exponencial respecto a los casos diarios. Donde se utiliza la teoría de Malthus para estimar la tasa de crecimiento de nuevos casos diarios de infección por la Covid-19. De manera similar en este trabajo se aplica el modelo de Malthus y regresiones para estimar las tasas y períodos de crecimiento exponencial de nuevos casos reportados diariamente en la primera ola epidemiológica de la Covid-19 en Brasil.

Para lograr esto, primero se supone que $N(t)$ es el tamaño de una población contagiada por Covid-19 en el tiempo t , y que la variación instantánea de la población con respecto al tiempo es proporcional a la población actual. De esta manera se obtiene la ecuación diferencial (1) conocida como el modelo del crecimiento exponencial (modelo de Malthus)

$$dN(t)/dt = kN(t), \quad (1)$$

donde k es la tasa intrínseca de crecimiento de contagios. Suponiendo que en el tiempo inicial la población es N_0 , se obtiene la siguiente condición inicial

$$N(t_0) = N_0, \quad (2)$$

la solución del problema de valor inicial definido por (1) y (2) está dada por

$$N(t) = N_0 e^{kt}. \quad (3)$$

Para la obtención de los parámetros solo se aplica logaritmo natural en ambos lados de la ecuación (3) y se llega a la relación lineal entre $\ln N(t)$ y t dada por

$$\ln N(t) = \ln N_0 + kt \quad (4)$$

$$\ln N(t) = \ln N_0 + kt. \quad (5)$$

De esta forma la ecuación (5) es útil para determinar los parámetros k y N_0 a partir de una colección de datos.

Para la estimación de los parámetros se ajustan los datos de la pandemia al modelo exponencial mediante el enfoque estándar de mínimos cuadrados no lineales (Obando, Peña, Obando, & Montenegro, 2020). De esta manera se logra linealizar la ecuación (3) quedando como resultado la ecuación (5), la cual tiene la forma $Y = b + aX$. Donde los valores de t corresponden a la variable independiente X , $\ln N(t)$ a la variable dependiente Y , y k a la pendiente a .

El modelo será validado siempre y cuando el coeficiente de determinación (R^2) sea superior a 0,8. Adicionalmente, en un modelo de regresión lineal, los residuos deben tener una distribución normal, además no debe haber indicación de una autocorrelación (Walpole, Myers, Myers, & Ye, 2002). Por lo tanto, para validar el modelo exponencial se hará uso de ANOVA, la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov, y el estadístico de Durbin-Watson, los cuales permiten determinar si el modelo exponencial es el adecuado.

En resumen, solo se analizan los modelos de crecimiento exponencial que cumplan las siguientes condiciones: $0,8 \leq R^2 \leq 1$; una relación estadísticamente significativa entre Y y X ; un valor-P brindado por la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov (S) mayor a 0,05; un valor-P

brindado por el estadístico de Durbin-Watson mayor (D) a 0,05.

La obtención de datos tiene que ser verídica y por suerte esta es la primera epidemia (pandemia) seguida en tiempo real en todo el mundo, gracias al desarrollo actual de las TIC. Para el 22 de enero, Johns Hopkins University de Estados Unidos a través del Coronavirus Resource Center, implementa el mapa mundial como GIS On-line para el seguimiento espacio-temporal de los casos activos, revertidos y muertos por Covid-19. En el cual, mediante el uso de los recursos multimedia y el ciberespacio logra desarrollarse, y de esta manera brindar la posibilidad de seguir la evolución espacio-temporal de la Covid-19 a partir de datos actualizados dos veces por día (Gustavo, 2020).

El sitio web especializado de la Universidad John Hopkins cuenta con la participación activa de múltiples agencias internacionales entre las cuales destaca la Sociedad Internacional para Enfermedades Infecciosas, y un equipo experto en enfermedades infecciosas, quienes revisan cada reporte, para posteriormente actualizar la plataforma. De esta manera, para este trabajo se seguirá la marcha de la pandemia a nivel global a través del GIS On-line de la Johns Hopkins University. (Gustavo, 2020)

Resultados y análisis

La Figura 1 muestra los casos registrados en el país durante la primera ola Epidemiológica entre el 26 de febrero de 2020 y el 4 de noviembre de 2020. Además, en ella se puede observar lo 6 periodos de crecimiento exponencial de los casos reportados diariamente en Brasil.

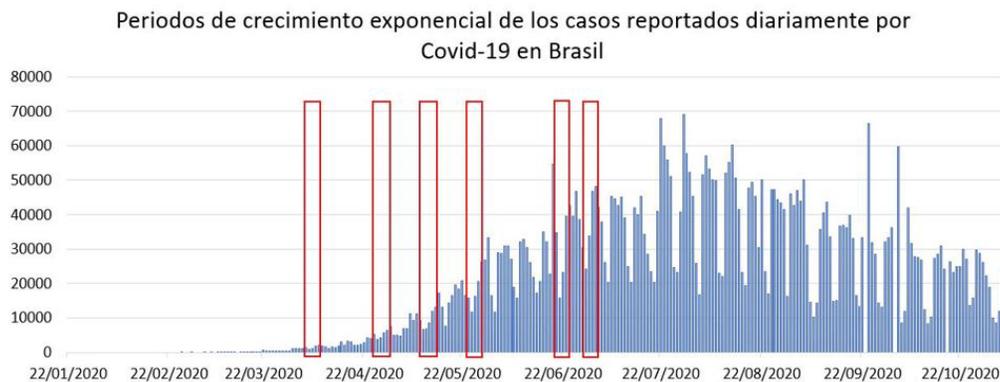


Figura 1. Los periodos de crecimiento exponencial se encuentran indicados en los rectángulos rojos

Formato: Autores

El 7 de febrero de 2020, se pone en vigencia la Ley N ° 13.979 / 2020, la cual prevé medidas para combatir el Covid-19 en el país; sin embargo, el presidente Jair Bolsonaro ha minimizado su importancia, siendo uno de los pocos líderes mundiales que se negaron a reconocer la amenaza que representa la Covid-19 (Aquino, y otros, 2020). Esto conllevó, pese a las restricciones sanitarias que, el 15 de marzo de 2020 miles de simpatizantes del mandatario brasileño salieran a las calles de las principales ciudades para expresar respaldo a su Administración y, a su vez, su descontento con el Congreso (France 24, 2020).

Para el 19 de marzo de 2020 Brasil cierra casi toda la frontera terrestre, pero mantiene la entrada por aeropuertos, es decir que cierra todas las fronteras que se conecta con los países sudamericanos vecinos, pero permite la entrada de extranjeros en los aeropuertos a través de vuelos internacionales (BBC News , 2020). Los perfiles de los viajeros difieren en términos de origen y destino, lo que puede influir directamente

en la ocurrencia de epidemias y pandemias, a menudo de magnitud y gravedad inesperadas como Covid-19 (Sousa, y otros, 2020).

En el mes de marzo de 2020 el presidente de Brasil, Jair Bolsonaro, insiste en que la crisis del coronavirus es solo histeria, además cuestiona la cifra de muertos por Covid-19 y hace campaña contra la cuarentena (EL PAÍS, 2020; France 24, 2020). Esto sugiere que, las manifestaciones y la indiferencia del presidente brasilero ante la pandemia de Covid-19, generó un relajo en las medidas de distanciamiento y por ende los casos diarios por Covid-19 se dispararon hasta el punto de presentar el primer periodo de crecimiento exponencial.

La Figura 2 se muestra el primer periodo de crecimiento entre el 5 y el 8 de abril de 2020. Donde los datos se ajustan a la regresión exponencial $y_i = \exp(-20,4206 + 0,3658x_i)$ con un coeficiente de determinación $R^2=0,9487$. En consecuencia, la tasa de crecimiento es $k_i=0,3658$, lo que significa que, de cada 1000 personas en contacto con el virus, aproximadamente 360 resultaron contagiadas.

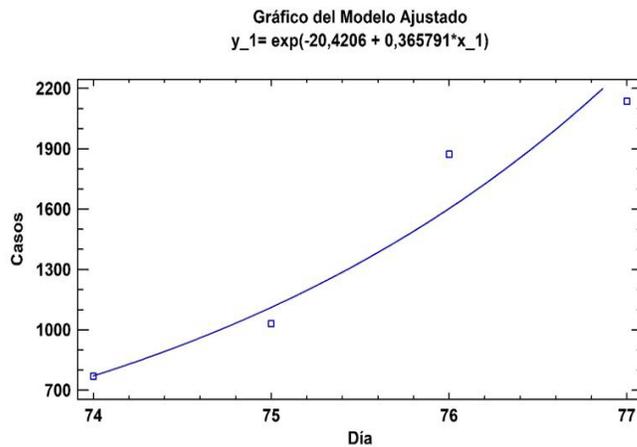


Figura 2. Primer periodo de crecimiento exponencial del día 74 (5/04/2020) al día 77 (8/04/2020)

Fuente: Autores

Tabla I. Estadísticos del primer modelo de crecimiento exponencial

ANOVA (VALOR-P)	D (VALOR-P)	S (VALOR-P)	TOTAL DE CASOS EN EL PERIODO
P=0,0260	P=0,8069	P=0,9506	5.810

Fuente: Autores

Además, en el mes de abril se desató un conflicto político entre el presidente y el entonces ministro de Salud, Luiz Henrique Mandetta, quien venía defendiendo las medidas preconizadas por la OMS. En este escenario político, en el que a la crisis de salud se suma una grave crisis política, la implementación de medidas de control, ha sido asegurada por gobernadores y alcaldes (y en ocasiones por el Poder Judicial), especialmente en los estados más afectados (Aquino, y otros, 2020).

La Universidad Federal de Minas Gerais y la Universidad de Sao Paulo realizaron una investigación conjunta que analizó 2.108 audios que circularon entre el 24 y el 28 de marzo, en 522 grupos de WhatsApp,

con la participación de más de 18 mil usuarios activos (BBC News, 2020). En este sentido resulta imposible ignorar el hecho de que miles de personas se infectaron por culpa de la desinformación, y por optar tratamiento que no aseguraban efectividad contra la Covid-19.

Adicionalmente, durante el período de vacaciones, del 5 al 11 de abril, muchas personas viajaron al interior del estado y a la costa. Además, en el mes de abril hubo tres días festivos consecutivos: Pascua, Tiradentes (conmemoración del héroe nacional el 21 de abril) y 1 de mayo. En los que se debió haber más bloqueos y restricciones en las carreteras para restringir el movimiento de las personas (BBC News, 2020).

Por otra parte, indicadores disponibles en Google (Google, 2021), sugieren que viajes a parques, participación en actividades comerciales y recreativas, y la circulación en las estaciones de transporte se redujeron en un 70, 71 y 64%, respectivamente. Sin embargo, como evidencia

la encuesta de Datafolha, una parte importante de la población no puede dejar de trabajar o realizar labores en casa y, en este sentido, la reducción de la movilidad fue del 34% (Aquino, y otros, 2020).

Los factores mencionados con anterioridad pueden ser asociados tanto con el periodo de crecimiento exponencial anterior, como los que se muestran en las Figura 3 y 4.

Entonces, el segundo periodo de crecimiento exponencial se registra entre 26 y 30 de marzo de 2020. Los datos se ajustan a la regresión exponencial $y_2 = \exp(-8,5536 + 0,1768x_2)$ con un $R^2=0,9778$. Por lo tanto, se puede deducir que la tasa de crecimiento exponencial es $k_2 = 0,1768$, es decir que de cada 1000 personas en contacto con el virus, alrededor de 176 contrajeron la enfermedad.

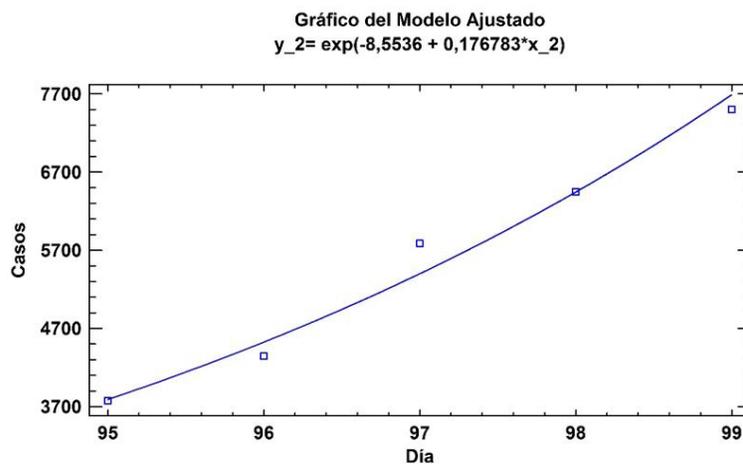


Figura 3. Segundo periodo de crecimiento exponencial del día 95 (26/04/2020) al día 99 (30/04/2020)

Fuente: Autores

Tabla II. Estadísticos del segundo modelo de crecimiento exponencial

ANOVA (VALOR-P)	D (VALOR-P)	S (VALOR-P)	TOTAL DE CASOS EN EL PERIODO
P=0,0014	P=0,5477	P=0,7789	27.863

Fuente: Autores

10 días después se presenta un nuevo periodo de crecimiento exponencial entre 10 y 15 de junio de 2020. En la regresión exponencial $y_3 = \exp(-12,9931 + 0,1992x_3)$ los datos se ajustan con un $R^2 = 0,9670$. Lo que realmente resulta impactante de este periodo es la cantidad de infectados, ya que con una tasa de crecimiento exponencial $k_3 = 0,1992$, de cada 10.000 personas en contacto con el virus, aproximadamente 1.992 personas resultaron contagiadas. Cabe resaltar que de aquí en adelante las tasas de crecimiento exponencial aumentan, y en cada periodo los contagios diarios superan los 6.000 casos diarios.

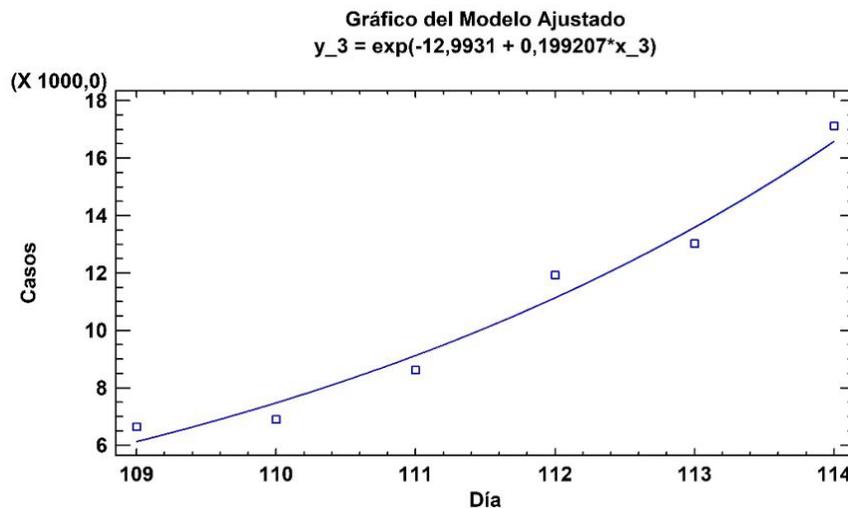


Figura 4. Tercer periodo de crecimiento exponencial del día 109 (10/05/2020) al día 114 (15/05/2020)

Tabla III. Estadísticos del tercer modelo de crecimiento exponencial

ANOVA (VALOR-P)	D (VALOR-P)	S (VALOR-P)	TOTAL DE CASOS EN EL PERIODO
P=0,0004	P=0,5446	P=0,6638	64.230

Fuente: Autores

El 6 de mayo, se autorizó la apertura de centros comerciales, tiendas, áreas de ocio y de deporte, bares y restaurantes, y reabrieron con aglomeraciones en la capital, donde viven 6,7 millones de personas, al igual que las iglesias (EL PAÍS, 2020).

Para el 19 de mayo de 2020 en Brasil contabilizaron más diagnósticos positivos que los registrados en Reino Unido hasta esa fecha. El 23 de mayo vuelve a ubicarse tercero en la lista de países más afectados (France 24, 2020). Además, para el mes de mayo de 2020 en Brasil se presentan cerca de 5.000 indígenas venezolanos desplazados. Justamente cuando la Covid-19 está azotando fuertemente la región amazónica y que Brasil está emergiendo como uno de los epicentros de la pandemia (Reliefweb, 2020). Aunque no es el

único factor que haya podido influir en los anteriores periodos, no se puede negar que la probabilidad de los contagios aumenta en las comunidades menos favorecidas.

Según Medronho, la tasa de contagio viene descendiendo a lo largo del tiempo y las medidas de aislamiento social han sido fundamentales para reducir el número de casos, y asegura que no era el momento de abrir. Además, el epidemiólogo considera que Río de Janeiro todavía padece la falta de aplicación de test y la transparencia en los datos (EL PAÍS, 2020).

Las afirmaciones del epidemiólogo resultaron no estar equivocadas, ya que entre el 25 y el 28 de mayo de 2020, se registra el cuarto periodo de crecimiento exponencial. La Figura 5 muestra dicho periodo, donde los datos se ajustan a la regresión exponencial $y_4 = \exp(-23,8286 + 0,2679x_4)$ con un $R^2=0,9930$. Los contagios diarios por Covid-19 durante los 4 días superan 11.000 casos, y la tasa de crecimiento es $k_4=0,2679$, lo que sugiere que, de cada 10.000 personas en contacto con el virus, al menos 2.678 resultaron contagiados.

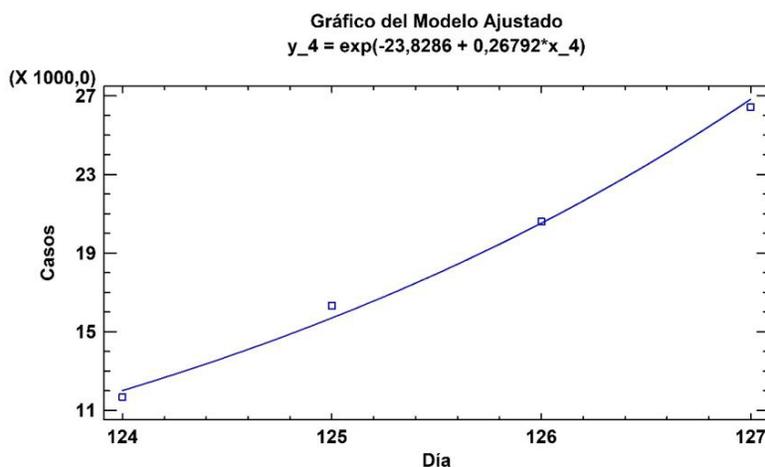


Figura 5. Cuarto periodo de crecimiento exponencial del día 124 (25/05/2020) al día 127 (28/05/2020)

Fuente: Autores

Tabla IV. Estadísticos del cuarto modelo de crecimiento exponencial

ANOVA (VALOR-P)	D (VALOR-P)	S (VALOR-P)	TOTAL DE CASOS EN EL PERIODO
P=0,0035	P=0,2579	P=0,9676	75.027

Fuente: Autores

En plena expansión de Covid-19, el 1 de junio de 2020 en Brasil se presentan diferentes manifestaciones en contra del presidente que terminan en disturbios en plena cuarentena, en las que participaron miles de personas incluso el propio mandatario, que se opone a las medidas de confinamiento decretadas por varios gobernadores, participó sin usar mascarilla en una manifestación en Brasilia contra la corte suprema, que maneja varios expedientes que apuntan al mandatario y a su entorno cercano (Made for Mind, 2020).

El 22 de junio de 2020, se vuelven a presentar nuevas manifestaciones de apoyo y rechazo del gobierno actual (France 24, 2020). Este factor fue determinante para la propagación de la Covid-19, que a mitad de año de 2020 tomó bastante fuerza. Incluso a finales del mes de junio de 2020 se encuentra el quinto periodo de crecimiento exponencial relacionado a las diferentes manifestaciones. Incluso dicho factor pudo también ser incluido en el último periodo de crecimiento exponencial en la primera ola epidemiológica de los casos diarios.

La Figura 6 muestra el quinto periodo de crecimiento entre el 21 y 24 de junio de 2020. El cual tiene un ajuste a la regresión exponencial $y_5 = \exp(-43,5186 + 0,3525x_5)$ con un $R^2 = 0,9378$. Con una tasa de crecimiento exponencial $k_5 = 0,3525$, es decir que, de cada 10.000 personas, alrededor de 3.525 se contagiaron.

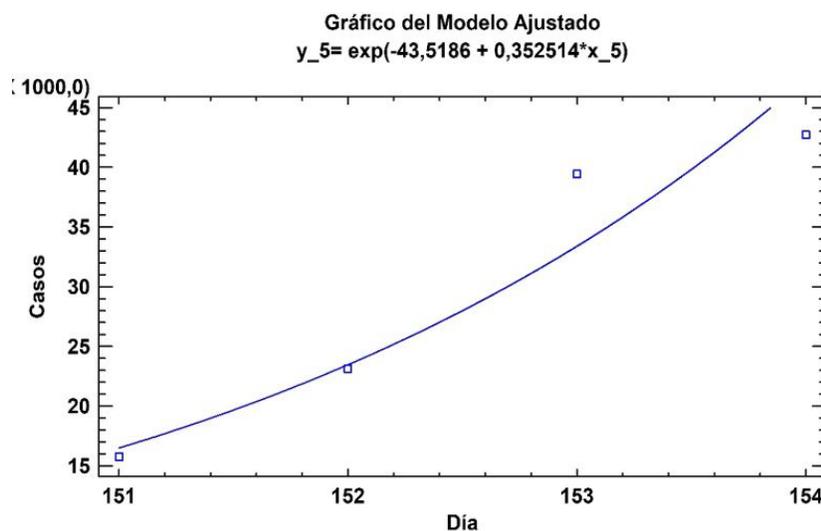


Figura 6. Quinto periodo de crecimiento exponencial del día 151 (21/06/2020) al día 154 (24/06/2020)

Fuente: Autores

Tabla V. Estadísticos del quinto modelo de crecimiento exponencial

ANOVA (VALOR-P)	D (VALOR-P)	S (VALOR-P)	TOTAL DE CASOS EN EL PERIODO
P=0,0316	P=0,4118	P= 0,9021	121.052

Fuente: Autores

La Figura 7 muestra el último periodo entre el 29 de junio de 2020 y el 24 de julio de 2020- Los datos se ajustan a la regresión exponencial $y_6 = \exp(-28,0344 + 0,2402x_6)$ con un $R^2 = 0,9112$. Como consecuencia, la tasa de crecimiento exponencial es $k_6 = 0,2402$, lo que sugiere que, de cada 10.000 personas en contacto con el virus, aproximadamente 2.402 resultaron contagiadas.

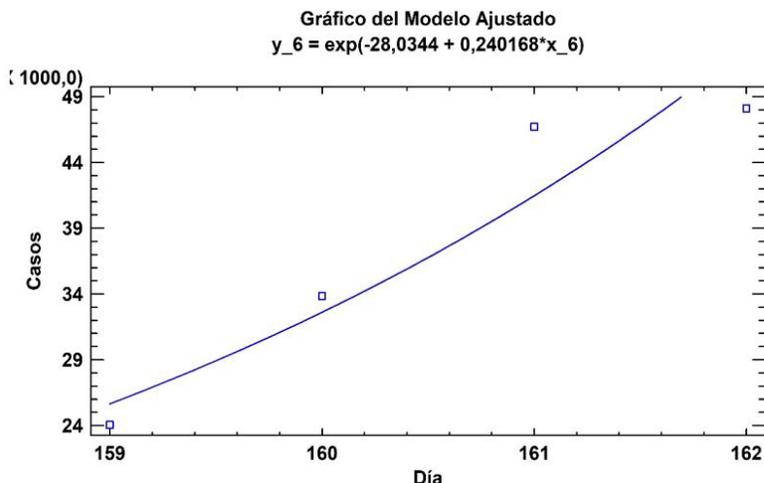


Figura 7. Sexto periodo de crecimiento exponencial del día 159 (29/06/2020) al día 162 (2/07/2020)

Fuente: Autores

Tabla VI. Estadísticos del sexto modelo de crecimiento exponencial

ANOVA (VALOR-P)	D (VALOR-P)	S (VALOR-P)	TOTAL DE CASOS EN EL PERIODO
P=0,0454	P=0,1573	P=0,9999	152.715

Fuente: Autores

EL pico epidemiológico de la primera ola de casos reportados diariamente en Brasil se logra con 69.074 casos confirmados en el día 29 de julio de 2020, es decir a 27 días de último periodo de crecimiento exponencial. Teniendo en cuenta lo anterior el país presenta una gran cantidad de casos diarios, pero no periodos de crecimiento exponencial durante la ola.

Conclusiones

La primera ola epidemiológica de los casos reportados diariamente por Covid-19 en Brasil registró un total de 5.590.025 casos de Covid-19, de los cuales 446.697 pertenecen a los 6 periodos de crecimiento exponencial, es decir el 7,9910% de los casos confirmados hasta el 4 noviembre de 2020; no obstante, hay que tener en cuenta que los periodos están entre los 4 y los 6 días y los casos registrado durante esos días son bastantes.

El tercer periodo fue el más largo con un total de 6 días. El primer y segundo periodo de crecimiento exponencial cuenta con las tasas de crecimiento exponencial más alta ($k_1=0,3658$) y más baja ($k_2=0,1768$), respectivamente, y la tasa de crecimiento exponencial promedio es $k=0,2671$.

Un factor inevitable fue la marcada desigualdad social, donde un gran porcentaje de los habitantes viven en la pobreza y la pobreza extrema, quienes no tienen acceso a los hábitos de higiene básicos. Además, la gran proporción de trabajadores informales aumentan la probabilidad de contagios masivos en el país.

Los principales factores que influyeron en la propagación exponencial fueron: el cumplimiento irregular del aislamiento social; la relajación de la cuarentena; la confusa actitud del presidente y el desacuerdo entre él y los gobernadores y alcaldes; la falta de restricción a la circulación vehicular

durante días festivos; y también las noticias falsas y promesas de curas milagrosas.

Referencias

- Acuña, M., Comas, A., Hernandez, E., Santana, M., & Velasco, J. (31 de Marzo de 2020). *The SARS-CoV-2 epidemic outbreak: a review of plausible scenarios of containment and mitigation for Mexico*. Recuperado el 22 de Junio de 2021, de <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.03.28.20046276v1>
- Aquino, E., Silveira, I., Moreira, J., Aquino, R., Almeida, J., Rocha, A., . . . Leite, L. (2020). Social distancing measures to control the COVID-19 pandemic: potential impacts and challenges in Brazil. *Ciênc. saúde coletiva*, 25, 2423-2446. doi:<https://doi.org/10.1590/1413-81232020256.1.10502020>
- Arbeláez-Campillo, D., Andreyevna, M., & Rojas-Bahamón, M. (2019). Las pandemias como factor perturbador del orden geopolítico en el mundo globalizado. *Cuestiones Políticas*, 36(63), 134-151
- BBC News . (19 de Marzo de 2020). Brasil cierra casi toda la frontera terrestre, pero mantiene la entrada por aeropuertos. Recuperado el 15 de Junio de 2021, de <https://www.bbc.com/portuguese/brasil-51966428>
- BBC News. (21 de Mayo de 2020). *Coronavirus en Brasil: 7 errores que llevaron a Brasil a la crítica situación actual*. Recuperado el 15 de Junio de 2021, de <https://www.bbc.com/mundo/noticias-america-latina-52708003>
- EL PAÍS. (27 de Marzo de 2020). *Jair Bolsonaro insiste en que la crisis del coronavirus es solo histeria y sus exaliados sugieren que dimita*. Recuperado el 15 de Junio de 2021, de <https://elpais.com/internacional/2020-03-17/jair-bolsonaro-insiste-en-que-la-crisis-del-coronavirus-es-solo-histeria-y-sus-exaliados-sugieren-que-dimita.html>
- EL PAÍS. (16 de Junio de 2020). *Río de Janeiro transita su reapertura entre aglomeraciones y la amenaza de un colapso sanitario*. Recuperado el 15 de Junio de 2021, de <https://elpais.com/sociedad/2020-06-16/rio-de-janeiro-transita-su-reapertura-entre-aglomeraciones-y-la-amenaza-de-un-colapso-sanitario.html>
- France 24. (28 de Marzo de 2020). *Bolsonaro cuestiona la cifra de muertos por Covid-19 y hace campaña contra la cuarentena*. Recuperado el 15 de Junio de 2021, de <https://www.france24.com/es/20200328-covid19-brasil-bolsonaro-cuestiona-muertos-cuarentena>
- France 24. (22 de Mayo de 2020). *Brasil pasó de nuevo a ser el tercer país con más contagios de Covid-19*. Recuperado el 15 de Junio de 2021, de <https://www.france24.com/es/20200522-coronavirus-covid19-china-estados-unidos>
- France 24. (15 de Marzo de 2020). *Brasil: manifestantes desafiaron la propagación del Covid-19 y marcharon a favor de Bolsonaro*. Recuperado el 15 de Junio de 2021, de <https://www.france24.com/es/20200315-brasil-manifestantes-desafiaron-covid19-marcharon-bolsonaro>
- France 24. (22 de Junio de 2020). *Los brasileños vuelven a las calles para rechazar y apoyar a Bolsonaro*. Recuperado el 15 de Junio de 2021, de <https://www.france24.com/es/20200622-brasil-protestas-bolsonaro-coronavirus-covid19>
- Google. (2021). *Infomes de movilidad local sobre el Covid-19*. Obtenido de <https://www.google.com/covid19/mobility/?hl=es>
- Gustavo, B. (2020). De Wuhan a Luján. Evolución espacial del COVID-19. *Revista Posición*, 3,

- 1-21. Obtenido de <http://ri.unlu.edu.ar/xmlui/handle/rediunlu/683>
- Hellwell, J., Gimma, A., Bosse, N., Jarvis, C., Timothy, R., Munday, J., . . . Eggot, R. (2020). Feasibility of controlling COVID-19 outbreaks by isolation of. *Lancet*, 8(4), 1-9. doi:[https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(20\)30074-7](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(20)30074-7)
- Ibarguen-Mondragon, E., Vergel-Ortega, M., & Gomez-Vergel, S. (2020). Malthus Model applied to exponential growth of Covid-19. *Revista Boletín Redipe*, 9(11), 159-164
- Made for Mind. (1 de Junio de 2020). *Protestas en Brasil contra Bolsonaro terminan en disturbios en plena cuarentena*. Recuperado el 15 de Junio de 2021, de <https://www.dw.com/es/protestas-en-brasil-contra-bolsonaro-terminan-en-disturbios-en-plena-cuarentena/a-53646743>
- Medina-Mendieta, J., Cortés-Cortés, M., & Cortés-Iglesias, M. (2020). Ajuste de curvas de crecimiento poblacional aplicadas a la COVID-19 en Cuba. *Medisur*, 19, 1-15. Obtenido de <http://www.revhabanera.sld.cu/index.php/rhab/article/view/3353>
- Obando, J., Peña, A., Obando, L., & Montenegro, A. (2020). Importancia de los modelos de regresión no lineales en la interpretación de datos de la COVID-19 en Colombia. *Rev haban cienc méd [Online]*, 19, 1-12. Obtenido de <http://www.revhabanera.sld.cu/index.php/rhab/article/view/3309>
- Pueyo, T. (21 de Marzo de 2020). *Coronavirus: The Hammer and the Dance*. Recuperado el 1 de Junio de 2021, de <https://medium.com/tomas-pueyo/coronavirus-articles-endorsements-fdc68614f8e3>
- Reliefweb. (19 de Mayo de 2020). *Refugiados indígenas luchan contra el coronavirus en América Latina*. Recuperado el 15 de Junio de 2021, de <https://reliefweb.int/report/brazil/refugiados-ind-genas-luchan-contra-el-coronavirus-en-am-rica-latina>
- Sousa, G., Garces, T., Cestari, V., Moreira, T., Florencio, R., & Pereira, M. (2020). Estimation and prediction of COVID-19 cases in Brazilian metropolises. *Rev. Latino-Am. Enfermagem*, 28(4), 1-8. doi:<https://doi.org/10.1590/1413-81232020256.1.10502020>
- Walpole, R., Myers, R., Myers, S., & Ye, K. (2002). *Probability & Statistics for Engineers & Scientists*. Boston: Prentice Hall
- Zhao, S., Lin, Q., Ran, J., Musa, S., Yang, G., Wang, W., . . . Wang, M. (2020). Preliminary estimation of the basic reproduction number of novel. *Int. J. Infect. Dis.*, 92, 214-217. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijid.2020.01.050>