

DOI: <https://doi.org/10.18359/rmed.4702>

Proyección de la propagación del COVID-19 en Colombia*

Jorge Enrique Díaz-Pinzón^a

Resumen: Los coronavirus son una amplia familia de virus que logran causar enfermedades tanto en animales como en humanos. En los humanos, se sabe que varios coronavirus ocasionan infecciones respiratorias que consiguen ir desde el resfriado común hasta enfermedades más complicadas como el síndrome respiratorio de Oriente Medio (MERS) y el síndrome respiratorio agudo severo (SRAS). El coronavirus que se ha manifestado más recientemente causa la enfermedad por coronavirus COVID-19. El objetivo del presente artículo es presentar una proyección, con el uso del modelo lineal de Brown, de la dinámica de transmisión del COVID-19 en Colombia, relacionado con casos confirmados, activos, recuperados y fallecidos. Para desarrollar la investigación se utilizó la base de datos de las personas infectadas con el COVID-19 y la información de los datos corresponde al período del 6 de marzo de 2020 al 5 de mayo de 2020. Para su análisis de predicción se manejó el método de predicción de modelo de Brown, utilizando el paquete estadístico SPSS v.25. Se determinó por análisis de predicción que el número total de infectados por el COVID-19 en Colombia al 31 de agosto de 2020 serán alrededor de 65.835, 46.175 casos activos, 16.543 recuperados y 2.577 fallecidos. Se evidenció una alta población de casos confirmados por coronavirus en Colombia al 31 de agosto de 2020; esto pone en alerta la red pública hospitalaria del país, además de que obliga a las personas y comunidades a mantenerse en cuarentena por la emergencia sanitaria.

Palabras clave: coronavirus; SARS-CoV-2; transmisión de enfermedad infecciosa; modelos de transmisión de enfermedades; modelo computarizado

Fecha de recepción: 01/04/2020. **Fecha de aprobación:** 12/05/2020.

Disponible en línea: 11/09/2020

Cómo citar: Díaz Pinzón JE. Proyección de la propagación del COVID-19 en Colombia. Rev. Med. [Internet]. 11 de septiembre de 2020 [citado 11 de septiembre de 2020];28(1). Disponible en: <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rmed/article/view/4702>

* Artículo de investigación.

^a Ingeniero, magíster en Gestión de la Tecnología Educativa, especialista en Administración de la Informática Educativa. Docente de Matemáticas e Investigador, Secretaría de Educación de Soacha. Soacha, Colombia. Correo electrónico: jediazp@unal.edu.co ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8870-7769>

Projection of COVID-19 Spread in Colombia

Abstract: coronaviruses are a wide family of viruses that cause disease in both animals and humans. In humans, several coronaviruses are known to cause respiratory infections ranging from the common cold to more complicated diseases such as Middle East respiratory syndrome (MERS) and severe acute respiratory syndrome (SARS). The most recently developed coronavirus causes the disease called COVID-19. The objective of this article is to present a projection, with the use of Brown's linear model, of the transmission dynamics of COVID-19 in Colombia, related to confirmed, active, recovered, and deceased cases. To carry out this research, the database of people infected with COVID-19 and the data information corresponding to the period from March 6, 2020 to May 5, 2020 were used. For its prediction analysis, the Brown model prediction method was used, using the SPSS v.25 Statistical package. It was determined by prediction analysis that the total number of infected people by COVID-19 in Colombia as of August 31, 2020 will be around 65,835, 46,175 active cases, 16,543 recovered and 2,577 deaths. A high population of confirmed coronavirus cases was evidenced in Colombia as of August 31, 2020; which alerts the country's public hospital network, in addition to forcing people and communities to be quarantined due to the health emergency.

Keywords: coronavirus; SARS-CoV-2; transmission of infectious disease; disease transmission models; computerized model

Projeção da propagação da Covid-19 na Colômbia

Resumo: Os coronavírus são uma ampla família de vírus que conseguem causar doenças tanto em seres humanos quanto em não humanos. Nos humanos, sabe-se que vários coronavírus ocasionam infecções respiratórias que vão do resfriado comum até doenças mais complicadas, como a síndrome respiratória do Oriente Médio (MERS) e a síndrome respiratória aguda grave (SARS). O coronavírus que está se manifestando na atualidade causa a Covid-19. Nesse contexto, o objetivo deste artigo é apresentar uma projeção, com o uso do modelo linear de Brown, da dinâmica de transmissão da Covid-19 na Colômbia, relacionado com casos confirmados, ativos, recuperados e de óbito. Para desenvolver esta pesquisa, foi utilizada a base de dados das pessoas infectadas com o novo coronavírus e a informação entre 6 de março de 2020 e 5 de maio de 2020. Para a análise preditiva, foi utilizado o método de previsão de modelo de Brown, com o pacote estatístico SPSS versão 25. A partir da análise preditiva, determinou-se que o número total de infectados pela Covid-19 na Colômbia até 31 de agosto de 2020 será de aproximadamente de 65.835, 46.175 casos ativos, 16.543 recuperados e 2.577 óbitos. É evidenciado alto número de casos confirmados por coronavírus na Colômbia em 31 de agosto de 2020; isso coloca em alerta a rede pública hospitalar do país, além de obrigar as pessoas e a comunidade a se manterem em quarentena durante a emergência sanitária.

Palavras-chave: coronavírus; Sars-Cov-2; transmissão de doença infecciosa; modelos de transmissão de doenças; modelo computadorizado

Introducción

Los coronavirus son una amplia familia de virus que logran causar enfermedades tanto en animales como en humanos. En los humanos, se sabe que varios coronavirus ocasionan infecciones respiratorias que consiguen ir desde el resfriado común hasta enfermedades más complicadas como el síndrome respiratorio de Oriente Medio (MERS) y el síndrome respiratorio agudo severo (SRAS). El coronavirus que se ha manifestado más recientemente causa la enfermedad por coronavirus COVID-19 (1).

Según el Ministerio de Salud (2), los coronavirus (CoV) son virus que brotan habitualmente en diferentes áreas del mundo y que causan Infección Respiratoria Aguda (IRA), es decir gripa, que puede llegar a ser leve, moderada o grave.

El nuevo coronavirus (COVID-19) ha sido clasificado por la Organización Mundial de la Salud como una emergencia en salud pública de importancia internacional (ESPII). Se han reconocido casos en todos los continentes y el 6 de marzo se confirmó el primer caso en Colombia. La infección se evidencia cuando una persona enferma tose o estornuda y expulsa partículas del virus que entran en contacto con otras personas.

En diciembre de 2019 surgió una asociación de casos de neumonía en Wuhan (provincia de Hubei, China), con una muestra común a un mercado mayorista de marisco, pescado y animales vivos. El 7 de enero de 2020, las autoridades chinas establecieron como agente promotor del brote a un nuevo virus de la familia *Corona viridae*, que anteriormente fue designado SARS-CoV-2 1. La secuencia genética fue compartida por las autoridades chinas el 12 de enero. La enfermedad ocasionada por este nuevo virus se ha designado por consenso internacional COVID-19. El Comité de Emergencias del Reglamento Sanitario Internacional (RSI, 2005) manifestó el brote como una ESPII en su reunión del 30 de enero de 2020. Posteriormente, la OMS lo consideró como una pandemia global el 11 de marzo de 2020 (3). “Estudiar la dinámica de un brote de enfermedades infecciosas recientemente surgido y en rápido crecimiento, como COVID-19,

es importante pero desafiante debido a la limitada cantidad de datos disponibles” (4).

En Colombia, el Instituto Nacional de Salud (INS) notifica diariamente al Ministerio de Salud las cifras de casos confirmados acumulados de COVID-19, así: total de casos, casos en hospitalizaciones, ingresos en UCI, fallecidos y casos recuperados.

El objetivo de este trabajo de investigación es presentar unos modelos predictivos de la dinámica de transmisión del COVID-19 en Colombia, para personas confirmadas, personas activas, personas recuperadas y fallecimientos; el método fue el modelo lineal de Brown, teniendo en cuenta el registro de la primera persona infectada el 6 de marzo de 2020 y la última fecha considerada el 5 de mayo de 2020.

Tendencia lineal de Brown

Este modelo es apropiado para las series con una tendencia lineal y sin estacionalidad. Sus parámetros de suavizado son el nivel y la tendencia, que se admiten iguales. Por ello, el modelo de Brown es un caso específico del modelo de Holt. El modelo de suavizado exponencial de Brown es muy análogo a un modelo Arima con cero órdenes de auto regresión, dos órdenes de distinción y dos órdenes de media móvil, con el coeficiente para el segundo orden de media móvil igual al cuadrado de la mitad del coeficiente de primer orden (5).

Este método radica en realizar dos suavizaciones exponenciales, a partir de las cuales se alcanzará el valor estimado, o pronóstico que indagamos realizar, mediante un cálculo realizado con una expresión sencilla. La primera suavización se emplea con los valores observados en la serie de tiempo y la segunda con la serie mitigada obtenida mediante la primera atenuación. Debido a que los valores calculados al realizar las dos primeras atenuaciones no son los datos considerados a obtener, es decir, que formarán las inferencias de los valores que se espera que tome la serie de tiempo en el futuro cercano, emplearemos una notación distinta a la de la expresión final con la cual se calculan los valores que componen en realidad el pronóstico (6,7).

Este es el modelo más ventajoso para el pronóstico a corto plazo y se identifica porque busca mitigar los valores picos de la función por medio de un coeficiente denominado Alfa (“α”) (8). El objetivo de los métodos de serie de tiempo es manifestar un patrón en los datos históricos y luego extrapolarlo hacia el futuro; el pronóstico se fundamenta solo en valores pasados de la variable que tratamos de predecir (9).

A continuación, se presenta la formulación del método de Brown:

$$S_t^1 = (\alpha \times X_t) + [(1 - \alpha) \times S_{t-1}]$$

$$S_t^2 = (\alpha \times S_t) + [(1 - \alpha) \times S_{t-1}^2]$$

$$a_t = S_{t1} + (S_t^1 - S_t^2) = S_t^1 - S_t^2$$

$$b_t = \frac{\alpha}{(1-\alpha)} (S_t^1 - S_{t2})$$

$$F_{t+m} = a_t + b_t \cdot m$$

Donde:

S_t^1 = Valor del suavizamiento exponencial simple al finalizar el período t

S_t^2 = Valor del suavizamiento exponencial doble al finalizar el período t

a_t = Ajuste de la serie al finalizar el período t

b_t = Ajuste de tendencia al finalizar el período t

α = Constante de aislamiento

m = Varía desde 1 hasta m , y determina el número de pronósticos que se deseen

F_{t+m} = Pronóstico en el período $t + m$

Materiales y métodos

Según Hurtado y Toro (1998) citado por Díaz (10):

la investigación cuantitativa tiene una concepción lineal, es decir que haya claridad entre los elementos que conforman el problema, que tenga definición, limitarlos y saber con exactitud cómo se inicia el problema, también es importante saber qué tipo de incidencia existe entre sus elementos (p.1).

Una de las particularidades de esta metodología es que nos admite asumir el rol de investigadores y docentes; de esta forma se podrá variar y tomar decisiones en los experimentos prescritos (11).

El alcance de la investigación es de tipo exploratorio; de acuerdo con (12), “se realiza cuando el objetivo consiste en examinar un tema poco estudiado” (p.1). Y en lo relacionado con el diseño de la

investigación, es experimental. Según señala Potts (13) son “estudios que se realizan sin la manipulación deliberada de las variables y en los que solo observan los fenómenos en su ambiente natural”.

Para desarrollar la investigación se utilizó la base de datos de las personas con casos confirmados y la información por género con el COVID-19 de la página del Ministerio de Salud de Colombia (<https://coronaviruscolombia.gov.co/>); la información de los datos corresponde al período del 6 de marzo de 2020 al 5 de mayo de 2020. Para su análisis de predicción se manejó el método de predicción de modelo de Brown, utilizando el paquete estadístico SPSS v.25.

Resultados

En la Figura 1, podemos apreciar en la línea de color rojo el valor observado de la dinámica de contagio del COVID-19 en Colombia por días desde el 6 de marzo de 2020 hasta el 5 de mayo de 2020, y su respectiva predicción para los meses de mayo, junio y julio de 2020 en la línea azul; con este gráfico podemos realizar un pronóstico de las personas de casos confirmados acumulados con COVID-19 obtenido según el tiempo, como se observa en la ecuación: $Y = 465,51x + 8.578,1$. Los coeficientes 465,51 y 8.578,1 definen la recta. El coeficiente 465,51 es la pendiente de la recta; al cambio medio que se obtiene en el puntaje (Y) por cada unidad de cambio que se produce de tiempo en días (x) le corresponde un incremento de 8.578,1 puntaje Y.

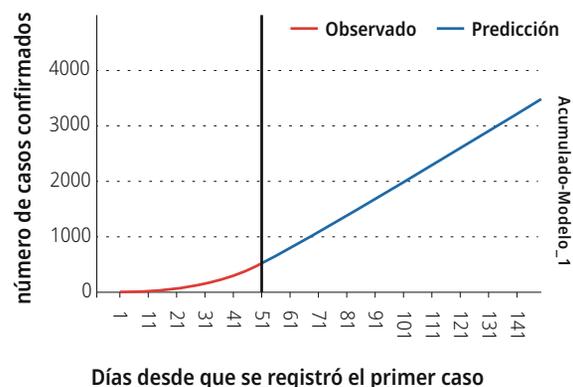


Figura 1. Predicción con modelo de Brown de la dinámica de contagio del COVID-19 en Colombia por días (desde el 05-05-2020 hasta el 31-08-2020).

Fuente: elaboración propia en SPSS v. 25.

En la Tabla 1, se considera el pronóstico para el mes de junio de 2020; los datos de las personas infectadas al finalizar el mes de junio de 2020 son

de alrededor de 36.508, 25.908 casos activos, 9.086 recuperados y 1.442 fallecidos.

Día	Predicción de contagiados	Casos activos	Personas recuperadas	Fallecidos
1-jun-20	23.009	16.435	5.655	919
2-jun-20	23.474	16.764	5.773	937
3-jun-20	23.940	17.093	5.892	955
4-jun-20	24.405	17.422	6.010	973
5-jun-20	24.871	17.752	6.128	991
6-jun-20	25.336	18.080	6.247	1.009
7-jun-20	25.802	18.410	6.365	1.027
8-jun-20	26.267	18.739	6.483	1.045
9-jun-20	26.733	19.068	6.602	1.063
10-jun-20	27.198	19.397	6.720	1.081
11-jun-20	27.664	19.727	6.838	1.099
12-jun-20	28.129	20.055	6.957	1.117
13-jun-20	28.595	20.385	7.075	1.135
14-jun-20	29.060	20.714	7.193	1.153
15-jun-20	29.526	21.043	7.312	1.171
16-jun-20	29.991	21.372	7.430	1.189
17-jun-20	30.457	21.702	7.548	1.207
18-jun-20	30.922	22.030	7.667	1.225
19-jun-20	31.388	22.360	7.785	1.243
20-jun-20	31.853	22.689	7.903	1.261
21-jun-20	32.319	23.019	8.021	1.279
22-jun-20	32.784	23.347	8.140	1.297
23-jun-20	33.250	2.3676	8.258	1.316
24-jun-20	33.715	24.005	8.376	1.334
25-jun-20	34.181	24.334	8.495	1.352
26-jun-20	34.646	24.663	8.613	1.370
27-jun-20	35.112	24.993	8.731	1.388
28-jun-20	35.577	25.321	8.850	1.406
29-jun-20	36.043	25.651	8.968	1.424
30-jun-20	36.508	25.980	9.086	1.442

Tabla 1. Predicción de covid-19, método de Brown para junio de 2020

Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 2 se considera el pronóstico para el mes de julio de 2020; los datos de las personas infectadas al finalizar el mes de julio de 2020 son de alrededor de 51.405, 36.513 casos activos, 12.873 recuperados y 2.019 fallecidos.

Día	Predicción de Contagiados	Casos activos	Personas recuperadas	Fallecidos
1-jul-20	37.439	26.638	9.323	1.478
2-jul-20	37.905	26.968	9.441	1.496
3-jul-20	38.370	27.296	9.560	1.514
4-jul-20	38.836	27.626	9.678	1.532
5-jul-20	39.301	27.955	9.796	1.550
6-jul-20	39.767	28.284	9.915	1.568
7-jul-20	40.233	28.614	10.033	1.586
8-jul-20	40.698	28.943	10.151	1.604
9-jul-20	41.164	29.272	10.270	1.622
10-jul-20	41.629	29.601	10.388	1.640
11-jul-20	42.095	29.931	10.506	1.658
12-jul-20	42.560	30.259	10.625	1.676
13-jul-20	43.026	30.589	10.743	1.694
14-jul-20	43.491	30.918	10.861	1.712
15-jul-20	43.957	31.247	10.980	1.730
16-jul-20	44.422	31.576	11.098	1.748
17-jul-20	44.888	31.906	11.216	1.766
18-jul-20	45.353	32.234	11.335	1.784
19-jul-20	45.819	32.563	11.453	1.803
20-jul-20	46.284	32.892	11.571	1.821
21-jul-20	46.750	33.222	11.689	1.839
22-jul-20	47.215	33.550	11.808	1.857
23-jul-20	47.681	33.880	11.926	1.875
24-jul-20	48.146	34.209	12.044	1.893
25-jul-20	48.612	34.538	12.163	1.911
26-jul-20	49.077	34.867	12.281	1.929
27-jul-20	49.543	35.197	12.399	1.947
28-jul-20	50.008	35.525	12.518	1.965
29-jul-20	50.474	35.855	12.636	1.983
30-jul-20	50.939	36.184	12.754	2.001
31-jul-20	51.405	36.513	12.873	2.019

Tabla 2. Predicción de covid-19, método de Brown para julio de 2020

Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 3 se considera el pronóstico para el mes de agosto de 2020; los datos de las personas infectadas al finalizar el mes de agosto de 2020

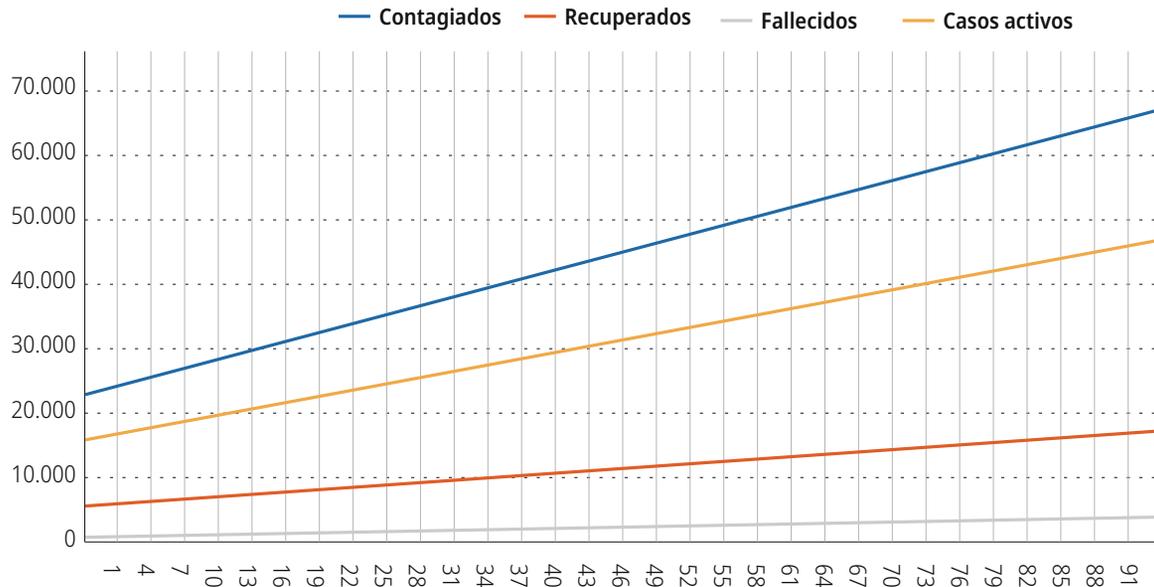
son de alrededor de 65.835, 46.715 casos activos, 16.543 recuperados y 2.577 fallecidos.

Día	Predicción de contagiados	Casos activos	Personas recuperadas	Fallecidos
1-ago-20	51.870	36.842	12.991	2.037
2-ago-20	52.335	37.171	13.109	2.055
3-ago-20	52.801	37.500	13.228	2.073
4-ago-20	53.266	37.829	13.346	2.091
5-ago-20	53.732	38.159	13.464	2.109
6-ago-20	54.197	38.487	13.583	2.127
7-ago-20	54.663	38.817	13.701	2.145
8-ago-20	55.128	39.145	13.820	2.163
9-ago-20	55.594	39.475	13.938	2.181
10-ago-20	56.059	39.804	14.056	2.199
11-ago-20	56.525	40.133	14.175	2.217
12-ago-20	56.990	40.462	14.293	2.235
13-may-20	57.456	40.791	14.412	2.253
14-ago-20	57.921	41.120	14.530	2.271
15-ago-20	58.387	41.450	14.648	2.289
16-ago-20	58.852	41.778	14.767	2.307
17-ago-20	59.318	42.108	14.885	2.325
18-ago-20	59.783	42.436	15.004	2.343
19-ago-20	60.249	42.766	15.122	2.361
20-ago-20	60.714	43.095	15.240	2.379
21-ago-20	61.180	43.424	15.359	2.397
22-ago-20	61.645	43.753	15.477	2.415
23-ago-20	62.111	44.082	15.596	2.433
24-ago-20	62.576	44.411	15.714	2.451
25-ago-20	63.042	44.741	15.832	2.469
26-ago-20	63.507	45.069	15.951	2.487
27-ago-20	63.973	45.399	16.069	2.505
28-ago-20	64.438	45.727	16.188	2.523
29-ago-20	64.904	46.057	16.306	2.541
30-ago-20	65.369	46.386	16.424	2.559
31-ago-20	65.835	46.715	16.543	2.577

Tabla 3. Predicción COVID-19, método de Brown para agosto de 2020

Fuente: elaboración propia.

Figura 2. Acumulado del COVID-19 en Colombia para los meses de junio, julio y agosto de 2020.



Fuente: elaboración propia.

En la Figura 2 se describen los pronósticos utilizando el método lineal de Brown de las personas infectadas, casos activos, recuperados y fallecidos en Colombia, desde el mes de junio hasta finalizar el mes de agosto de 2020.

El coeficiente de determinación ajustado (R^2)

El R^2 , coeficiente de determinación nos indica en qué medida los datos se ajustan al modelo seleccionado, tendencia lineal de Brown; en este caso el $R^2 = 0,999$, y si se convierte a porcentaje se va a obtener un 99,9 %, lo que significa que los datos se ajustan en un 99,9 % al modelo seleccionado.

Discusión

De acuerdo con Díaz (14) en su trabajo de investigación Precisión del pronóstico de la propagación del COVID-19 en Colombia, utilizando el método lineal de Brown, determinó que el error de pronóstico fue muy bajo y que correspondió al MAPE (error porcentual medio absoluto), con un 0,03 %, seguido de la MAD (desviación media absoluta),

con un valor de 0,95; es decir que en ambos casos la predicción obtuvo un alto grado de confiabilidad.

El modelo de Brown nos ilustra un escenario posible de la enfermedad, lo cual a la luz de los resultados no es nada halagador para Colombia; por tanto, se hace necesario continuar con el aislamiento para que se genere una estabilización de la enfermedad. Esta predicción puede cambiar si todos los colombianos somos responsables en guardar la cuarentena.

Este modelo analizado no tiene en cuenta el crecimiento hasta alcanzar un pico, y es fundamental para el sistema sanitario saber cuándo se va a llegar; por tanto, es necesario realizar un monitoreo permanente para esclarecer el futuro de la enfermedad.

Consecuentemente, es vital identificar una población objetivo en la que las predicciones conluzcan una necesidad clínica, y un conjunto de datos representativo (preferiblemente que incluya pacientes consecutivos) en el que se pueda desarrollar y validar el modelo de predicción. En lugar de desarrollar y restaurar las predicciones en su entorno local, los datos de participantes individuales

de múltiples países y sistemas de salud deberían permitir una mejor comprensión de la generalización e implementación de modelos de predicción en otros entornos y poblaciones (15).

La inestabilidad en las frecuencias relativas de los resultados señalados presenta un reto importante para el modelador de predicciones. Un modelo de predicción aplicado en un entorno con una frecuencia relativa desigual del resultado podría originar predicciones mal calibradas (16) y podría precisar actualizarse antes de que consiga aplicarse de forma segura en ese nuevo entorno (17,18).

El autor recomienda realizar otro tipo de análisis con otros modelos matemáticos; por ejemplo el modelo SIR es uno de los modelos epidemiológicos más simples e idóneos para capturar muchas de las características típicas de los brotes epidémicos. El nombre del modelo procede de las iniciales S (población susceptible), I (población infectada) y R (población recuperada). El modelo concierne a las variaciones de las tres poblaciones (Susceptible, Infectada y Recuperada) a través de la tasa de infección y el período infeccioso promedio (19,20).

Conclusión

Desde el inicio de la alerta por SARS-COV-2 se han notificado 8.613 casos de COVID-19 en Colombia, de los que se ha recibido información en Ministerio de Salud, hasta el 5 de mayo de 2020.

Se determinó el pronóstico de las personas de casos confirmados acumulados con COVID-19 obtenido según el tiempo, como se observa en la ecuación $Y = 465,51x + 8.578,1$. Los coeficientes 465,51 y 8.578,1 definen la recta. El coeficiente 465,51 es la pendiente de la recta; al cambio medio que se obtiene en el puntaje (Y) por cada unidad de cambio que se produce de tiempo en días (x) le corresponde un incremento de 8.578,1 puntaje Y.

El modelo predictivo de Brown, utilizado en esta investigación, arrojó como resultados que los datos de las personas infectadas al finalizar el mes de junio de 2020 serán de alrededor de 36.508, 25.980 casos activos, 9.086 recuperados y 1.442 fallecidos; para el mes de julio de 2020 serán de alrededor de 51.405 infectados, 36.513 casos activos, 12.873 recuperados y 2.019 fallecidos; para el mes de agosto de 2020, serán de alrededor de 65.835

infectados, 46.175 casos activos, 16.543 recuperados y 2.577 fallecidos.

El coeficiente de determinación $R^2 = 0,999$, al convertirlo a porcentaje, se obtuvo un 99,9 %, lo que significa que los datos se ajustan en un 99,9 % al modelo

El uso de modelación matemática se ha desarrollado en grado representativo en las últimas décadas y es de gran impulso para ilustrar escenarios eficaces de prevención y control de enfermedades infectocontagiosas.

Conflicto de intereses

Ninguno registrado.

Referencias

- [1] Organización Mundial de la Salud, OMS. Preguntas y respuestas sobre la enfermedad por coronavirus (COVID-19) [Internet]. 2020. Disponible en: <https://www.who.int/es/emergencias/diseases/novel-coronavirus-2019/advice-for-public/q-a-coronaviruses>
- [2] Ministerio de Salud y protección Social. Orientaciones para el tamizaje de viajeros procedentes de zonas con circulación del nuevo coronavirus (COVID-19) [Internet]. 2020. Disponible en: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/asif04-guia-tamizaje-poblacional-puntos-entrada-coronavirus.pdf>
- [3] ISCIII. Informe sobre la situación de COVID-19 en España. 2020 [Internet]. 2020. Disponible en: <https://www.isciii.es/QueHacemos/Servicios/VigilanciaSaludPublicaRENAVE/EnfermedadesTransmisibles/Paginas/InformesCOVID-19.aspx>
- [4] Sanche S, Lin YT, Xu C, Romero-Severson E, Hengartner N, Ke R. Alta contagiosidad y rápida propagación del coronavirus agudo grave del síndrome respiratorio 2. *Emerg Infect Dis.* 2020;26(7):s.p. doi: <https://doi.org/10.3201/eid2607.200282>
- [5] IBM. Modelos personalizados de suavizado exponencial [Internet]. 2010. Disponible en: https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/es/SSLVMB_sub/statistics_mainhelp_ddita/spss/trends/idh_idd_exp_smooth_crit.html
- [6] Anónimo. Suavización Exponencial Doble Método de Brown Ajuste a la Tendencia. [Internet]. 2020. Disponible en: http://modelosdepronosticos.info/metodo_de_suavizacion_exponencial_doble_metodo_de_brown.html

- [7] Coutin MG. Pronósticos de mortalidad por enfermedades no transmisibles seleccionadas. *Rev. Cubana Higiene Epidemiológica*. 2008;46(3):1-14.
- [8] Ramos D, Bacca A. Importancia de la planeación de la demanda en una empresa del sector industrial [Internet]. 2014. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/143448212.pdf>
- [9] Villareal F. Introducción a los Modelos de Pronósticos [Internet]. 2016. Disponible en: https://www.matematica.uns.edu.ar/uma2016/material/Introduccion_a_los_Modelos_de_Pronosticos.pdf
- [10] Díaz-Pinzón JE. Simulador applet descartes: como didáctica de enseñanza de la función cuadrática. *INNOVA Research Journal*. 2017;2(8):69-78. DOI: <https://doi.org/10.33890/innova.v2.n8.2017.256>
- [11] Díaz-Pinzón JE. Aprendizaje de las matemáticas con el uso de simulación [Internet]. *Sophia*. 14;(1):22-30. DOI: <https://doi.org/10.18634/sophiaj.14v.1i.519>
- [12] Hernández R, Fernández C, Baptista M. Metodología de la Investigación. México, D. F.: McGraw-Hill; 2010. 656p.
- [13] Potts C. Modelo computarizado del coronavirus: “Los asintomáticos son el gran riesgo” [Internet]. 2020. Disponible en: <https://www.dw.com/es/modelo-computarizado-del-coronavirus-los-asintom%C3%A1ticos-son-el-gran-riesgo/a-52798332>
- [14] Díaz-Pinzón JE. Precisión del pronóstico de la propagación del covid-19 en Colombia [Internet]. *Revista Repertorio de Medicina y Cirugía*. 2020;29(Núm. Supl. 1):27-33. DOI: <https://doi.org/10.31260/Repert-MedCir.01217372.1045>
- [15] BMJ. Modelos de predicción para el diagnóstico y pronóstico de la infección por COVID-19: revisión sistemática y valoración crítica [Internet]. *BMJ*. 2020;369. DOI: <https://doi.org/10.1136/bmj.m1328>
- [16] Van Calster B, McLernon DJ, Van Smeden M, Wynants L, Steyerberg EW, Grupo temático ‘Evaluación de pruebas de diagnóstico y modelos de predicción’ de la iniciativa STRATOS. Calibración: el talón de Aquiles de la analítica predictiva [Internet]. *BMC Med*. 2019;17(230):1-7. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12916-019-1466-7>
- [17] Steyerberg EW. Modelos de predicción clínica: un enfoque práctico para el desarrollo, validación y actualización [Internet]. Nueva York: Springer US; 2009.
- [18] Riley RD, Ensor J, Snell KI, *et al*. Validación externa de modelos de predicción clínica utilizando grandes conjuntos de datos de registros de salud electrónica o metaanálisis de dpi: oportunidades y desafíos [Internet]. *BMJ* 2016;353(i3140):s.p. DOI: <https://doi.org/10.1136/bmj.i3140>.
- [19] Galindo-Uribarri S, Rodríguez-Meza M, Cervantes-Cota J. Las matemáticas de las epidemias: caso México 2009 y otros. *ciencia ergo-sum*. 2014;20(3):238-246.
- [20] Navarro-Robles E, Martínez-Matsushita L, López-Molina R, Fritz-Hernández F, Flores-Aldana B, Mendoza-Pérez J. Modelo para estimación del comportamiento epidémico de la influenza A (H1N1) en México [Internet]. *Revista Panamericana de Salud Pública*. 2011;4:269-274. Disponible en: <https://scielosp.org/article/rpsp/2012.v31n4/269-274/>