



CIENCIAS TECNOLÓGICAS
ARTÍCULO ORIGINAL

Importancia de los modelos de regresión no lineales en la interpretación de datos de la COVID-19 en Colombia

Importance of nonlinear regression models in the interpretation of data from COVID-19 in Colombia

Jorge Alejandro Obando Bastidas¹ , Amalia Priscila Peña Pita² ,
Laura Nathalia Obando Vargas³ , Aldemar Franco Montenegro¹ 

¹Universidad Cooperativa de Colombia, Facultad de Ciencias Económicas y Contables. Villavicencio, Colombia.

²Universidad de los Llanos, Facultad de Enfermería. Villavicencio, Colombia.

³Universidad Santo Tomás, Facultad de Negocios Internacionales. Villavicencio, Colombia.

Cómo citar este artículo

Obando Bastidas JA, Peña Pita AP, Obando Vargas LN, Franco Montenegro A. Importancia de los modelos de regresión no lineales en la interpretación de datos de la COVID-19 en Colombia. Rev haban cienc méd [Internet]. 2020 [citado]; 19(Supl.):e_3309. Disponible en: <http://www.revhabanera.sld.cu/index.php/rhab/article/view/3309>

Recibido: 16 de abril del 2020.
Aprobado: 18 de mayo del 2020.

RESUMEN

Introducción: Debido a los nocivos efectos económicos y sociales propiciados por el confinamiento de las personas, las entidades

gubernamentales de Colombia, planean una cuarentena inteligente, basados en la interpretación del comportamiento de la curva



de los datos, de la cual afirman ha presentado un reducción durante los últimos días.

Objetivo: Destacar la importancia del análisis de los métodos de correlación no lineal y todos sus procedimientos de inferencia estadística para el diseño de un modelo matemático que permita la predicción de los datos basados en las edades de los casos positivos de COVID-19 en Colombia.

Material y Métodos: Los resultados diarios se basan en el sitio web oficial del Instituto Nacional de Salud de Colombia. Todos los datos se analizan a través del *software libre R-Kward*[®] (Biblioteca R). El propósito de los análisis es evidenciar el valor de la matriz de correlación, la prueba de hipótesis, r^2 y el modelo de correlación ideal, a través del cual se realiza una predicción.

ABSTRACT

Introduction: Due to the harmful economic and social effects caused by the confinement of people, the Colombian government entities have planned an intelligent quarantine based on the interpretation of the behavior in the curve data, from which they affirm that it has shown a reduction during the last days.

Objective: To highlight the importance of the analysis of non-linear correlation models and all the statistical inference procedures for the design of a mathematical model that allows the prediction of data based on the age of positive cases of COVID-19 in Colombia.

Material and Methods: The daily results are based on the information obtained from the official website of the Colombian National

Resultados: Con un R^2 de 0,9969 muy cercano a 1, y una prueba de hipótesis que garantiza la veracidad de la hipótesis alternativa, el modelo matemático de regresión que más se aproxima al comportamiento real de los datos de crecimiento de la COVID-19 es cuadrático.

Conclusiones: El modelo cuadrático es positivo y creciente, mientras el número de contagios siga creciendo, por lo tanto, este momento no es ideal de hablar de un aplanamiento de la curva. Si el crecimiento es constante, el modelo podría tener una tendencia exponencial.

Palabras claves: Predicción, curva de crecimiento, modelos de regresión, número de contagios.

Institute of Health. The total data are analyzed through the R-Kward free software (R Library). The aim of the analysis is to show the value of the correlation matrix, hypothesis test, r^2 and the ideal correlation model, with which prediction is made.

Results: With an R^2 value of 0.9969 very close to 1 and a hypothesis test that guarantees the veracity of the alternative hypothesis, the ideal mathematical model that aligns the growth data of COVID-19 is quadratic.

Conclusions: The quadratic model is positive and increasing as long as the number of infections continue to grow; therefore, it is not an ideal moment to speak of a flattening of the curve. If the growth is constant, the model could have an



exponential trend.

INTRODUCCIÓN

El mundo se ha quedado frenado y atemorizado a causa de la COVID-19. La organización Mundial de la Salud (OMS) declaró una pandemia dos meses y medio después de presentarse el primer brote de la enfermedad en la ciudad china de Wuhan, provincia de Hubei. Asimismo, recae la importancia que en el proceso de la enfermedad aún no se ha podido determinar la diferencia entre experimentar o no, y en tener o no-tener los síntomas que se generan al inicio de la enfermedad.⁽¹⁾ Adicionalmente, se ha percibido su alto índice de contagio, ya que se ha expandido de manera acelerada en diferentes países como China, Tailandia, República Sur-coreana, Japón, Estados Unidos, Filipinas y Europa, entre otros, destacándose la importancia de adoptar medidas necesarias para reducir su letalidad.⁽²⁾

A partir de los datos recolectados hasta el momento a nivel mundial, se ha podido determinar que, en promedio, 17,9 % del total de las personas que adquieren el virus son asintomáticos; es decir, son portadores del virus y no presentan síntomas; no obstante, sí pueden contagiar a otras personas. De la población contagiada, 62,1 % presentan síntomas leves sin avanzar a un cuadro crítico si adoptan las medidas de autocuidado recomendadas, entre ellas, el aislamiento seguro. De los contagiados, 20 % requiere atención asistencial y hospitalaria obligatoria por causa de las complicaciones asociadas y 3,4 % restante ha fallecido como consecuencia de estas complicaciones.⁽³⁾

Keywords: Prediction, growth curve, regression models, number of infections.

Los altos índices de mortalidad están asociados a personas con otras patologías como cáncer, infecciones respiratorias, enfermedades cardiovasculares, diabetes e hipertensión arterial, entre otras. Pero el problema que más sigue preocupando a la sociedad médica mundial alrededor de la COVID-19 es el acelerado número de contagios que se transmite persona-a-persona (Organización Mundial de la Salud, 2019); ya que es una cadena que inicia donde un individuo contagiado no-sintomático, considerado como “no-portador” del virus y quien no ha adoptado las medidas necesarias y obligatorias de aislamiento, inicia el contagio del virus al menos a tres personas más (según los cálculos epidemiológicos observados), y estas tres, cada una a otras tres más y así, sucesivamente, hasta llegar al número actual de contagiados.⁽³⁾

Es importante tener en cuenta que el período de incubación de la COVID-19 es de 1 a 14 días aproximadamente; es decir, que desde el momento en que se adquiere el virus hasta presentar algún síntoma (en caso de manifestarse o no) pueden pasar 14 días en los que el portador sigue siendo un transmisor activo del virus (Organización Mundial de la Salud, 2019); se determina así que una persona contagiada puede transmitir el virus durante este período a 10 personas y estas 10 a otras 10 más y así, de manera sucesiva, aumenta el contagio durante los 14 días hasta alcanzar los altos niveles de transmisibilidad que se observan alrededor de



todo el mundo.

La COVID-19 es una enfermedad que se nombra de manera oficial como Coronavirus Disease-2019 (COVID-19, por la OMS el 11 de febrero de 2020, también llamada Neumonía Severa con Nuevos Patógenos, el 15 de enero de 2019, en los Centros de Control de Enfermedades (CDC) de Taiwán. Es posiblemente una enfermedad zoonótica potencial con tasa de mortalidad estimada entre 2 % a 5 %. El modo de transmisión es de persona-a-persona cuando el portador del virus, con o sin síntomas, al toser o estornudar expulsa partículas de saliva con el virus, el cual, por contacto directo pasa a otras personas al no tener los equipos de protección personal necesarios (guantes y tapabocas).⁽²⁾ Actualmente no se cuenta con un tratamiento definitivo y efectivo contra la COVID-19.⁽⁴⁾

Para el Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia (MinSalud), los Corona-Virus (CoV) aparecen de manera periódica en diferentes partes del mundo y causan Infección Respiratoria Aguda (IRA), comúnmente llamada gripa; la cual se clasifica como leve, moderada y grave. Pero en diciembre de 2019, surge un nuevo coronavirus: COVID-19. Un par de meses después, la OMS determina su presencia y propagación como una Emergencia de Salud Pública en el mundo. En Colombia se reportó el primer caso el día 6 de marzo de 2020 (Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia, 2019). Entre los síntomas se destacan temperatura corporal mayor a 37 °C, tos, disnea, fatiga, secreciones nasales y malestar general.⁽⁵⁾

Para prevenir la propagación de la COVID-19 en Colombia, el Ministerio de Salud determinó

algunas medidas de autocuidado. Entre las que se destacan: el lavado de manos frecuente con agua y jabón (al menos cada 3 horas), evitar el acercamiento a personas enfermas, al estornudar cubrirse con la parte interna del codo, al tener algún resfriado quedarse en casa y usar tapabocas, limpiar, lavar y desinfectar los elementos y superficies que se tocan con frecuencia y ventilar la casa.⁽⁶⁾ De igual forma, el Gobierno Nacional inició el control en el avance de la epidemia en el país mediante medidas como limitar la entrada de personas que provienen de países en los que se ha presentado el virus, proteger la población más vulnerable (niños, adolescentes y adultos mayores), suspender clases de colegios y universidades, al igual que limitar el número de personas en eventos públicos. No obstante, es importante saber que la COVID-19 puede afectar a cualquier persona sin tener en cuenta la edad. De manera particular, se han detectado menos casos en niños y se han presentado muertes a causa del virus en adultos mayores que padecían otras patologías como diabetes, asma e hipertensión arterial.⁽⁶⁾

De igual modo, con respecto a las lecturas de los datos por los principales medios de comunicación como son la prensa, la radio, el Ministerio de Salud Pública de Colombia, 2020, e incluso en las redes sociales hacen lecturas limitándose exclusivamente a la visualización de estos datos, dispuestos en una curva, sin mostrar la significancia estadística ni comprobar desde la inferencia las hipótesis que se plantean alrededor de la observación de estos datos; ignorando de esta manera evaluar críticamente la evidencia publicada y mejora de decisiones complejas en la



práctica diaria.⁽⁷⁾

Por ejemplo, proponen que en Colombia y Latinoamérica el crecimiento de contagios es exponencial; con el unido análisis: “Es fácil observarlo en el gráfico logarítmico”, sin argumentos estadísticos y con explicaciones que propician confusión. (El país.com “Así evoluciona la curva del coronavirus en México, Colombia, Chile, Argentina y el resto de Latinoamérica”, 7 de abril de 2020). Ante este tipo de lectura se propone en el presente artículo, los elementos de la estadística inferencial, para que, desde los supuestos lógicos de la inferencia de los modelos lineales y no lineales, se proponga una lectura real y contundente que conlleve a la explicación

del comportamiento de los datos y una predicción, que evidencie la realidad del problema y mejore las decisiones, con respecto a las medidas requeridas y cuándo lo deben hacer, según el comportamiento de los datos.

Por otro lado, los modelos de correlación lineal y no lineal, han sido referenciados ampliamente por diversidad de autores, quienes los han aplicado en diferentes campos del saber. Por ejemplo,^(8,9,10,11,12,13) hacen uso de modelos no lineales como los de los modelos Brody, Von Bertalanffy, Richards, logístico y Gompertz, denominados modelos de efectos fijos. (Tabla 1).

Tabla 1 - Representación de modelos no lineales, usados en diferentes estudios

Modelo	No de parámetros	Expresión Matemática
Logístico	3	$y = \frac{a}{(1 + be^{-cx})}$
Gompertz	3	$y = a(b^{cx})$
Von Bertalanffy	3	$y = a * (1 - be^{-cx})$

Leyenda: y = Número de días de contagio; x = Número de contagiados;
 a = Estimativo del crecimiento del contagio; b = Parámetro de contagio;
 c = Estimativo de precocidad de contagio diario de COVID-2019

Se aplica el modelo jerárquico o multinivel ⁽¹⁴⁾ para hacer uso de las correlaciones no lineales desde el *software* estadístico SPSS. Estos modelos permiten estudiar la relación entre dos variables. Algunos de estos modelos parten de una estructura matemática polinómica, determinan el grado de relación entre las variables que se modelan y se basan en las estructuras matemáticas establecidas por los polinomios aritméticos

$$y = p(x) = \sum_{i=1}^n \beta_i X^{i-1}$$

En el *software R-Kward*, en el cual se simulará el crecimiento de los datos, permite la comparación de estos modelos, y determina con el p-valor y el valor del R², cuál es el modelo que mejor predice. Los modelos que evidencia esta aplicación se observan en la tabla 2.



Tabla 2 - Modelos matemáticos que explican una relaciona en R-Kward

Modelo	Expresión Matemática	Coefficientes de correlación
Lineal	$y = \beta_1 + \beta_2x$	$r_{xy} = \frac{Cov(x, y)}{S_x S_y}$
Cuadrático	$y = \beta_1 + \beta_2x + \beta_3x^2$	Ecuación de predicción $\hat{y} = \hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_2x + \hat{\beta}_3x^2$ $r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$
Cúbico	$y = \beta_1 + \beta_2x + \beta_3x^2 + \beta_4x^3$	$\hat{y} = \hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_2x + \hat{\beta}_3x^2 + \hat{\beta}_4x^3$ $r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$
Potencial	$y = a * x^b$	$r_{\log(x)\log(y)} = \frac{Cov(\log(x), \log(y))}{S_{\log(x)} S_{\log(y)}}$
Exponencial	$y = a * b^x$	$r_{x\log(y)} = \frac{Cov(x, \log(y))}{S_x S_{\log(y)}}$
Logarítmico	$y = a + b * \log(x)$	$r_{\log(x)y} = \frac{Cov(\log(x), y)}{S_{\log(x)} S_y}$

Sea cual sea el campo de aplicación, el objetivo es construir un modelo representado en una ecuación matemática que permita la predicción. Dicho modelo requiere de validación previa determinada por coeficiente de correlación R² y un P-valor que proponga una relación directa entre las variables que se están relacionando; es decir, que se establezca una hipótesis, la cual tendrá la siguiente estructura.

$$H: \begin{cases} \beta = 0 \\ \beta \neq 0 \end{cases}$$

O sea, el contraste de regresión, Quedaría de la forma:

Hipótesis nula verdadera

En este caso se concluye que no hay evidencias de una relación entre las variables y el modelo y, por tanto, no es el modelo apropiado. Puede

existir una relación en la población, pero la muestra elegida no la detecta.

Hipótesis nula falsa

Se concluye que el modelo es apropiado. Puede que exista una relación lineal o no lineal y los datos son también consistentes con el modelo ideal elegido.

Si el modelo es ideal, siendo la hipótesis alternativa verdadera y el R², se acerca a 100 %, entonces, la ecuación matemática que se construye desde la correlación de los datos, predice con certeza el comportamiento de estos. El **objetivo** de esta investigación es destacar la importancia del análisis de los métodos de correlación no lineal y todos sus procedimientos de inferencia estadística para el diseño de un modelo matemático que permita la predicción de



los datos basados en las edades de los casos positivos de la COVID-19 en Colombia. Esto permitirá también evidenciar la importancia de

MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizó un estudio predictivo a través del diseño de un modelo comprendido entre el 17 de marzo y el 13 de abril; ya que estos estudios predicen, comportamientos controlando intervenciones y analizando resultados en diferentes condiciones con el fin de establecer efectos predecibles que ofrecen elementos para el establecimiento de normas y controles.

Los resultados de crecimiento de contagios de la COVID-19 en Colombia se evidencian en la página oficial del Ministerio de Salud, diseñada exclusivamente para realizar informes, sobre el avance de contagios. (<https://www.ins.gov.co/Noticias/Paginas/Coronavirus.aspx>). En vivo se observa el crecimiento diario, tanto de los nuevos contagios como de los que han superado los efectos del virus y los que han padecido. Los resultados se proponen en simulación, pero también es posible obtenerlos en archivo Excel, donde se discrimina la información, por género, edad, ciudad, fecha de

reconocer el papel de la estadística en la comprensión de problemas reales.

diagnóstico, si es importado o relacionado y el país de procedencia.

Al 13 de abril de 2020, en la página se observa que existen 2 776 casos confirmados, 270 recuperados y 109 muertos. Para el análisis de correlación, se toman los datos de las columnas, fecha de diagnóstico, desde el 17 de febrero, primer día en que se identifican contagios hasta el 10 de abril; y el número de contagiados acumulados día a día en las fechas establecidas. Los procedimientos estadísticos se realizan en el software libre R-Kward⁽¹⁵⁾ y las gráficas que acompañan el proceso se realizaron en Excel.

Método Estadístico

Se aplica el modelo jerárquico o multinivel, donde se busca el mejor R² y probar bajo un Pvalor <0,05, cuál es el mejor modelo, con el que se realiza la predicción que permitirá comparar resultados que se ya se han dado y los que se esperan. Los resultados de la predicción se apuntarán en la tabla 3.

Tabla 3 - Resultados de predicción

Fecha	Día	Contagios	Acumulado	Dato Predictivo	Porcentaje de error
feb-27	1	2	2		
feb-28	2	1	3		
feb-29	3	3	6		
mar-01	4	4	10		
mar-02	5	3	13		
mar-03	6	1	14		



mar-04	7	3	17		
mar-05	8	7	24		
mar-06	9	14	38		

Hipótesis

Nula

No existe evidencia de una relación entre los datos del crecimiento diario acumulado de los contagiados del COVID-2019 en Colombia y el modelo ideal, por tanto, no es el modelo apropiado.

Alternativa

Existe evidencia de una relación entre los datos

del crecimiento diario acumulado de los contagiados del COVID-2019 en Colombia y el modelo ideal, por tanto, es el modelo apropiado. Haciendo uso del software se obtendrá la siguiente tabla, la cual permitirá escoger cual es el modelo ideal que se ajustan a los datos que correlacionan el crecimiento acumulado con el tiempo que ha transcurrido. (Tabla 4).

Tabla 4 - Comparación de modelos

Modelo	$0 < R^2 < 1$	P-valor < 0,05
Cuadrático		
Potencial		
Lineal		
Logarítmico		
Exponencial		

R al cuadrado (Coeficiente de determinación)

Los datos simulados y extraídos de la página del Ministerio de Salud Pública de Colombia, tienen el aspecto que se muestra en la tabla 5, donde el 27 de febrero es el primer día en el cual se identificó 1 caso positivo, y el 6 de marzo corresponde al día 9, en el cual se identificaron 14

casos, y ya se habían acumulado, 38 casos. El ejercicio se realizará desde el día 20 hasta el día 44 que corresponde al 9 de abril en donde se registraron 10 casos y existía un acumulado de 2 831, casos confirmados.

Tabla 5 - Datos simulados y extraídos de la página del Ministerio de Salud Pública de Colombia

Fecha	feb-27	feb-28	feb-29	mar-01	mar-02	mar-03	mar-04	mar-05	mar-06
día	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Contagios	2	1	3	4	3	1	3	7	14
Acumulado	2	3	6	10	13	14	17	24	38



La integridad de los datos está determinada por la fuente de donde se obtienen; que corresponde a la base de datos abiertos de Colombia y que se predisponen en la plataforma *datos.gov.co.*; de esta base se recogen las edades, sin alterar ninguno, por lo que se garantiza que se

cumplieron en todo momento con los principios éticos requeridos para la exposición de este trabajo. la investigación no demandó gastos económicos ni recursos materiales importantes.

RESULTADOS

Los resultados se mostrarán en el siguiente orden:

- Visualización de la nube de puntos, la que permitirá determinar visualmente el tipo de modelo de regresión.
- En el *software (R-Kward)* se obtiene la tabla que permite escoger y comparar el modelo ideal, basado en el valor del R^2 .
- Teniendo en cuenta los resultados de la tabla anterior, se plantea la hipótesis con el modelo ideal y se decide de acuerdo con el resultado del P-valor.
- Estructura matemática del modelo ideal identificado.
- Con el modelo ideal se realiza la predicción y se calculan los porcentajes de error.

Exploración de la nube de puntos

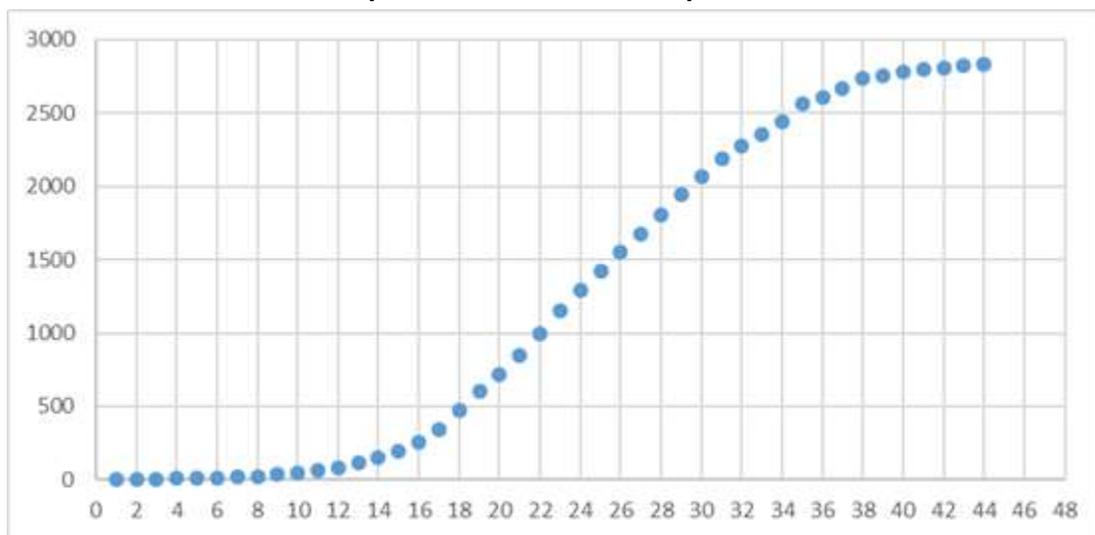


Fig. 1 - Nube de puntos de los datos acumulados desde el primer día hasta el día 44

Desde la visualización de la figura 1, se observa claramente que el modelo toma un acercamiento a un modelo de regresión cuadrático, no

corresponde a un modelo lineal, tampoco tiene aspecto de un modelo de regresión exponencial
Comparación de modelos

Tabla 6 - Comparación de modelos

Modelo	R ²	P-valor
Cuadrático	0.9969	< 2.22e-16
Exponencial	0.9619	< 2.22e-16
Potencial	0.947	< 2.22e-16
Lineal	0.9346	< 2.22e-16
Logarítmico	0.6598	1.5314e-07

P Valor Se refiere a la probabilidad. La tabla lo presenta en notación científica. Puede considerarse $p \leq 0.01$, o sea, 1 % de significación.

La tabla 6, determina de acuerdo con el R², que el mejor modelo, es el cuadrático, ya que presenta la mejor aproximación a 1, en este caso R² = 0,9969, el modelo exponencial, potencial, lineal, presentan un buen R², lo que propondría una tendencia de los datos de acuerdo con el crecimiento o decrecimiento de los casos de contagio. El modelo logarítmico se aleja de la relación entre estas variables, presentan un R² un poco menor que los anteriores.

Hipótesis con respecto al modelo ideal

Nula

No existe evidencia de una relación entre los datos del crecimiento diario acumulado de los contagiados de la COVID-19 en Colombia y el modelo cuadrático, por tanto, no es el modelo apropiado.

Alternativa

Existe evidencia de una relación entre los datos del crecimiento diario acumulado de los

contagiados de la COVID-19 en Colombia y el modelo cuadrático, por tanto, es el modelo apropiado.

De la observación de la Tabla 6, se determinó que el modelo ideal es el cuadrático, de acuerdo con el máximo valor que R² presenta. Con respecto a la misma tabla Pvalor = $2.22e^{(16)} < 0,05$, lo que evidencia la veracidad de la hipótesis alterna y la negación de la hipótesis nula; luego, si existe evidencia de una relación entre los datos del crecimiento diario acumulado de los contagiados de la COVID-19 en Colombia y el modelo cuadrático, por tanto, de acuerdo con el comportamiento de los datos, es el modelo apropiado.

Modelo matemático de la regresión cuadrática de los datos de crecimiento diario COVID-2019 en Colombia

$$\text{Contagios} = 115,0317 - 4,0397 \cdot \text{Día} + 3,8158 \cdot \text{Día}^2$$

Tabla 7 - Coeficientes del Modelo

Coeficiente	Estimación	Error estándar	Estadístico t	p-valor
(Intercpt)	115,0317	32,15916	3,576951	0,001454957

Día	-	5,111	-	0,43675
l(Día ²)	4,039683	0,1710424	0,7903468	875,064764e-18



La tabla 7 verifica la validez significativa de todos los componentes del modelo, el intercepto positivo, evidencia el punto del corte de la gráfica con el eje de las variables dependientes, contagios. Cada pareja de puntos del plano del modelo ideal corresponde a una pareja del tipo (día, contagios). Sobre este modelo ideal, por su significancia y por el valor del coeficiente de correlación R^2 , se posible sobre él hacer

predicción, para examinar qué puede pasar en los siguientes días que están por venir.

Predicción

Teniendo en cuenta todos los supuestos establecidos anteriormente, es posible realizar la predicción, con el modelo cúbico, el cual es el ideal y representativo del modelo de crecimiento de contagios en Colombia.

Tabla 8 - Predicción en los últimos 10 días

Fecha	Día	Acumulado	Dato Predictivo	Porcentaje de error
abr-05	20	1485	1560	5,1
abr-06	21	1579	1712	8,4
abr-07	22	1780	1873	5,2
abr-08	23	2054	2040	0,7
abr-09	24	2223	2215	0,4
abr-10	25	2473	2398	3,0
abr-11	26	2709	2787	2,9
abr-12	27	2776	2993	7,8
abr-13	28	2979	3206	7,6
abr-14	29		3206	5,1
abr-15	30		3428	

Como se observa en la tabla 8, la columna de acumulados representa el dato real, a la fecha estipulada en la tabla. La columna de dato predictivo, son los valores validados en la ecuación matemática, representada por el modelo. El modelo tanto matemático como inferencial se realizó desde la fecha en que, en Colombia, se decreta la cuarentena, marzo 17; el ejercicio de predicción se realizó sobre los

últimos 10 días, donde se ha notado un mayor crecimiento.

En la columna de porcentaje de error se pueden observar porcentajes bajos, lo que evidencia lo asertivo del modelo. Al continuar creciendo el número de contagios, el modelo predice que, para el 15 de abril, dato que aún no se conoce, serían 3 428 los contagiados.



DISCUSIÓN

Mientras el gobierno busca implementar una serie de protocolos especiales para que algunos sectores de la economía puedan retomar su operación y así garantizar la mayor cantidad de trabajadores en sus funciones posibles, en Colombia el número de casos diarios y acumulados sigue creciendo; eso se evidencia en los resultados de los últimos 10 días. El modelo matemático diseñado y valorado desde los supuestos e inferencias de la estadística, siempre va a predecir un número creciente y en forma cuadrática; es decir, de acuerdo con la estadística, cada día habrá un número mayor de contagios.

Dichos resultados llaman la atención, porque no se puede pensar en descuidar la cuarentena, máxime si los expertos afirman que la única vacuna efectiva contra el Coronavirus es el aislamiento social⁽¹⁶⁾ y si el modelo con un coeficiente cuadrático y un término independiente positivo, nunca deja de crecer, por lo que sería contra- dictorio intentar levantar el aislamiento social, cuando está por delante esta realidad develada desde la estadística.

Son evidentes las aplicaciones que se dan desde los procesos de implementación de los modelos de correlación no lineal y el propósito es casi similar; por ejemplo, se observa como estos

modelos^(8,17) se usan para describir y predecir el crecimiento de animales como un objetivo principal; en estos se establecen comparaciones entre modelos, para determinar el ideal y poder evidenciar cómo sería el crecimiento de los animales en condiciones determinadas por el experimento. Aunque en el presente artículo no sea esta la intención, si se busca de la misma manera describir y predecir el comportamiento de los datos de crecimientos de positivos a la COVID-19 en Colombia.

Pero la aplicabilidad de estos modelos sobrepasa la observación de experimentos realizados en animales. Otras líneas de las Ciencias Sociales también abordan la correlación no lineal y buscan establecer modelos predictivos que permitan describir las variables y hacer sobre ellos procesos de inferencia, los cuales concluyen en la presencia de un modelo ideal y el uso de este modelo en la predicción. Por ejemplo, se observan trabajos que relacionan la siniestralidad laboral,^(18,19) cuyas variables parten de datos usualmente recogidos bajo la forma de recuentos de sucesos que ocurren durante un período de tiempo definido y experimentos que permiten una correlación no lineal entre clima organizacional y la calidad en el servicio en una institución educativa.

CONCLUSIONES

El crecimiento de los contagios de la COVID-19 en Colombia, es cuadrático y creciente desde el momento en que la curva se construye, los

porcentajes de error no son tan altos, y para algunos casos, es casi perfecto, lo que hace más evidente la eficiencia de la predicción del modelo.



La estadística evidencia que no es un crecimiento exponencial, aunque la valoración matemática e inferencial, no lo descartan; el descuido en las

medidas de acuartelamiento puede promover que este fenómeno, asuma dicha tendencia.

RREFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Kim KH. COVID-19. *Int Neurourol J.* 2020; 24(1):1-1.
2. Wu YCh, Chen ChS, Chan YJ. The outbreak of COVID-19: An overview. *J Chin Med Assoc.* 2020;83(3):217-220.
3. Veletti J. Sin duda el mejor video que he encontrado en WhatsApp. [Vídeo]. Facebook. 28 de marzo de 2020. [Citado 30/03/202]. Disponible en: <https://www.facebook.com/jveletti/videos/2566827740306690/?t=2>
4. Sun ML, Yang JM, Sun YP, Su GH. Inhibitors of RAS Might Be a Good Choice for the Therapy of COVID-19. *Pneumonia. Chinese Journal of Tuberculosis and Respiratory Diseases [Internet].* 2020 Feb [Citado 16/03/2020];43:[aprox. 2 p.]. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/32061198>
5. Ministerio de Salud y Protección Social. Prevención enfermedades transmisibles CORONAVIRUS (COVID-19) ¿A quiénes afecta y cuáles son sus síntomas?. Colombia: Ministerio de Salud y Protección Social; 2020.
6. Ministerio de Salud y Protección Social. Prevención enfermedades transmisibles CORONAVIRUS (COVID-19) ¿Cómo prevenirlo?. Colombia: Ministerio de Salud y Protección Social; 2020.
7. Santabárbara J, López Antón R. Actitudes hacia la estadística en residentes de medicina que cursan un posgrado de investigación. *Revista de la Fundación Educación Médica;* 2019;22(2):79-83.
8. Malhado C, Ramos A, Carneiro P, Souza J, Wechsler F, Eler J. Modelos no lineales para describir el crecimiento de bufalinos de la raza Murrah. *Archivos de zootecnia.* 2008;57(220):497-503.
9. Carrero O, Jerez M, Macchiavelli R, Orlandoni G, Stock J. Ajuste de curvas de índice de sitio mediante modelos mixtos para plantaciones de *eucalyptus urophylla* en Venezuela. *Interciencia.* 2008;33(4):265-72.
10. Noguera R, Pereira R y Solarte C. Comparación de modelos no lineales para describir curvas de crecimiento en cuyes (*Cavia porcellus*) desde el nacimiento hasta la edad de sacrificio. *Livestock Research for Rural Development.* 2008; 20(5):1-9.
11. Galeano V, Cerón M. Modelación del crecimiento de pollitas Lohmann LSL con redes neuronales y modelos de regresión no lineal. *Revista MVZ Córdoba.* 2013; 18(13):3861-7.
12. Domínguez V, Ortega G, Rodríguez A, Aguilar P, Santillán M, Callejas J. Ajuste de modelos no lineales para caracterizar el crecimiento de bovinos Hereford y Salers. *Revista Científica.* 2014;24(5):436-2.
13. Parés C, Pere M, Kucherova I. Comparación de modelos no lineales para describir curvas de crecimiento en la cabra catalana. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú.* 2014;25(3):390-8.
14. Pardo A, Ruiz M, San Martín R. Cómo ajustar e interpretar modelos multinivel con SPSS. *Psicothema.* 2007;19(2):308-21.
15. Sánchez Alberca A. (2014). *rkTeaching* (versión 1.2) Software estadístico [software]. Jekll:Bootstrap [Citado 10/04/2020]. Disponible en: <http://aprendeconalf.es/rkteaching-version1.2>
16. Gayol F, Sánchez A, Conde D. Aislamiento social y dependencia en la población anciana de una población rural. *RqR Enfermería Comunitaria [Internet].* 2020 [Citado 16/03/2020];8(1):12-22. Disponible en: <https://www.seapaonline.org/revistas/63-rqr->



[enfermeria-comunitaria-vol-8-n-1-invierno-2020](#)

17. Torres V, Barbosa I, Meyer R, Noda A, Sarduy L. Criterios de bondad de ajuste en la selección de modelos no lineales en la descripción de comportamientos biológicos. Revista Cubana de Ciencia Agrícola. 2012;46(4):345-50.

18. Tomás J, Rodrigo M, Oliver A. Modelos lineales y

no lineales en la explicación de la siniestralidad laboral. Psicothema. 2005;7(1):154-63.

19. Sotelo A. El clima organizacional y su correlación con la calidad en el servicio en una institución de educación de nivel medio superior. Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo.2017; 8(15):582-609.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Contribución de autoría

JAOB: Análisis de datos, construcción de modelos, metodología, conclusiones.

APPP: Introducción, análisis de variables.

LNOV: Traducción, preparación de bases de datos, ajuste a las normas de la revista.

AFM: Introducción, conclusiones.

Todos los autores participamos en la discusión de los resultados y hemos leído, revisado y aprobado el texto final del artículo.

