

# Avances en Ciencia, Salud y Medicina

Órgano Oficial de Difusión de los Servicios de Salud de Oaxaca

Julio - Septiembre 2020

Vol. 7 Núm. 3

## Modelación matemática de la pandemia COVID-19 en Oaxaca.

Solano-Ceh Miguel Ángel,<sup>1</sup> Coronado-García Rubén<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Comando Operativo en Salud COVID-19, Servicios de Salud de Oaxaca.

### Correspondencia:

Dr. Miguel Ángel Solano Ceh.  
Comando Operativo en Salud COVID-19.  
Servicios de Salud de Oaxaca.  
Escuela Naval Militar # 701, Esq. Dalias,  
Col. Reforma, Oaxaca, Oax. CP 68050,

Teléfono: 951 286549

Correo-e: solanoceh@hotmail.com

### Detalles de Artículo

Recibido: 15-Mayo-2020

Aceitado: 10-Junio-2020

### Cómo citar este artículo:

Solano-Ceh MA, Coronado-García R. Modelación matemática de la pandemia COVID-19 en Oaxaca. *Avan C Salud Med* 2020; 7 (3):80-86.

*Mathematical modeling of the COVID-19 pandemic in Oaxaca.*

### Abstract

**Introduction:** Mathematical models to predict the evolution of the COVID-19 epidemic have become an important tool for decision makers in public health. A relatively simple mathematical model to use is simple linear regression or least squares regression. The purpose of this study was to analyze the utility of the linear regression model in the behavior of the COVID-19 pandemic in the state of Oaxaca, determining the trend of Suspicious Cases, Confirmed Cases, Deaths and Hospitalizations due to COVID-19.

**Material and methods:** The number of incident cases of COVID-19 registered per week in the database of the Epidemiological Surveillance System for Respiratory Diseases (SISVER), corresponding to the State of Oaxaca, in the period from March 1 to 31, was used. May 2020 (week 10 to 22), (Table 1). The Office Excel® version 2016 package was used.

**Results:** For suspected cases, the model that best adjusted to the forecast of cases was the linear model, although it was not statistically significant ( $r = 0.93$ ,  $r^2 = 86\%$ ,  $p = 0.372$ ); for confirmed cases it was the polynomial model ( $r = 0.98$ ,  $r^2 = 96\%$ ,  $p = 0.000$ ) as well as for deaths ( $r = 0.92$ ,  $r^2 = 84\%$ ,  $p = 0.008$ ) and hospitalizations ( $r = 0.78$ ,  $r^2 = 61\%$ ,  $p = 0.057$ ) although in the latter it was not significant.

**Discussion:** Even when there are some statistical premises that cannot always be fulfilled, Pearson's correlation can be a viable option at the operational level, to describe the behavior of the cases in the short term.

**Keywords:** Mathematical Model, COVID-19, Pearson's Correlation.

### Resumen

**Introducción:** Los modelos matemáticos para predecir la evolución de la epidemia por COVID-19 se han vuelto una herramienta importante para los tomadores de decisiones en salud pública. Un modelo matemático relativamente sencillo de usar, es el de regresión lineal simple o regresión de cuadrados mínimos. El objeto del presente estudio fue analizar la utilidad del modelo de regresión lineal en el comportamiento de la pandemia por COVID-19 en el estado de Oaxaca, determinando la tendencia de los casos sospechosos, casos confirmados, defunciones y hospitalizaciones por COVID-19.

**Material y métodos:** Se utilizó el número de casos incidentes de COVID-19 registrados por semana en la base de datos del Sistema de Vigilancia Epidemiológica de Enfermedades Respiratorias (SISVER), correspondiente al

estado de Oaxaca, en el período del 1 de marzo al 31 de mayo de 2020 (semana 10 a la 22). Se utilizó el paquete Office Excel® versión 2016.

**Resultados:** Para los casos sospechosos el modelo que mejor se ajustó a la previsión de casos fue el modelo lineal, aunque no fue estadísticamente significativo ( $r=0.93$ ,  $r^2=86\%$ ,  $p=0.372$ ); para los casos confirmados fue el modelo polinómico ( $r=0.98$ ,  $r^2=96\%$ ,  $p=0.000$ ) al igual que para las defunciones ( $r=0.92$ ,  $r^2=84\%$ ,  $p=0.008$ ) y las hospitalizaciones ( $r=0.78$ ,  $r^2=61\%$ ,  $p=0.057$ ) si bien en este último no fue significativo.

**Discusión:** Aun cuando hay algunas premisas estadísticas que no siempre pueden cumplirse, la correlación de Pearson puede ser una opción viable en el nivel operativo, para describir el comportamiento de los casos a corto plazo.

**Palabras Clave.** Modelo matemático, COVID-19, Correlación de Pearson.

## Introducción

En la primera semana del mes de abril de 2020 se registró el primer caso confirmado de COVID-19 en el estado de Oaxaca, a partir de la fecha y al momento de la redacción del presente, se han notificado en la entidad más de 10,000 casos sospechosos, 5,000 casos confirmados y más de 600 defunciones.<sup>1</sup> Dada su fácil transmisión, gravedad y rápida propagación, una pregunta frecuente en todos los niveles de la sociedad, es cuándo ocurrirá el pico de la epidemia y otros más se preguntan en que momento concluirá la 1a. oleada (si es que habrá alguna).<sup>2,3</sup> Los modelos matemáticos para predecir la evolución de la epidemia se han vuelto una moda en los países afectados por COVID-19.<sup>4</sup> La mayoría pertenecen al modelo denominado SIR (susceptible, infectado, recuperado), o SEIR, que introduce a los expuestos.<sup>5</sup> Este modelo empezó a tener notoriedad con la pandemia de influenza H1N1 y hoy día cobró mayor popularidad gracias al internet que permitió desarrollar calculadoras epidemiológicas *on line* que facilitan “modelar” con diferentes posibilidades la pandemia. Con esta metodología se puede predecir con cierto grado de certidumbre el número de posibles infectados, el número de camas UCI necesarias o la tasa de contagios a futuro.

Una limitación para la elaboración de los modelos comentados, radica en la complejidad de la información con que se alimenta, principalmente cuando se pretende su aplicación en el nivel local.<sup>6</sup> Datos como la población susceptible base, el período sobre el que se aplica el modelo, la duración media de la enfermedad, la tasa diaria de interacción y la probabilidad de contagio, no siempre están disponibles y siempre se corre el riesgo de

pensar que se pueden utilizar los datos de otras regiones, asumiendo que el comportamiento humano, la adherencia al confinamiento, la etapa de la epidemia y otros factores (económicos, culturales, sociales) son homogéneos. Un modelo matemático relativamente sencillo de emplear, es la regresión lineal simple o regresión de cuadrados mínimos.<sup>7</sup> Utilizando la ecuación planteada por Karl Pearson (coeficiente de correlación R) es posible ajustar y predecir el valor de una variable dependiente (Y) a partir del conocimiento de otra variable independiente (X).<sup>8-10</sup> El programa Excel® permite calcular este coeficiente, utilizando como referencia la gráfica del comportamiento lineal de los casos conforme a una línea del tiempo. Aun cuando existen algunas premisas estadísticas que no siempre pueden cumplirse,<sup>11</sup> la correlación de Pearson puede ser una opción viable en el nivel operativo, para describir el comportamiento de los casos a corto plazo.

El objetivo del presente estudio fue analizar la utilidad del modelo de regresión lineal en el comportamiento de la pandemia por COVID-19 en el estado de Oaxaca, determinando la tendencia de los casos sospechosos, casos confirmados, defunciones y hospitalizaciones por COVID-19.

## Material y métodos

Se utilizó el número de casos incidentes de COVID-19 registrados por semana en la base de datos del Sistema de Vigilancia Epidemiológica de Enfermedades Respiratorias (SISVER), correspondiente al estado de Oaxaca, en el período del 1 de marzo al 31 de mayo de 2020 (semana 10 a la 22), (tabla 1). Se utilizó el paquete Office Excel® versión 2016.

**Tabla 1.** Variables del SISVER.

| Nombre   | Descripción                                                                 |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------|
| FECHREG  | Fecha de registro del caso DD/MM/AAAA.                                      |
| SEM_REG  | Semana del registro del caso de acuerdo a la variable FECHREG.              |
| RESDEFIN | Resultado definitivo por laboratorio, se seleccionó la opción "SARS-CoV-2". |
| FECINISI | Fecha de inicio de síntomas del caso DD/MM/AAAA.                            |
| SEM_INI  | Semana de inicio del caso calculado según variable FECINISI.                |
| TIPACIEN | Tipo de paciente, se seleccionó la opción "HOSPITALIZADO".                  |
| FECINGRE | Fecha de ingreso a la unidad, del caso, formato DD/MM/AAAA.                 |
| SEM_INGR | Semana de ingreso a la unidad del caso, calculado según variable FECINGRE.  |
| EVOLUCI  | Evolución final del caso, se seleccionó la opción "DEFUNCIÓN".              |
| FECDEF   | Fecha de defunción del caso, formato DD/MM/AAAA.                            |
| SEM_DEF  | Semana defunción del caso, calculado según variable FECDEF.                 |

Se clasificaron los casos de la siguiente forma: 1) casos sospechosos, 2) casos confirmados, 3) defunciones por COVID-19, 4) pacientes hospitalizados por COVID-19. Para el conteo de los casos sospechosos se utilizó la fecha de registro del caso, para los casos confirmados la fecha de inicio de síntomas, en el caso de las defunciones la fecha de la defunción y en los hospitalizados la fecha de ingreso al hospital. Para el cálculo de la semana se utilizó la función: NÚM.DE.SEMANA (). Se consideró como casos confirmados los que cumplieran el criterio de "SARS-CoV-2" en la variable de resultado definitivo.

Después se elaboró en Excel® un gráfico de líneas por cada uno de los cuatro estatus mencionados, correspondiendo el eje de las "X" a la semana y el de las "Y" al número de casos. No se consideraron para el análisis a los casos de la semana en curso y la inmediata anterior. Una vez elaborada la gráfica lineal, se agregó la línea de tendencia en tres comportamientos: lineal, exponencial y polinomial. Se seleccionaron las opciones: presentar ecuación y presentar valor R cuadrado. Ajuste del modelo matemático. Para la elaboración del modelo matemático se calcularon el coeficiente de

Pearson, el coeficiente de determinación y el valor de p. Se organizaron los datos en variable independiente "X" (semana) y variable dependiente "Y" (casos observados). Se calculó el coeficiente de correlación de Pearson utilizando la función PEARSON. Para la medición del coeficiente de determinación se utilizó la función POTENCIA. Se obtuvo el valor de p, utilizando la función PRUEBA.T. N. Proyección de casos esperados. Una vez obtenidas las diferentes ecuaciones, se elaboró una plantilla en Excel® considerando "X" como la variable Independiente (semana) y "Y" a la variable dependiente (casos esperados). Se realizó la previsión de casos esperados hasta la semana 26. Esta previsión se cotejará cuatro semanas después, con los casos reales notificados.

## Resultados

Correlación entre el número de la semana y el número de los casos hasta la semana 22: Ésta fue positiva y estadísticamente significativa en todos los estatus de pacientes. Siendo la asociación más fuerte en las defunciones ( $r=0.96$ ) y más débil en los casos sospechosos ( $r=0.85$ ) (tabla 2).

**Tabla 2.** Correlación entre la semana y casos observados de COVID-19, según su estatus, hasta la semana 22, 2020.

|                     | CASOS<br>SOSPECHOSOS | CASOS<br>CONFIRMADOS | DEFUNCIONES<br>COVID-19 | HOSPITALIZADOS<br>IRAG |
|---------------------|----------------------|----------------------|-------------------------|------------------------|
| Coef. Pearson       | 0.85                 | 0.87                 | 0.96                    | 0.92                   |
| Coef. determinación | 72%                  | 76%                  | 92%                     | 85%                    |
| $p$                 | 0.008                | 0.028                | 0.018                   | 0.001                  |

Correlación entre los casos observados hasta la semana 22 y los casos previstos a la misma semana: En los casos sospechosos la correlación estadísticamente significativa se observó sólo en el modelo lineal ( $r=0.87$ ;  $p=0.036$ ). En los casos confirmados las correlaciones significativas se observaron en el modelo lineal ( $r=0.84$ ;

$p=0.009$ ) y polinómico ( $r=0.98$ ;  $p=0.011$ ). En las defunciones el modelo lineal y polinómico fueron estadísticamente significativos ( $r=0.96$ ;  $p=0.042$  y  $r=0.99$ ;  $p=0.004$ , respectivamente). El modelo lineal fue el que más se ajustó en el caso de las hospitalizaciones ( $r=0.96$ ;  $p=0.009$ ) (tablas 3 y 4).

**Tabla 3.** Correlación entre los casos observados de COVID-19 y su previsión, según su estatus y modelo matemático, ambos hasta la semana 22, 2020.

|                    | CASOS SOSPECHOSOS |             |            | CASOS CONFIRMADOS |             |            | DEFUNCIONES COVID-19 |             |            | HOSPITALIZACIONES |             |            |
|--------------------|-------------------|-------------|------------|-------------------|-------------|------------|----------------------|-------------|------------|-------------------|-------------|------------|
|                    | Lineal            | Exponencial | Polinómica | Lineal            | Exponencial | Polinómica | Lineal               | Exponencial | Polinómica | Lineal            | Exponencial | Polinómica |
| Coef. Pearson      | 0.87              | 0.95        | 0.96       | 0.84              | 0.97        | 0.98       | 0.96                 | 0.95        | 0.99       | 0.96              | 0.98        | 0.99       |
| Coef determinación | 75%               | 89%         | 92%        | 70%               | 94%         | 97%        | 92%                  | 90%         | 98%        | 92%               | 96%         | 97%        |
| $p$                | 0.036             | 0.918       | 0.978      | 0.009             | 0.977       | 0.011      | 0.042                | 0.563       | 0.004      | 0.009             | 0.819       | 0.960      |

**Tabla 4.** Correlación entre los casos previstos y observados de COVID-19, según su estatus y modelo matemático, ambos hasta la semana 26, 2020.

|                    | CASOS SOSPECHOSOS |             |            | CASOS CONFIRMADOS |             |            | DEFUNCIONES COVID-19 |             |            | HOSPITALIZACIONES |             |            |
|--------------------|-------------------|-------------|------------|-------------------|-------------|------------|----------------------|-------------|------------|-------------------|-------------|------------|
|                    | Lineal            | Exponencial | Polinómica | Lineal            | Exponencial | Polinómica | Lineal               | Exponencial | Polinómica | Lineal            | Exponencial | Polinómica |
| Coef. Pearson      | 0.93              | 0.87        | 0.32       | 0.73              | 0.25        | 0.98       | 0.89                 | 0.62        | 0.92       | 0.91              | 0.92        | 0.78       |
| Coef determinación | 86%               | 76%         | 10%        | 53%               | 6%          | 96%        | 79%                  | 38%         | 84%        | 82%               | 84%         | 61%        |
| $p$                | 0.372             | 0.096       | 0.119      | 0.001             | 0.104       | 0.000      | 0.018                | 0.138       | 0.008      | 0.205             | 0.784       | 0.057      |

**Tabla 5.** Comparación del total de casos entre los casos reales y previstos de COVID-19, según su estatus y modelo matemático, ambos hasta la semana 26, 2020.

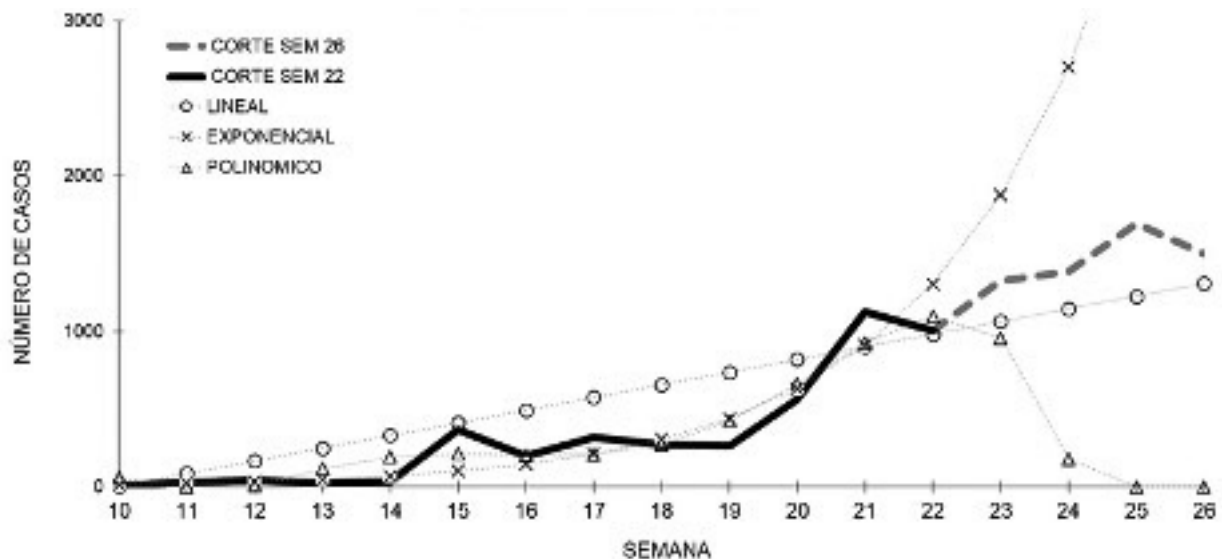
| Estatus           | Casos reales a la semana 26 | Casos previstos a la semana 26 |             |            |
|-------------------|-----------------------------|--------------------------------|-------------|------------|
|                   |                             | LINEAL                         | EXPONENCIAL | POLINÓMICO |
| Casos Sospechosos | 10,181                      | 11,187                         | 18,301      | 5,527      |
|                   | Diferencia %                | 10%                            | 80%         | -46%       |
| Casos Confirmados | 4,949                       | 9,052                          | 19,309      | 6,425      |
|                   | Diferencia %                | 83%                            | 290%        | 30%        |
| Defunciones       | 564                         | 747                            | 1,365       | 747        |
|                   | Diferencia %                | 32%                            | 142%        | 32%        |
| Hospitalizaciones | 1,065                       | 1,632                          | 1,060       | 1,076      |
|                   | Diferencia %                | 53%                            | 0%          | 1%         |

Correlación entre los casos reales a la semana 26 y los casos previstos a la misma semana: Para los casos sospechosos el modelo que mejor se ajustó a la previsión de casos fue el modelo lineal, aunque no fue estadísticamente significativo ( $r=0.93$ ,  $r^2=86\%$ ,  $p=0.372$ ) (figura 1). Para los casos confirmados el modelo que mejor se ajustó a la previsión de casos, fue el modelo polinómico ( $r=0.98$ ,  $r^2=96\%$ ,  $p=0.000$ ) (figura 2). Para las defunciones

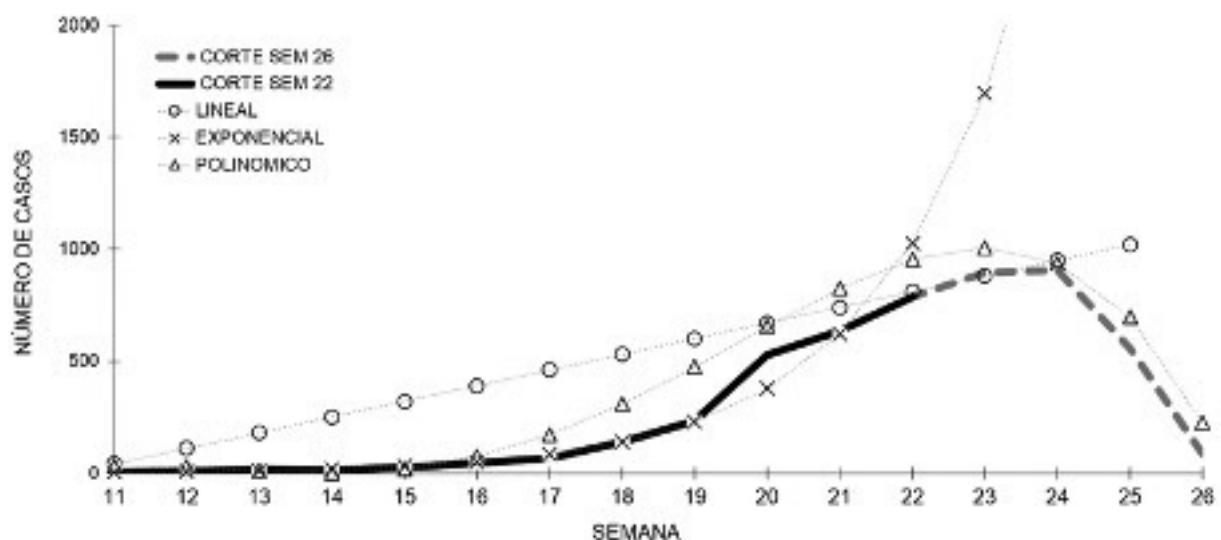
el modelo que mejor se ajustó fue el polinómico ( $r=0.92$ ,  $r^2=84\%$ ,  $p=0.008$ ) (figura 3). Por último, para las hospitalizaciones el modelo que mejor se ajustó fue el polinómico, aunque no fue estadísticamente significativo ( $r=0.78$ ,  $r^2=61\%$ ,  $p=0.057$ ) (figura 4).

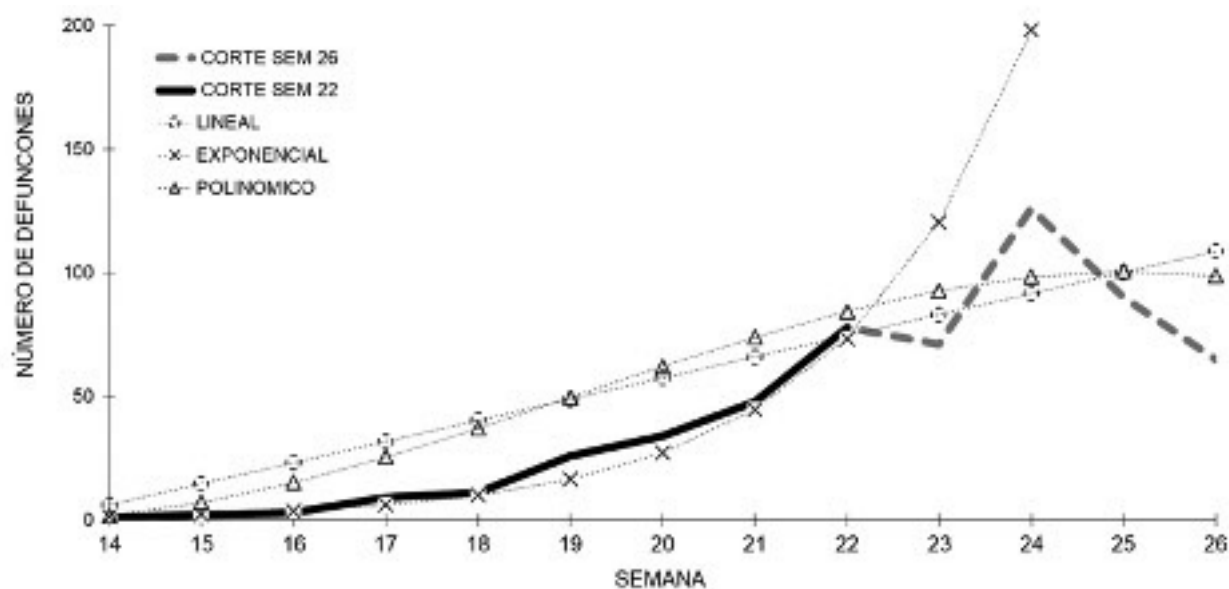
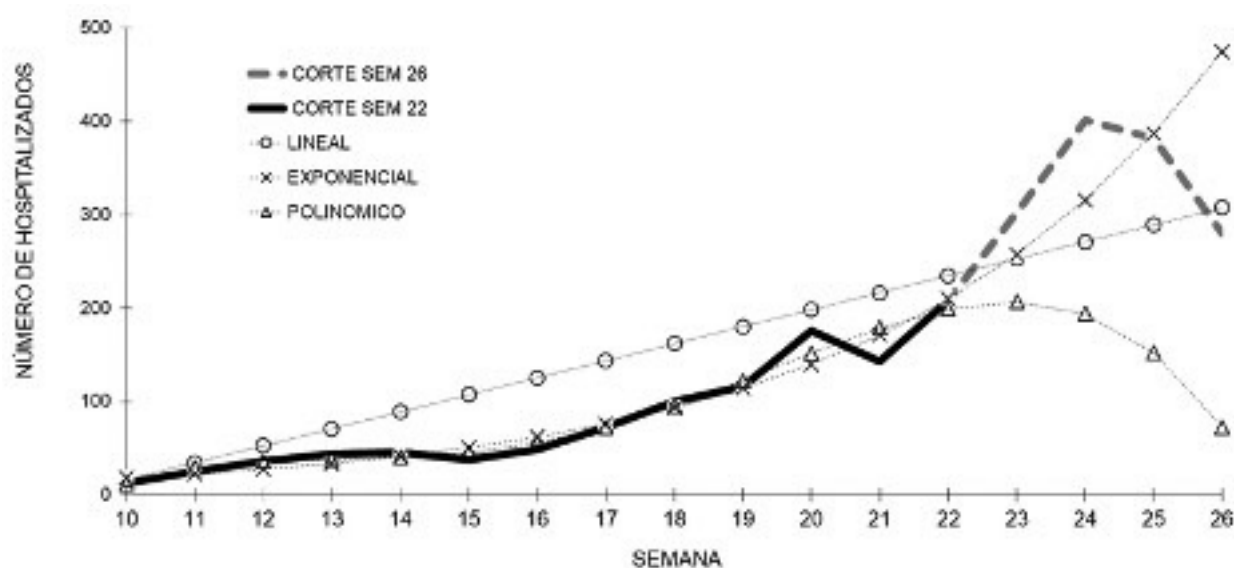
Al comparar el total de casos reales a la semana 26 respecto a su previsión, se observó una diferencia que osciló entre el 0 y 30% (tabla 5).

**Figura 1.** Proyección de casos sospechosos de COVID-19.



**Figura 2.** Proyección de casos confirmados de COVID-19.



**Figura 3.** Proyección de defunciones por COVID-19.**Figura 4.** Proyección de hospitalizaciones IRAG-COVID-19.

## Discusión

Una línea de tendencia lineal muestra un incremento o disminución de los casos a un ritmo constante, una tendencia polinómica muestra diferentes curvas de ascenso y descenso, finalmente una tendencia exponencial se observa cuando los valores de los datos aumentan o disminuyen en intervalos cada vez mayores o explosivos.

Con los resultados de la correlación hasta la semana 22, se pudo determinar que los casos sospechosos y hospitalizados presentaban una tendencia lineal mientras que los casos confirmados y defunciones una tendencia polinómica. Ninguno de los estatus presentó una tendencia exponencial. La correlación de Pearson demostró ser una opción viable para describir el comportamiento de los casos a corto plazo de 1 a 2 semanas de la tendencia de los casos sospechosos, casos confirmados, defunciones y hospitalizados por COVID-19.

Los modelos matemáticos no son infalibles, son un instrumento matemático útil, siempre y cuando se tome en cuenta sus limitaciones. No se debe asumir que los cambios en una variable causan cambios en otra basándose sólo en la correlación.

El coeficiente de correlación de Pearson es sensible a valores extremos, un solo valor puede cambiar de modo considerable el resultado, lo cual puede suceder en situaciones de subregistro y variaciones temporales en la captura de datos. Por otro lado, es importante considerar que el ingreso de casos está sujeto a las variaciones de las definiciones operacionales y al número de pruebas de diagnóstico realizadas. Considerando lo anterior y por muy inciertos que sean los modelos, en el campo de la salud pública se tienen que tomar decisiones y es mejor hacerlo con la mayor certidumbre científica de la que se pueda disponer.

## Referencias bibliográficas

1. Servicios de Salud de Oaxaca. Reporte diario de COVID-19. Consultado en: <https://www.oaxaca.gob.mx/salud/covid-19> [01-06-2020].
2. Covid-19 epidemic in Italy: evolution, projections and impact of government measures. Giovanni Sebastiani, Marco Massa, Elio Riboli. *European Journal of Epidemiology* (2020) 35:341–345 Consultado en: <https://doi.org/10.1007/s10654-020-00631-6> [01-06-2020].
3. Córdova-Lepe F, Gutiérrez-Aguilar R, Gutiérrez-Jara J. Number of COVID-19 cases in Chile at 120 days with data at 21/03/2020 and threshold of daily effort to flatten the epi-curve. *Medwave* 2020;20(2):e7861. Consultado en: <https://www.researchgate.net/publication/340352193>. [01-06-2020].
4. COVID-19: pandemia de modelos matemáticos. Martín Sánchez E. Abril 24, 2020. Consultado en: <https://theconversation.com/covid-19-pandemia-de-modelos-matematicos-136212>. [01-06-2020].
5. Modelling the evolution trajectory of COVID-19 in Wuhan, China: experience and suggestions. M. Liu a, J. Ning a, Y. Du a, J. Cao b, D. Zhang c, J. Wang d, M. Chen. *Public Health* 183 (2020) 76e80. 2 May 2020.
6. Estimaciones del Modelo Gompertz para los estados y zonas metropolitanas de México. Rogelio Ramos Ortega et al. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Centro de Investigación en Matemáticas. 20 mayo 2020. Consultado en: [https://coronavirus.conacyt.mx/productos/gompertz/CIMAT\\_Gompertz\\_200603/](https://coronavirus.conacyt.mx/productos/gompertz/CIMAT_Gompertz_200603/) [01-06-2020].
7. Modelos jerárquicos para predecir el número de infectados por COVID-19 en América del Sur. Luis Felipe Bedoya Martínez. Marzo 25, 2020. Consultado en: <https://rpubs.com/felbed/hierarchical-models-for-COVID-19> [01-06-2020].
8. Bioestadística Médica. Beth Dawson-Saunders, Robert G. Trapp. 2ª. Edición. Ed. El Manual Moderno. México. 1999.
9. Epidemiología y Estadística en Salud Pública. Antonio Villa Romero, Laura Moreno Altamirano, Guadalupe S. García de la Torre. Ed. McGraw Hill Interamericana. México. 2011.
10. Vigilancia Epidemiológica. Ferrán Martínez Navarro. Ed. McGraw Hill Interamericana. España. 2004.
11. Bioestadística Amigable. M.A. Martínez-González, Jokin de Irala, F.J. Faulin Fajardo. Ed. Díaz de Santos. Madrid, España. 2001.