

La constante de inhibición como medida de control de contagios de covid19 en Tabasco

Manuel Sandoval Martínez ^{1,*} Janette Moreno Sandoval².

¹Universidad Politécnica del Golfo de México. Paraíso, Tabasco.

²Tecnológico Nacional de México, Campus Comalcalco.

Fecha de recepción: 11 de marzo de 2021 - Fecha de aceptación: 20 de mayo de 2021

Resumen

Se presentan los resultados del análisis realizado a los casos de contagios estimados de Covid19 en el Estado de Tabasco. Se propone una modificación a una ecuación diferencial ordinaria, para modelar el comportamiento de la pandemia, y se hace énfasis en la constante de inhibición de la infección. Con este parámetro, se clasifica el desempeño de cada municipio en el combate a la pandemia. Al proponer un semáforo epidemiológico basado en dicho parámetro, se encontró que solo tres municipios tendrían color verde y, nueve estarían en color rojo. Los tres municipios con mejor control (color verde) son: Jonuta, Emiliano Zapata y Tacotalpa; a estos municipios se les podría dar la oportunidad de abrir más espacios para reactivar su economía. Los tres con muy malos resultados (color rojo) son: Centro, Cárdenas y Nacajuca; en estos casos deben persistir las restricciones impuestas por el gobierno. Los casos de muerte por Covid19 también se analizaron y, se encontró que durante el mes de enero de 2021 comenzaron a aumentar considerablemente, aunque con ligeras disminuciones en febrero. El uso de un semáforo interno, podría ayudar a identificar los municipios con mayor de riesgo de contagios, y de esta manera mejorar las estrategias de contención de la propagación del virus en el Estado.

Palabras claves. Sars-Cov-2, Covid19, modelos matemáticos, constante de inhibición de la infección, semáforo epidemiológico.

The inhibition constant as a measure to control contagions of covid19 in Tabasco

Abstract

The results of an analysis carry out on the cases of Covid19 infections in Tabasco are presented. An ordinary differential equation is used to model the behavior of the pandemic, and emphasis is placed on the infection inhibition constant. With this parameter, the

*manuel.sandoval@updelgolfo.mx

performance of each city in the fight against the pandemic is classified. By proposing an epidemiological traffic light base on said parameter, we found that only three municipalities would be green and nine would be red. The three cities with the best control (green) are: Jonuta, Emiliano Zapata y Tacotalpa; these municipalities could be given the opportunity to open more spaces to reactivate their economy. The three with very bad results (red) are: Centro, Cardenas y Nacajuca; in this cases, the government-imposed restrictions must persist. The cases of death by Covid19 were also analyzed and it was found that during January 2021 they began to increase considerably, although with slight decreases in February. The use of an internal traffic light could help to identify the municipalities with highest risk of contagions, and thus improve the strategies to contain the spread of the virus in the State.

Keywords: Sars-Cov-2, Covid19, mathematics model, infection inhibition constant, epidemiological traffic light.

Introducción

Características del Sar-Cov-2

La COVID19, fue identificada por primera vez en Wuhan, China, en diciembre de 2019. Para el 11 de marzo de 2020, la Organización Mundial de la Salud la declaró como pandemia ya que, se desplazó rápidamente en toda China y después en más de 190 países en tan solo tres meses (Hu, *et al* 2020; Shereen, *et al* 2020). Este virus tiene múltiples características distintas a otras enfermedades infecciosas, incluyendo una alta infectividad durante la incubación, que puede ser hasta de 20 días dependiendo del paciente (Wang *et al*, 2020). Durante este periodo, el paciente puede ser asintomático, pero aun así pueden contagiar a otras personas (Zhao y Chen, 2020). Algunos estudios indican que cerca del 90% de los casos son asintomáticos, y que cerca del 45% de los contagios fueron por personas asintomáticas (Li, *et al* 2020; Liu *et al*, 2020). Esta es una de las razones por las cuales se deben realizar pruebas para la detección de estos casos y así proceder de acuerdo a los protocolos establecidos en la sub secretaria de prevención y promoción de

la salud. El virus Sars-Cov-2, provoca una enfermedad llamada Covid19 que se puede manifestar como una infección respiratoria aguda que, si no es tratada a tiempo puede provocar la muerte. Lamentablemente, en nuestro país se ha presentado más de 200,000 muertes por esta enfermedad.

Otra característica de transmisión es que, al hablar en voz alta, gritar o cantar en espacios cerrados puede generarse un ambiente transmisor adecuado para el virus (Aguilar *et al*, 2020) debido a que se emiten una gran cantidad de gotículas infectadas. López y Barrientos (2020) indican que espacios con mala ventilación, alta densidad de personas como el metro, autobuses, mercados e incluso los baños públicos podrían aumentar el riesgo de contagio. En otras investigaciones, Lombardy *et al* (2020), mostraron que, el aislamiento para aquellos infectados y el uso de equipo de protección personal (tales como guantes, cubre-bocas, caretas, antibacterial, entre otros) fueron los pilares para detener la transmisión del virus, la cual también puede ser por contacto directo con una persona infectada, es decir saludar de manos o con abrazos y/o besos. Además, algunos estudios indican que el

número de reproducción básico (R_0) del Sars-Cov-2 es alrededor de 2.2 (Riou y Althous, 2020), aunque otros investigadores manifiestan que podría ser cercano a 6 (Liu *et al*, 2020). Esto lo convierte en un virus de alta capacidad de transmisión entre los humanos, y de aquí su alta peligrosidad.

El primer caso de este virus que se detectó en México fue el 28 de febrero de 2020, y en Tabasco el 18 de marzo de 2020, esto de acuerdo a lo reportado por la Secretaría de Salud Federal y también por la Secretaría de Salud del Estado de Tabasco. A partir de esta fecha los contagios fueron creciendo, primero lentamente y a los pocos meses se dispararon en forma exponencial. Para mantener un indicativo del número de contagios a lo largo del país, la subsecretaría de salud implementó el semáforo epidemiológico (Secretaría de Salud, 2020), el cual permite monitorear y regular el uso del espacio público de acuerdo a la cantidad de contagios. El color rojo, indica que solo están permitidas las actividades económicas esenciales; el color naranja significa que además de las esenciales pueden operar las no esenciales a un 30% de capacidad tomando las medidas adecuadas de higiene. En el color amarillo, se permiten todas las actividades laborales cuidando a los de mayor riesgo. Y, por último, el color verde permite todas las actividades incluidas las escolares cuidando siempre la sana distancia.

Para la determinación de cada color se toman en cuenta diversos parámetros, entre los que se encuentran: la tasa de reproducción efectiva, tasa de mortalidad, casos hospitalizados entre otros. En Tabasco, se declaró semáforo rojo en la primera semana de junio de 2020 y permaneció así por más de 10 semanas y, a

partir de la primera semana de septiembre ha permanecido en color naranja de acuerdo a la Secretaría de Salud Federal. Se debe señalar que, si bien en algunos momentos se ha indicado que Tabasco podría pasar al color amarillo el gobierno del Estado ha mantenido la postura de continuar en naranja para evitar que las personas caigan en exceso de confianza y así se pudieran incrementar los casos. A la fecha de esta documentación, Tabasco continúa en naranja.

En este trabajo se propone un semáforo epidemiológico interno para el Estado de Tabasco, tomando en cuenta un parámetro matemático que se detalla en las próximas secciones. Se debe aclarar que nuestra propuesta es congruente con el semáforo emitido por la subsecretaría de prevención y promoción de la salud en el sentido que, de acuerdo a los colores se podrá proceder según las condiciones señaladas en el semáforo federal. Más aún, una de las ventajas que se podrían resaltar es que, no se vería al Estado como un solo ente, sino que está formado por 17 municipios con diferentes características (las cuales no se consideran dentro las regulaciones de la Secretaría de Salud Federal) es decir, a nivel federal a Tabasco (y a todos los Estados de la República) se le analiza como una región homogénea tanto en población como en geografía. De esta manera, se evalúa a todos los municipios de la misma manera sin tomar en cuenta sus diferencias. Con el semáforo propuesto en este trabajo, se podrán analizar los casos de covid19 de manera individual, es decir por municipio ya que, no todos los gobiernos municipales han actuado de la misma manera, ni se encuentran en las mismas circunstancias de contagios ni muertes entre uno y otros. Es decir, no se debe aplicar las restricciones por

igual a todos los municipios si algunos tienen controlada la propagación.

Modelación de enfermedades infecciosas

Durante los estudios del desarrollo de las epidemias, uno de los problemas más importantes a tratar de resolver son las predicciones a futuro tales como el número de individuos que podrían infectarse (y en el peor de los escenarios, fallecer), el tiempo que podría durar la epidemia, las políticas de sanidad impuestas por los gobiernos, etc. Existen diversos modelos para realizar predicciones en el desarrollo de una pandemia, tales como funciones empíricas, métodos basados en inferencia estadística y modelos dinámicos (Ndairou *et al*, 2020). Las funciones empíricas son muy sencillas, fácil de entender, rápidas de implementar y analizar. Los métodos de inferencia estadística son altamente recomendados cuando se tiene una gran cantidad de datos. Para el caso de los modelos dinámicos como

la ecuación logística (Zill, 2009) el número de reproducción básico se transforman en coeficientes de reacción. Estos modelos muestran una gran habilidad para reproducir las características básicas del proceso de dispersión de la infección de la enfermedad, así como predecir futuras tendencias de la epidemia, pero también para evaluar la influencia de las diversas políticas de control y acciones contra la propagación del virus (Al Husein y Tahir, 2020).

Si bien existen modelos complejos que permiten hacer diversas predicciones y ajustes, se analizó un modelo propuesto en el trabajo de Liang (2020), en él se indica que el número de personas infectadas N , dentro de un intervalo t puede ser expresado por el producto de la razón de crecimiento $r(N)$ y N , y considerando que el número de personas infectadas al tiempo t_0 es N_0 , se puede obtener una ecuación diferencial de personas infectadas, con valor inicial:

$$\frac{dN}{dt} = r_0 \left(1 - \frac{N}{N_{max}}\right) N; \quad N(t_0) = N_0 \quad (1)$$

La solución de esta ecuación diferencial, es:

$$N(t) = \frac{N_{max}}{1 + \left(\frac{N_{max}}{N_0} - 1\right) e^{-r_0(t-t_0)}} \quad (2)$$

Se asume que la razón de crecimiento es una función lineal del número de personas infectadas, es decir $r(N) = r_0 - sN$, donde r_0 representa la razón de crecimiento sin tomar medidas sanitarias, y s es el factor de inhibición de la infección. Valores grandes de este último parámetro indican que la prevención y el control de los contagios son muy efectivos. Este es un modelo que ajusta

favorablemente los datos de algunas ciudades asiáticas, como Guangdong, Zhejiang, Hubei, Henan y Hong Kong. Sus resultados mostraron que Zhejiang ($s = 2.7 \times 10^{-4}$) fue la ciudad con mejor contención de la pandemia y, Hubei tuvo más problemas para contenerla ya que la constante de inhibición de la infección ($s = 0.2 \times 10^{-4}$) fue muy baja.

Siguiendo estas ideas, se utilizó ese modelo para ajustar los datos estimados de contagios de Covid19 en el Estado de Tabasco (Ver Anexo 1), y posteriormente proceder al cálculo de la constante de inhibición. Sin embargo, al aplicar este modelo a nuestros datos se encontró que no ajusta de manera adecuada a los mismos, tomando en cuenta solo el parámetro r_0 ya que la curva de predicción se aleja de los datos reales, es

decir existía un error de aproximación de hasta 7% para algunos casos. Esto, nos llevó a realizar algunos cambios en los valores de los parámetros de ajustes en la solución de la EDO, así la curva solución podía acercarse más a los datos reales y, con ello disminuir el error de aproximación. Por tal razón, se propuso incluir dos nuevos parámetros para mejorar el ajuste a nuestros datos, quedando de la siguiente manera:

$$\frac{dN}{dt} = ar_0 \left(1 - \frac{bN}{N_{max}}\right) N; \quad N(t_0) = N_0 \quad (3)$$

Donde a y b , son los nuevos parámetros que permiten mejorar el ajuste a los datos a tratar, y pueden calcularse con algunos de los métodos numéricos convencionales (Chapra y Canale, 2009). La solución (por variables separables) al modelo (3) es muy semejante a la del modelo (1), la cual se puede escribir de la siguiente manera:

$$N(t) = \frac{N_{max}}{b + \left(\frac{N_{max}}{N_0} - b\right)e^{-ar_0(t-t_0)}} \quad (4)$$

El parámetro a , permite mejorar la razón de crecimiento inicial del número de contagios r_0 , es decir el producto ar_0 tiende a mejorar la razón de crecimiento para un tiempo t mayor a t_0 . A mayor valor de a , mayor será la razón de crecimiento. Por otro lado, el parámetro b , permite ajustar el máximo crecimiento del contagio poblacional. A mayor valor de b , menor será el número máximo de contagios. Así mismo, la constante de inhibición se modifica mediante la siguiente relación:

$$S = \frac{ar_0}{N_{max}} \quad (5)$$

Su interpretación sigue siendo consistente con el otorgado por Liang (2020). Por medio de este parámetro podemos ordenar a los municipios de acuerdo al desempeño realizado en el control de la pandemia, del mejor desempeño al menor desempeño. Con esta propuesta de modelo, se pueden ajustar los datos de cada municipio con error menor al 1%, desde luego que para cada municipio se requiere un valor determinado de r_0 , a y b . El error se calcula utilizando la ecuación (8) que se muestra abajo. Matemáticamente, el error de aproximación de un modelo, se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$S_r = \sum (y_i - f(x))^2 \quad (6)$$

Donde $f(x)$ representa la aproximación del modelo y y_i , es el i -ésimo dato. La desviación estándar es:

$$S_r = \sum (y_i - \bar{y})^2 \quad (7)$$

Donde $\bar{y}$, es el promedio de los datos. Por lo que el coeficiente de correlación se puede determinar de la siguiente manera:

$$coef = \frac{s_y - s_r}{s_y} \quad (8)$$

Este coeficiente nos indica en qué porcentaje, un modelo matemático ajusta los datos que se van a analizar.

Se debe recalcar que, en este trabajo se ha realizado el análisis de los datos oficiales proporcionados por la Secretaría de Salud del Estado Tabasco. Si bien, algunos investigadores (Matabuena et al, 2020) consideran que en casos como estos se tiene la posibilidad de tener información sesgada por la pérdida de información en la colección de datos por parte de quienes emiten los informes de los contagios, lo que buscamos es modelar el comportamiento de la pandemia en Tabasco acorde a los datos estimados que ha proporcionado el gobierno y, no determinar los posibles casos ocultos de los contagios por las diversas razones que se podrían presentar ya que eso, correspondería a otro tipo de investigación.

Metodología

Se colectaron los datos estimados (Ver Anexo 1) por Covid19 del Estado de Tabasco, reconocidos por la Secretaría de Salud Estatal (Tabasco) a partir de los reportes diarios emitidos por dicha dependencia. Se realizó un análisis a dichos datos (de marzo de 2020 hasta enero de 2021) utilizando el modelo (4), calculando para cada municipio el valor de r_0 , a y b por los métodos tradicionales de métodos numéricos. Con estos valores se calcula el valor de la constante de inhibición de la infección s mediante la ecuación (5), y así determinar para cada ciudad qué tan buena ha sido su estrategia de contención de la propagación del virus. Apoyados con estos valores se utilizará el semáforo epidemiológico que se propone en este

trabajo para determinar los colores que le corresponderían a cada ciudad; verde indica muy buen control, amarillo representa un buen control, el naranja un control regular y, el rojo significa mal control en los contagios. La determinación de los colores se realiza mediante la constante de inhibición que puede ser cuantificada y, así asignar el color de manera más efectiva. También se hace una descripción de los datos estimados de contagios de las ciudades con mejor control y, de las ciudades con más problemas con la pandemia, de igual manera se describen los datos de personas fallecidas por esta enfermedad, en todo el estado de Tabasco. Finalmente, se presenta un mapa del Estado de Tabasco con los colores del semáforo descrito en las siguientes secciones. Para el desarrollo de esta investigación, no se realizó distinción de género, edades, raza, religión o condición social y solo se consideran casos confirmados. Los datos se han ordenado por municipio y tomaron intervalos de cinco días para la toma de los mismo. Es una investigación de tipo cuantitativa explicativa, tomando como variable independiente el tiempo (días), las dependientes son el número de casos estimados acumulados de contagios y la constante de inhibición.

Resultados

Clasificación del desempeño en el control de la pandemia

Con esta investigación se busca determinar el desempeño que han tenido los municipios de Estado de Tabasco, en el control de la pandemia generado por el Sar-Cov-2, desde abril del 2020 hasta enero de 2021. Para ello se ha utilizado el factor de inhibición de infección s del modelo (4) y se han definido

cuatro categorías y cuatro colores para el semáforo epidemiológico, las cuales se muestran en la Tabla 1. Para determinar los colores, a través del factor s , se calcularon los valores individuales para cada ciudad y se compararon con sus respectivas gráficas de contagios. Se encontró que, aquellos datos que tenían una tendencia cercana al modelo logístico ideal tenían valores de $s > 5 \times 10^{-4}$; las gráficas que se alejaban un poco del ideal tenían valores $4 \times 10^{-4} < s < 5 \times 10^{-4}$, y así sucesivamente. Datos cuyas gráficas no presentaban un comportamiento logístico tenían valores menores 2×10^{-4} . Es decir, encontramos que valores de $s > 5 \times 10^{-4}$ presentaban muy pocos casos de contagios durante el últimos mes, es decir

tienen un aplanamiento considerable de la curva. Debido a ello, se decidió utilizar el color verde para casos como estos (ver Figura 2). Y, para casos con $s < 2 \times 10^{-4}$ continuaban reportando casos de contagios muy altos, por lo que la curva no presenta ninguna tendencia a aplanarse, para este caso se utiliza el color rojo (ver Figura 3). Corroboramos este comportamiento revisando la tabla de datos colectados, de cada municipio y, confirmamos que municipios como Jonuta, E. Zapata y Tacotalpa reportaron pocos casos de covid19 en las últimas cuatro semanas (Anexo 1). Los colores restantes (amarillo y naranja), se determinaron de manera semejante a lo antes descrito.

Tabla 1. Categorías para el desempeño del control de infección

Valor de s (10^{-4})	Categoría	Color de semáforo
$s > 5$	Muy Bueno	Verde
$4 < s < 5$	Bueno	Amarillo
$2 < s < 4$	Regular	Naranja
$s < 2$	Malo	Rojo

En la Tabla 2, se muestran los resultados de la comparación del modelo (2) con el modelo propuesto (4). Puede observarse claramente que el modelo (4) tiene un mejor ajuste en los datos comparados con el modelo 2 (columnas 3 y 4). El porcentaje de mejora, en promedio, es aproximadamente 3%. También se muestran los valores de los parámetros a y b , que realizan los mejores ajustes del modelo (4) a los datos del Covid19 en el Estado de Tabasco. Con los valores del factor de inhibición de contagios (s) podemos determinar cómo ha sido el desempeño de los gobiernos de estos

municipios. De esta manera, podemos observar que el municipio que mejor ha manejado el número de infectados es Jonuta, ya que cuenta con el valor de s más alto (7.4×10^{-4}) por lo que le correspondería el color verde y, el que ha presentado mayores problemas en la contención es el municipio de Centro ($s = 0.11 \times 10^{-4}$), correspondiéndole el color rojo. Cada valor de la Tabla 2, se obtiene al aplicar el modelo (4) a los datos que se presentan en el Anexo 1. Calculada la constante de inhibición, se procede a utilizar las condiciones de la Tabla 1 para determinar el color de cada ciudad.

Tabla 2. Valores del factor de inhibición y semáforo para Tabasco

Municipio	Factor efectividad $s (10^{-4})$	Coef. De correlación modelo (2)	Coef. De correlación modelo (4)	Dif %	r0	a	b	Color
Jonuta	7.3	0.984	0.986	0.2	0.25	1.19	1.02	Verde
Zapata	5.7	0.96	0.98	2	0.18	1.75	1.1	Verde
Tacotalpa	5.1	0.971	0.988	1.7	0.27	1.1	1.1	Verde
Balancán	4.7	0.9849	0.9918	0.69	0.28	1.2	1.05	Amarillo
Teapa	4.2	0.968	0.989	2.1	0.29	1.08	1.1	Amarillo
Jalapa	3.3	0.96	0.99	3	0.18	1.35	1.15	Naranja
Centla	2.6	0.93	0.98	5	0.28	0.9	1.2	Naranja
Tenosique	2.44	0.982	0.993	1.1	0.3	0.98	1.05	Naranja
Huimanguillo	1.9	0.952	0.98	2.8	0.18	1.3	1.18	Rojo
Cunduacán	1.6	0.97	0.99	2	0.23	1.2	1.1	Rojo
Paraíso	1.5	0.937	0.967	3	0.19	1.15	1.2	Rojo
Comalcalco	1.42	0.93	0.96	3	0.25	1	1.3	Rojo
Jalpa M	1.4	0.91	0.93	2	0.17	1.75	1.4	Rojo
Macuspana	1.2	0.95	0.988	3.8	0.25	1.18	1.1	Rojo
Cárdenas	0.96	0.94	0.963	2.3	0.28	1	1.28	Rojo
Nacajuca	0.69	0.93	0.974	4.4	0.25	1.1	1.2	Rojo
Centro	0.11	0.95	0.952	0.2	0.28	0.95	1.35	Rojo
Decesos	0.8	0.991	0.996	0.5	0.3	0.9	1.05	Rojo

En general, los tres municipios con mejor control (verde) de la pandemia son Jonuta, Emiliano Zapata y Tacotalpa. Los municipios con un control Bueno (amarillo) son Balancán, Teapa y Jalapa. Y los municipios que tienen un control Regular (naranja) del Sar-Cov-2 son Centla y Tenosique. Por último, Huimanguillo, Cunduacán, Paraíso, Comalcalco, Jalpa de Méndez, Macuspana, Cárdenas, Nacajuca y Centro presenta serias dificultades para controlar la pandemia (rojo). Es decir, el 54% de los municipios del Estado de Tabasco presentan problemas en la contención de los contagios del Covid19. Por lo que, estos gobiernos locales deben mejorar sus estrategias de salud pública para evitar que los contagios sigan creciendo y tiendan a generar un descontrol que complique más la situación actual; lo cual

podría traer otros problemas graves tales como la saturación de los hospitales, escases de medicamentos para el tratamiento de la enfermedad, cierre de comercios, entre otros muchos más. En la Figura 1, se muestra la propuesta de semáforo de acuerdo a los datos encontrados para la constante de inhibición de la infección derivados de la tabla del Anexo 1.

Es interesante hacer notar que los todos los municipios (excepto Macuspana) que tienen un mal control de la pandemia se encuentran la zona de la Chontalpa, siendo esta zona la más poblada y con mayor movilidad en el Estado de Tabasco. Así como las más cercanas al municipio de Centro, en el cual se encuentra la mayoría de los contagios. Dadas las indicaciones del semáforo epidemiológico del subsistema de salud, los municipios en color rojo deben mantener

únicamente actividades económicas esenciales, pero para aquellos municipios con color verde se le debe dar la oportunidad de abrir más espacios para el desarrollo de

su economía local. Para los casos naranja y amarillo, establecer las condiciones que se señalan en el semáforo federal.

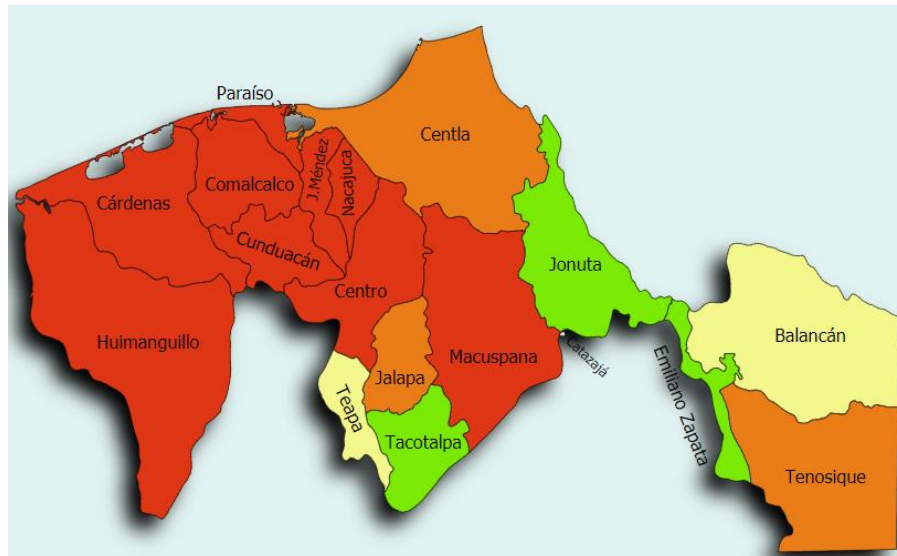


Figura 1. Semáforo para Tabasco

Es importante señalar que si se utiliza un semáforo por municipios podría ayudar a mejorar el control de la pandemia en este Estado y a que la economía no se cierre por completo en toda la región ya que, la zona Sur es la que presenta menos dificultades con la pandemia y aquí no debería ser tan estricto el protocolo de salud. Consideramos que es importante visualizar el control de la pandemia por municipios ya que permite detectar con mayor efectividad el crecimiento de los contagios. Considerar al Estado como un todo, es decir con un solo color, y esto de acuerdo a lo indicado por el gobierno federal, impide que dentro del territorio tabasqueño se puedan aplicar las restricciones enmarcadas en los lineamientos de la subsecretaría de salud de manera efectiva, ya que cada municipio

tiene su forma particular de atender la pandemia acorde a sus propias necesidades y características regionales.

Análisis de gráficos

En la Figura 2, se muestra uno de los municipios con mejores resultados en el control de la pandemia, acorde a la constante de inhibición. Los puntos color naranja corresponden a los datos estimados proporcionados por el gobierno, y la línea azul representa el ajuste teórico del modelo (4). Se puede observar que Jonuta, tiene una curva muy acorde al modelo ideal, y en el límite de máximo contagio permanece uniforme durante las últimas semanas de diciembre de 2020 y las primeras semanas de enero 2021. Se tiene un crecimiento

exponencial al inicio de la pandemia y, meses después, la curva tiende a estabilizarse en un límite máximo. Esto significa que el número de contagios, en esas fechas ha sido relativamente pequeño, es decir tienen una curva aplanada. Por otro lado, Tacotalpa y E. Zapata presentan un comportamiento semejante a Jonuta, sin

embargo, presentan un ligero crecimiento en los contagios a inicios de enero de 2021 ya que los datos tienden a desviarse un poco del límite máximo, pero, aun así, los contagios no han crecido de manera considerable; el valor de la constante de inhibición para cada uno de estos municipios cae dentro del rango del color verde, ver Tabla 2.

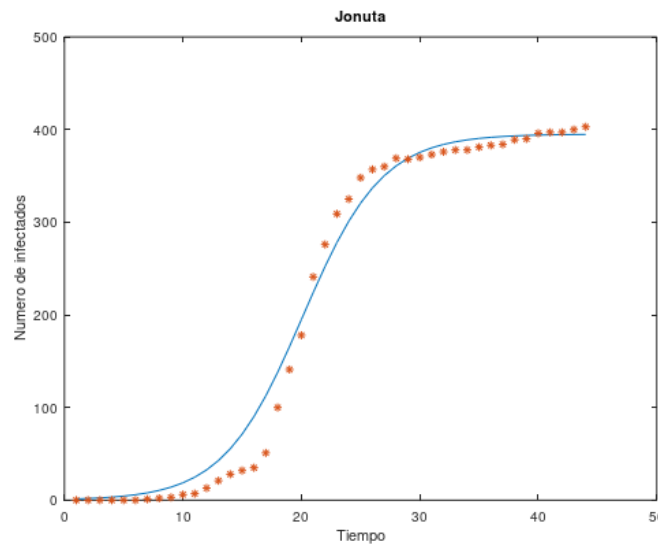


Figura 2. Casos acumulados estimados de Covid19 en Jonuta.

En la Figura 3, se muestra la curva de contagios estimados de uno de los municipios con mayores problemas de control de la pandemia. Centro presentan un elevado número de contagios, y cuya velocidad de crecimiento no ha disminuido. Por el contrario, siguen en aumento ya que los puntos naranjas han sobrepasado la línea máxima de contagio del modelo teórico. Puede observarse que no ha presentado una disminución en el número de contagios durante todo este tiempo, en otras palabras,

no han logrado aplanar la curva de contagios. Obsérvese que los puntos color naranja (datos reales) tienen una tendencia creciente y sin estabilizarse. Municipios como Nacajuca y Cárdenas, presentan un comportamiento muy semejante, y los valores de la constante de inhibición caen en la zona de color rojo (Tabla 1). Lo que significa que estos municipios deben modificar su estrategia de contención ya que no ha funcionado hasta el momento.

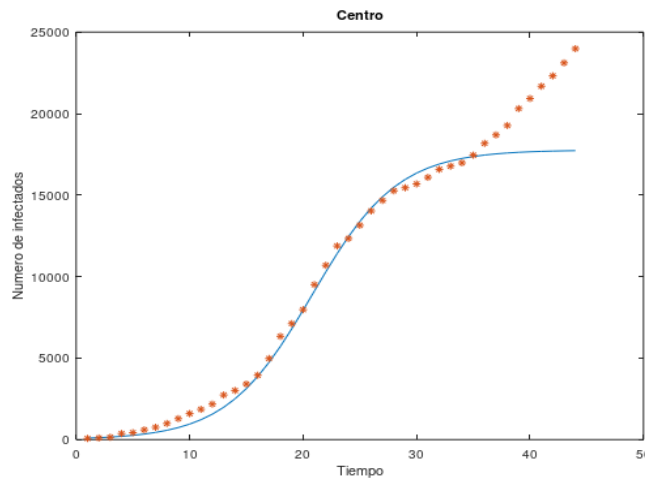


Figura 3. Casos acumulados en Centro.

Otros municipios que también presentan repuntes considerables en el número de contagios son Centla, Comalcalco, Paraíso, Huimanguillo, Jalapa, Jalpa de Méndez y Macuspana. Por lo que las autoridades sanitarias deben redoblar esfuerzos para mejorar el combate a la propagación del Covid19. Los rebrotes que han surgido en estos casos, iniciaron a finales de diciembre y principios de enero. Lo que sugiere que el incremento de casos corresponde a las fiestas decembrinas, donde muy probablemente no se respetaron las medidas de sanidad mínimas necesarias.

Análisis de los decesos

La cantidad de personas fallecidas superan los 3700, y de acuerdo a los datos de enero de este año se muestra un incremento considerable en el número de muertes. Por tal razón, es imperativo para las autoridades estatales mejorar las condiciones de tratamiento de las personas infectadas para evitar complejidades en su estado de salud. En febrero, la tasa de mortalidad en Tabasco era de las más altas en el país y se necesitan mejorar las estrategias de contención del virus para mejorar las condiciones sanitarias en el Estado. De la Tabla 1, se puede

encontrar que $s = 0.8 \times 10^{-4}$, siendo este un valor muy bajo y se podría ubicar como color rojo, es decir de alerta alta por casos de muertes por covid19. La curva de casos acumulados de muertes por Covid19 presenta una forma semejante a la Figura 3, es decir los decesos han presentado un incremento considerable durante Enero y que reflejan que no hay estabilización de los mismo.

Conclusión

Las modificaciones realizadas al modelo (1) han permitido realizar un mejor ajuste de los datos de Covid19 en todos los municipios del Estado de Tabasco. Los nuevos parámetros (a y b) introducidos al modelo (1), permiten una mejoría en el ajuste de los datos desde un 3% hasta un 5%, dependiendo de los datos estimados del municipio que se esté analizando. Las interpretaciones de los parámetros ro y s , siguen representando la tasa de crecimiento inicial y el índice de inhibición de contagios. El índice s , nos ha permitido clasificar (en cuatro categorías) el desempeño de los municipios en el control de la pandemia. La propuesta de un semáforo interno para el Estado de Tabasco, basado en ese índice

permite visualizar con mayor facilidad la distribución de casos de Covid19 por regiones, y de esta manera aplicar una mejor estrategia de prevención en cada municipio para que disminuyan los casos en estas zonas. Jonuta ($s = 7.3 \times 10^{-4}$), Emiliano Zapata ($s = 5.7 \times 10^{-4}$) y Tacotalpa ($s = 5.11 \times 10^{-4}$), son los municipios con los mejores registros de control en la propagación del virus, además de tener el menor número de contagios en el Estado. Por otro lado, Centro ($s = 0.11 \times 10^{-4}$), Cárdenas ($s = 0.96 \times 10^{-4}$) y Nacajuca ($s = 0.69 \times 10^{-4}$), no han logrado controlar la propagación del virus, estos municipios tienen serias dificultades en el control de la pandemia ya que, además de concentrar el mayor número de contagios, son los municipios que presentan mayores repuntes en casos positivos de covid19. Municipios como Balancán y Teapa, que se encuentran en amarillo tienen un buen control de la

pandemia y podrían pasar a verde si logran contener el número de contagios. Por último, Jalapa, Centla y Tenosíque se encuentran en naranja y deben continuar mejorando su estrategia para avanzar hacia los otros colores favorables del semáforo.

Es un hecho relevante que, al tener nueve municipios con malos resultados en el control de la pandemia hace que el Estado de Tabasco tenga y tendrá serias dificultades para superar esta pandemia en el corto plazo. Por tal razón, se deben mejorar las estrategias de control sanitario en todo el Estado de manera urgente, y debe de prevalecer un acuerdo entre gobierno y sociedad para respetar y hacer respetar las medidas sanitarias aplicadas. Se recalca que los datos analizados corresponden a los emitidos de manera oficial por el Estado de Tabasco, y son los mismos que se registran a nivel federal.

Referencias

- Aguilar, N. Hernández, A. Ibanes, C (2020). Características del Sars-Cov-2 y sus mecanismos de transmisión. Rev. Latin. Infect. Pediatr, 33,3.
- Al-Hussein ABA, Tahir, FR (2020). Epidemiological Characteristics of COVID19 ongoing epidemic in Irak. Bull World World Health Organ. 1-9.
- Chapra, S. Canale, R (2007). *Métodos numéricos para ingenieros*. 5ta Ed. McGraw Hill, México.
- Hu, B. Guo, H. Zhou, P. Shi, Z (2020). Characteristics of Sars-Cov-2 and Covid19. Nat. Rev. Microbiol. 1-14.
- Li, R. Pei, S. Chen, B. Song, Y. Zhang, T. et al (2020). Substantial undocumented infection facilitates the rapid dissemination of novel coronavirus. Science, 368, 2.
- Liang, K (2020). Mathematical model of infection kinetics and its analysis for COVID19, SARS and MERS. Infection, Genetics and Evolution, 82, 3.
- Liu, Y. Gayle, AA. Wilder-Smith, A. Roclov, J (2020). The reproductive number of Covid19 is higher compared to Sars coronavirus. J. Travel Med. 27, 2.

Liu, J. Zhen, X. Tong, Q. Li, W. Wang, B. Sutter, K. Trilling, M. Lu, M. Dittmer, U. Yang, D (2020). Overlapping and discrete aspect of the pathology and pathogenesis of emerging human pathogenic coronaviruses Sars-Cov, Mers-Cov and 2019 nCov. J Med. Virol. **92**,5.

Lombardi, A. Bossi, G. Mangioni, D (2020). Duration of quarantine in hospitalized patients with Sar-Cov-2 infection: a question needing an answer. J. Hosp. Infect. **3**, 2.

López, N. Barrientos, T (2020). El papel del habla en la transmisión del Sars-Cov-2: recomendaciones para espacios confinados. Salud pública de México, **62**, 5.

Matabuena, M. Madrid, O. González, F (2020). Modelado estadístico y matemático en la epidemia del coronavirus: algunas consideraciones para minimizar los sesgos en los resultados. Arch Bronconeumol, 56, **9**.

Ndairou, F. Area, I. Nieto, J. Torres, D (2020). Mathematical modelling of covid19 transmission dynamics with case study of Wuhan. Chaos, Solitons and Fractals, **135**, 4.

Riuo, J. Althaus CL (2020). Pattern of early human-to-human transmission of Wuhan 2019 novel coronavirus. Euro Surveill, 25, **4**.

Secretaría de Salud (2020). Lineamientos para la estimación de riesgos del semáforo por regiones COVID19. Ciudad de México, pag. 22.

Shereen, M. Khan, S. Kasmi, A. Bashir, N. Siddique, R (2020). Covid19 infection: origin, transmission and characteristics of human coronaviruses. Journals of advanced research, **24**, 4.

Wang, C. Horby, P. Hayden, F. Gao, G (2020). A novel coronavirus outbreak of global health concern. The Lancet, **395**, 1.

Zill, D (2009). *Ecuaciones diferenciales con aplicaciones de modelado*. Novena Ed, Cengage Learning, México. Pags 94-96.

Zhao, S. Chen, H (2020). Modeling the epidemic dynamics and control of covid19 outbreak in China. Quantitative Biology, **1-9**.

Anexos

Anexo 1. Tabla de datos estimados de Covid19 en Tabasco.

Se muestra una sección de los datos estimados de Covid19, proporcionados por el Estado de Tabasco.

	06-abr	10	05-may	10	15	05-jun	10	15	10-jul	30	05-ago	15	10-sep	20	05-oct	30	05-nov	10	05-dic	20	30	05-ene	10
Balancan	1	1	7	7	9	46	51	68	295	468	529	573	640	648	652	667	668	669	685	688	697	702	711
Cárdenas	3	3	83	102	119	308	381	473	893	1143	1267	1382	1770	1867	2011	2159	2185	2199	2354	2482	2619	2719	2923
Centla	1	1	19	26	44	100	118	153	303	467	522	588	665	685	705	742	748	756	798	858	889	906	936
Centro	72	99	755	991	1288	2737	3012	3408	6334	9506	10695	11881	14028	14672	15450	16580	16775	16978	18691	20925	22314	23110	23982
Comalcalco	7	7	63	81	103	201	227	259	589	848	935	1009	1162	1187	1222	1298	1306	1323	1413	1541	1634	1675	1749
Cunduacan	0	0	37	49	71	173	194	224	551	872	992	1092	1224	1252	1305	1378	1388	1402	1486	1567	1628	1652	1687
E.Zapata	2	2	5	7	12	38	48	53	217	350	374	408	436	441	447	461	462	469	499	515	523	529	552
Huiman	1	1	32	40	63	130	156	176	449	612	649	701	794	819	851	894	904	911	1003	1097	1119	1147	1199
Jalapa	3	6	31	36	45	106	125	139	258	353	400	457	511	526	557	570	572	575	601	644	681	691	716
Jalpa M	1	1	44	53	65	195	236	283	590	875	974	1056	1217	1286	1360	1482	1504	1519	1637	1744	1854	1917	1988
Jonnuta	0	0	1	2	3	21	28	32	100	241	276	309	357	360	368	376	378	378	384	396	397	400	403
Macuspana	0	0	42	61	83	313	389	477	886	1271	1417	1558	1746	1788	1812	1909	1924	1938	2062	2181	2221	2240	2300
Nacajuca	6	7	74	101	136	393	447	513	997	1637	1818	2015	2346	2438	2583	2772	2840	2898	3192	3477	3679	3809	3947
Paraiso	2	3	56	61	74	149	164	190	397	597	635	686	778	798	826	929	939	964	1109	1232	1279	1316	1393
Tacotalpa	0	0	12	14	16	70	79	122	311	414	431	446	468	470	488	506	506	506	530	543	546	550	579
Teapa	0	0	10	14	29	119	137	162	395	551	573	584	610	619	629	647	647	648	667	692	702	718	742
Tenosique	2	2	6	7	17	123	148	176	436	725	797	856	993	1004	1027	1055	1060	1074	1094	1109	1142	1165	1201
Decesos	6	9	176	220	275	626	693	747	1334	1956	2111	2350	2684	2751	2850	3030	3055	3072	3145	3205	3265	3304	3346