

Contrapunto

¿Cuándo se alcanzó o se alcanzará el máximo de personas infectadas por Coronavirus en etapa activa en Guatemala?

Mamerto Reyes Hernández¹

Lesbia Calderón Aguirre²

Resumen

En este trabajo se buscó determinar cuándo se alcanzó o se alcanzará el nivel máximo de personas infectadas por coronavirus en etapa activa en el departamento de Guatemala y cuánto ascendió. Se usó un modelo SIR en el cual los contagios diarios se estimaron con una función logística para corregir la tendencia de estos modelos a predecir cifras muy altas. En una segunda etapa se estimaron de nuevo este monto y la fecha de ocurrencia, usando el total de pruebas de diagnóstico que le correspondería al departamento de Guatemala si a nivel nacional se usaran las 5000 pruebas ofrecidas por el gobierno desde junio de 2020. Con los datos originales, el nivel máximo de infectados activos se alcanzó el 30 de julio y registró un monto de 13,556 personas. Con los datos corregidos, el monto fue de 17,696 personas y se alcanzó el 13 de agosto. Ambos máximos se alcanzaron después de la apertura económica hecha por el gobierno en el país. La diferencia entre máximos sugiere la existencia de un sub registro de los casos, lo cual se debe al uso de un número cada vez más bajo de pruebas de diagnóstico y a que posiblemente muchas personas infectadas se están quedando en sus casas evitando el sistema formal de salud.

Palabras clave

Coronavirus, infectados activos, nivel máximo, Guatemala.

1. Economista agrícola, ex profesor de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos y ex investigador del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA) y del Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP).

2. Médica Veterinaria, profesora de avicultura y anatomía y fisiología animal del Centro Universitario de Zacapa (Cunzac), Universidad de San Carlos y ex investigadora del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA).

Fernando Girón Soto ◀ ¿Qué es el hoy? ¿Cómo será mañana?

Abstract

This work sought to determine when the maximum level of people infected by coronavirus in the active stage was reached or will be reached in the department of Guatemala and how much it amounted to. A SIR model was used in which daily infections were estimated with a logistic function to correct the tendency of these models to predict very high figures. In a second stage, this amount and the date of occurrence were estimated again using the total of diagnostic tests that would correspond to the department of Guatemala if the 5000 tests offered by the government were used at the national level since June 2020. With the data originals, the maximum level of active infected was reached on July 30 and registered an amount of 13,556 people. With the corrected data, the amount was 17,696 people and was reached on August 13. Both highs were reached after the economic opening made by the government in the country. The difference between maximums suggests the existence of an underreporting of cases, which is due to the use of an increasingly low number of diagnostic tests and the fact that many infected people are possibly staying at home avoiding the formal health system.

Keywords

Coronavirus, active infected, maximum level, Guatemala.

"Todos los modelos están equivocados, pero algunos están totalmente errados"
Goodson, Martín (2020)

1. Introducción

Desde que el coronavirus se presentó en Guatemala, con alguna periodicidad han estado apareciendo en la prensa nacional algunos artículos sobre el nivel máximo de la curva de infección, aunque nunca se indicaron mayores detalles del modelo empleado ni sobre la población usada como base para hacer las predicciones (Boche, 2020; Ríos, 2020a y 2020b y Ramírez, 2020).

En Guatemala, ciertamente, se han publicado muy pocos trabajos de investigación sobre la epidemia por el nuevo coronavirus y los pocos que se conocen, paradójicamente

no fueron realizados por el staff de los dos programas de postgrado en epidemiología que se ofrecen en el país. De los realizados con modelos epidemiológicos, dos

fueron hechos por tres profesores de la Escuela de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala (Chang y Ponciano, 2020 y Pazos, 2020) y uno que hicimos nosotros (Reyes Hernández y Calderón Aguirre, 2020a). Estos trabajos fueron iniciativas personales para generar información para la población nacional y ninguno fue parte de un proyecto de investigación de mayor cobertura.

En Guatemala existen muchas restricciones para hacer investigaciones, no sólo asociadas a la escasez de fondos. Algunas están definidas por la búsqueda exclusiva de innovaciones tecnológicas; otras por la pertenencia al personal de la universidad, como requisito para poder participar como investigador principal o por rigideces institucionales establecidas por las fechas muy distantes para aplicar a las convocatorias y aquellas para ejecutar los proyectos. En general es muy difícil hacer investigaciones científicas en el país.

En este vacío de investigaciones, las publicaciones periódicas sobre la epidemia por COVID-19 tienen cierto impacto en la población. Las personas toman la información y generan expectativas sobre su seguridad y la

de sus familias. Si las mismas son favorables, tomarán las cosas con calma, pero si no lo son, entrarán en pánico. En ambos casos tomarán decisiones que incidirán en la manera en que manejan sus presupuestos familiares y en los patrones de comportamiento adoptados para evitar el contagio. Sin embargo, al pasar las semanas y no ocurrir nada al respecto, la población dejará de creer en tales noticias y no serán más que ruido.

En este sentido, se pueden citar algunos resultados del tercer estudio de Prodatos en el área metropolitana de Guatemala sobre la situación de la población ante el coronavirus, el cual mostró que el 30% de las personas no cree que el coronavirus sea un peligro para ellas (Ola, 2020). Por otro lado, la credibilidad de las personas en las cifras oficiales descendió del 50 al 40% (Morales, 2020). Lo grave de estas actitudes es que se estaban manifestando en un escenario con cifras más altas y crecientes de infectados y fallecidos.

Por el patrón que generalmente muestran los datos en el tiempo, los análisis de la evolución de una epidemia usualmente se hacen con ecuaciones exponenciales (por ejemplo, en Guatemala las usaron Reyes Hernández y Calderón Aguirre, 2020b), aunque para el

Fernando Girón Soto ◀ ¿Qué es el hoy? ¿Cómo será mañana?

estudio más detallado de cómo evolucionan diferentes categorías de población (susceptibles, infectados, retirados, etc.) existen modelos desarrollados a partir de la propuesta de Kermack y McKendrick (1927). Estos últimos llevan implícita la respuesta no lineal de las variables y además permiten identificar la fecha cuando se alcanzará el máximo de la curva de la población infectada, propiedad que no poseen los modelos exponenciales.

Cómo ocurre con todas las predicciones, su calidad depende de la calidad de la información usada. En los procesos epidemiológicos, como hemos aprendido en la actual crisis, la calidad se hace más alta en la medida que transcurre el tiempo después del primer caso. Las estimaciones hechas al inicio de la epidemia usualmente son las menos precisas por la insuficiente información nacional y por el uso

de datos procedentes de otros países que están viviendo etapas más avanzadas. Las predicciones tienden a mejorar en la medida que pasa el tiempo y se acumula mayor información y se pueden estimar estadísticos más precisos.

En Guatemala, el 13 de septiembre se cumplieron 6 meses (184 días) de encontrarnos en la crisis generada por la pandemia de la enfermedad producida por el nuevo coronavirus. El alto nivel que ha alcanzado la globalización ha permitido su movimiento entre todas las zonas y territorios del mundo y hoy toda la población del planeta continúa en riesgo. En algunos países, la curva de población infectada activa ha superado el nivel máximo y en otros, todavía no. En Guatemala, nuestra hipótesis es que todavía no se ha alcanzado el mismo, sin embargo, el gobierno decidió abrir la economía desde el 27 de julio siguiendo un plan paulatino

3. Dependiendo de estos casos se establecieron cuatro niveles de alerta identificados por colores: alerta máxima (rojo, 25 casos por 100 mil habitantes o un porcentaje mayor al 20% de positivos respecto el total de pruebas de diagnóstico realizadas), alerta alta (naranja, de 15 a 24 casos por 100 mil habitantes o del 15 al 20% de positivos respecto el total de pruebas realizadas), alerta moderada (amarilla, de 5 a 14 casos por 100 mil habitantes o del 5 al 14% de positivos respecto el total de pruebas realizadas) y nueva normalidad (verde, menos de 5 casos por 100 mil habitantes o porcentaje menor al 5% de positivos respecto el total de pruebas realizadas) (Vicepresidencia de la República, 2020).

basado en el número de casos activos en cada departamento del país³ (Espina, 2020).

En el desarrollo de las epidemias, la gestión de la crisis reduce paulatinamente la tasa de contagio y en la medida que esto se logra, el máximo de la curva se hace menos alto (en el lenguaje popular se “aplana” la curva), lo cual es el objetivo de las medidas de contención y control de la enfermedad, pero el alcance de este nivel se aleja cada día más de la fecha en que comenzó la epidemia. Para Guatemala, este fenómeno puede observarse en los resultados de Pazos (2020) y Reyes Hernández y Calderón Aguirre (2020a).

En este trabajo se busca predecir la evolución de la curva de población infectada por coronavirus en el departamento de Guatemala e identificar su nivel máximo y la fecha en que se alcanzó o alcanzará. La selección de este departamento se debe a que representa la región más poblada del país, es el centro neurálgico del sistema económico y político de la república y ha sido la zona con la mayor infección por coronavirus en toda la nación. Para el 13 de septiembre, el total acumulado de infectados fue de 82,172

personas para el país y de 44,691 personas para el departamento de Guatemala.

2. Revisión de literatura

El primer modelo para el estudio de las epidemias de enfermedades infecciosas fue propuesto por Kermack y McKendrick (1927). Se conoce como SIR por los compartimientos poblacionales que permite analizar: Susceptibles, Infectados y Retirados. Para una zona particular, los primeros son su población total, los segundos son las personas infectadas y los terceros, aquellos que han sido retirados de la población infectada, por recuperación o fallecimiento. El modelo lo integran las siguientes ecuaciones diferenciales:

$$\frac{dS}{dt} = -\beta \frac{S_t I_t}{N} \dots \dots \dots (1)$$

$$\frac{dI}{dt} = \beta \frac{S_t I_t}{N} - \gamma I_t \dots \dots \dots (2)$$

$$\frac{dR}{dt} = \gamma I_t \dots \dots \dots (3)$$

En donde, S es la población susceptible; I la población infectada, R los retirados de la población infectada, β es la tasa de contagios diarios, γ la tasa a

que se retiran de personas de la población infectada durante la duración media de la enfermedad y t es el t -ésimo período de tiempo (hora, día, semana, etc.)

Uno de los modelos desarrollados a partir del SIR y que también es de los más empleados, es el SEIR (Susceptibles, Expuestos, Infectados y Retirados). En este modelo se crea un compartimiento para la población que ha sido expuesta a la enfermedad (E), pero que todavía no está infectada. Las ecuaciones de este modelo son,

$$\frac{dS}{dt} = -\beta \frac{S_t I_t}{N} \dots \dots (4)$$

$$\frac{dE}{dt} = \beta \frac{S_t I_t}{N} - \delta E_t \dots \dots (5)$$

$$\frac{dI}{dt} = \delta E_t - \gamma I_t \dots \dots (6)$$

$$\frac{dR}{dt} = \gamma I_t \dots \dots (7)$$

En estos modelos, una de las dificultades es la estimación de la tasa de infección (β). Las tasas de retiro (γ) y de exposición (δ) se pueden estimar como los recíprocos de la duración de la enfermedad y del tiempo que dura de la incubación, respectivamente. Aunque también pueden estimarse todos los parámetros en

su conjunto usando métodos de análisis numérico (Oliveros Patiño, 2009 y Zarate Siordia, 2012).

Estos modelos han sido las bases para desarrollar sistemas de ecuaciones más complejos que incluyen tasas cambiantes de infección (Cabo Biset y Cabo Montes de Oca, 2020; Chacón, 2020), población no susceptible, población en cuarentena (Guerro-Nancuante y Manríquez, 2020) y otros componentes que permiten tratar con más detalle los procesos de las epidemias.

3. Metodología

3.1. Los datos

La información empleada para ajustar el modelo procede del Tablero COVID (<https://tablerocovid.mspas.gob.gt/>). Estos datos, según se indicó en la prensa nacional fueron corregidos por el gobierno nacional y la Organización Panamericana de la Salud (Quiñonez, 2020). El tablero se presentó oficialmente el 18 de julio de 2020. Las cifras corregidas muestran mayores números acumulados de casos infectados y recuperados que la serie antigua u original. En las figuras 1 y 2 se pueden observar las series de personas infectadas

Fernando Girón Soto ◀ ¿Qué es el hoy? ¿Cómo será mañana?

antigua y la nueva y la diferencia entre ambas. Se aprecia que desde la segunda quincena de mayo, la diferencia entre las series comenzó a crecer para estabilizarse en valores entre 600 y 700, pero desde mediados de junio la diferencia se hizo creciente pasando de estos valores hasta una cifra superior a 2,500 a mediados de julio.

Las diferencias entre las series podrían deberse a que en la primera de ellas se subvaluaron los registros posiblemente para reducir el pánico o para justificar la baja ejecución presupuestaria del ministerio de salud o ambas. En cualquiera de estos casos, se evidencia mala voluntad en el manejo de la información sobre la enfermedad en Guatemala.

Figura 1. Series nueva y antigua de personas infectadas con COVID-19 en Guatemala. Marzo - julio de 2020

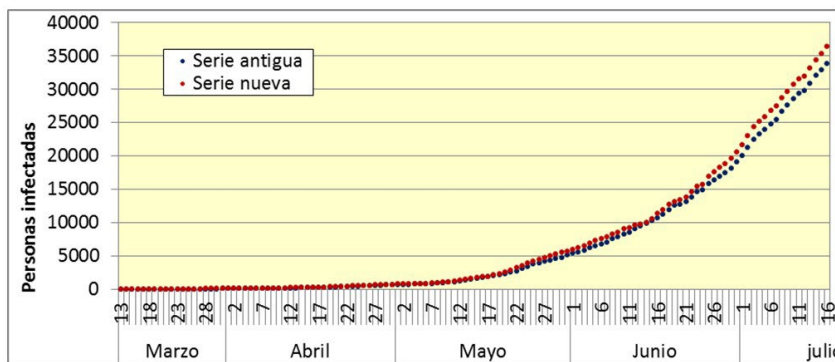
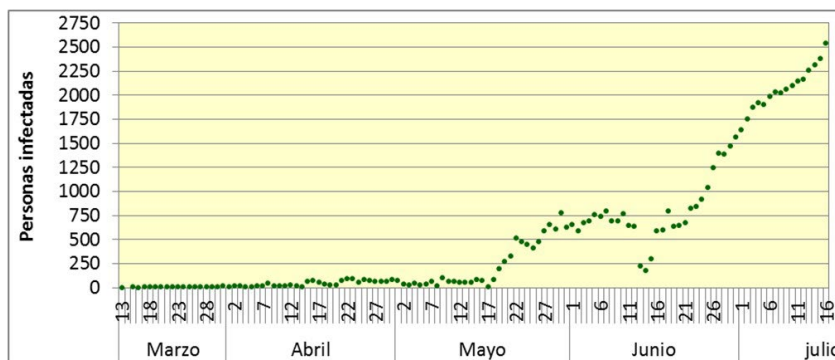


Figura 2. Diferencias entre las series nueva y antigua de personas infectadas con COVID-19 en Guatemala. Marzo - julio de 2020



La información empleada para los modelos cubre el período 13 de marzo al 13 de septiembre. Se usan los registros acumulados de casos confirmados, es decir, de personas infectadas por COVID-19.

3.2. El modelo

Para predecir la evolución, el nivel máximo de infectados activos y la fecha en que se alcanza, se empleó el modelo SIR. Para estimar el tiempo de duración de la enfermedad se consideró que según el Centro de Coordinación de Alertas y Emergencias Sanitarias de España (2020), el período de incubación tiene un rango de 1-14 días, lo cual da pauta para usar una media de 7 días. Esta fuente también indica que desde el inicio de los síntomas hasta la recuperación transcurren 2 semanas cuando la enfermedad ha sido leve y 3-6 semanas cuando ha sido grave o crítica. En nuestro modelo usamos un período de incubación de 7 días y uno de duración de la enfermedad de 15 días, lo cual a sumarlos da 22 días, tiempo similar a los 21 días que las autoridades del ministerio de salud estiman para la recuperación de los pacientes infectados (Pitan, 2020 y Gramajo, 2020). Por otro lado, la tasa de retiro de la

población infectada se obtuvo de la suma de las proporciones de recuperados (0.9025) y fallecidos (0.0378) estimadas con los datos del Tablero COVID.

Por otro lado, debido a que los niveles máximos de las personas infectadas activas predichos con los modelos SIR son muy altos, se introdujo una corrección en la estimación de los casos positivos diarios (contagios diarios). En este caso, en lugar de basarnos en la ley de acción de masas para predecir los contagios diarios [factores S_t I_t en la ecuación (1)], se usó una ecuación logística del total acumulado de personas infectadas.

Sin esta corrección, las predicciones del SIR son muy altas, tanto que en abril intentamos publicar un artículo en la prensa nacional y ninguno de los periódicos seleccionados aceptó hacerlo. Sin duda las grandes cifras los asustaron. Sin embargo, a mediados de junio, la Comisión Presidencial de Atención a la Emergencia COVID-19 (COPRECOVID) presentó un informe en el congreso en donde se indicaba que para finales de agosto, el país contaría con 592 mil infectados (Ramírez, 2020), una ejemplo de predicción alta. Al respecto, Edwin Asturias, director

de la COPRECOVID, “publicó en su cuenta de Twitter que el modelo de casos del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS) no toma en cuenta intervenciones y estos 592 mil casos ocurrirían solamente si no se hiciera nada” (Ramírez, 2020).

Para corregir la tendencia a predicciones muy altas del modelo SIR, la función logística fue ajustada siguiendo un proceso de dos etapas. En la primera de ellas se ajustó una función Cobb-Douglas para predecir la variación diaria de la variable acumulada personas infectadas (V_t). Luego con este dato se estimó el nivel máximo de personas infectadas, el cual sirvió para estimar la ecuación que captura el patrón logístico de la variable acumulada personas infectadas.

La función Cobb-Douglas usada fue la siguiente:

$$V_t = AD_t^\alpha \beta \dots (8)$$

En donde V_t es la variación diaria del total acumulado de personas infectadas ($Y_t/Y_{(t-1)}$), Y_t es el total de personas infectadas en el t -ésimo día y D_t es el t -ésimo día en la serie que tiene su origen el 13 de marzo de 2020.

Para su ajuste empírico, luego de linealizarla con logaritmos naturales y adicionarle el error aleatorio, esta ecuación quedó expresada como,

$$\ln V_t = \ln A + \beta \ln D_t + u_t \dots (9)$$

Para encontrar el nivel máximo de personas infectadas se estimaron los niveles diarios de esta variable usando la siguiente ecuación:

$$Y_t = V_t Y_{(t-1)} \dots (10)$$

En donde, V_t es la estimación de V_t obtenida con (8).

El valor máximo de la ecuación (10) constituye el “techo” de la función logística, es decir, el parámetro K de esta función,

$$Y_t = K / (1 + e^{-(\alpha + \beta D_t)}) \dots (11)$$

Para su ajuste, se despejó respecto a $(\alpha + \beta D_t)$ y se le adicionó el componente aleatorio de error, llegando a la siguiente expresión,

$$\ln(K/Y_t - 1) = \alpha + \beta D_t + u_t \dots (12)$$

Con el modelo (12) se hicieron las predicciones de la curva acumulada de personas infectadas y con estas se estimaron los valores marginales diarios, los cuales son los valores de los infectados

diarios usados en el modelo SIR con nuestra corrección.

Este enfoque se usó dos veces, una con los datos que provee el tablero COVID y otra asumiendo que desde el 1 de agosto se usaron 5,000 pruebas de diagnóstico diarias a nivel nacional, meta que ha sido prometida desde junio por la COPRECOVID (El Periódico, 2020), pero que no ha sido cumplida hasta el momento. Por la cantidad de infectados del departamento de Guatemala, esta meta sería de 2,719 pruebas para este departamento. Luego en este escenario se volvió a buscar el nivel máximo de los infectados activos y su fecha de ocurrencia.

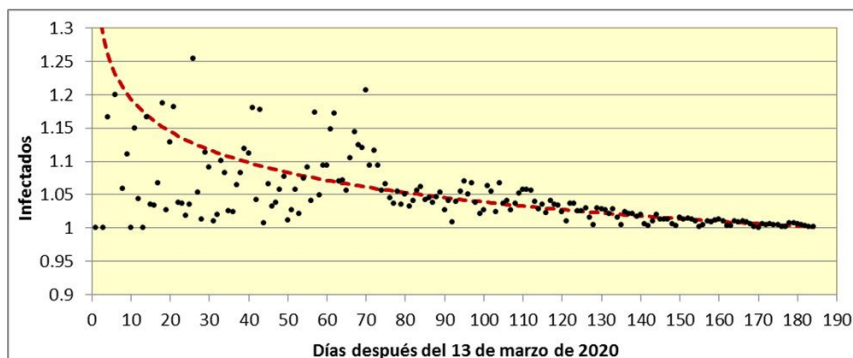
4. Resultados

4.1. La curva logística y los casos positivos diarios

Las proporción diaria en que se modifica la variable acumulada personas infectadas se muestra en la figura 3 y en el cuadro 1 se presenta la regresión que relaciona esta variable con el tiempo (días). La ecuación obtenida tiene un ajuste mediano a los datos ($r^2 = 0.6232$) y alta significancia en las pruebas de F y t de Student.

Por su parte, la ecuación de la infección estimada con la variación diaria ($Y_t = V_t - Y_{(t-1)}$), registró un coeficiente de determinación de 0.9999, el cual indica que la ecuación se ajusta en 99.99% a los datos, lo cual evidencia una capacidad predictiva muy alta. La curva de infección predicha con esta ecuación se presenta en la figura 4. Su nivel máximo es 44,880 personas infectadas.

Figura 3. Variaciones diarias de la variable acumulada personas infectadas. Departamento de Guatemala, 2020



Cuadro 1. Modelo de regresión ajustado a las variaciones diarias de la variable acumulada personas infectadas. Departamento de Guatemala, 2020

Variable	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Significancia (Probabilidad)
Intercepción	0.3155	0.0183	17.2075	7.5256E-33
$\ln D_t$	-0.0602	0.0038	-15.8771	4.0630E-30
r^2	0.6981			
F(1 y 109)	252.0815			4.0630E-30

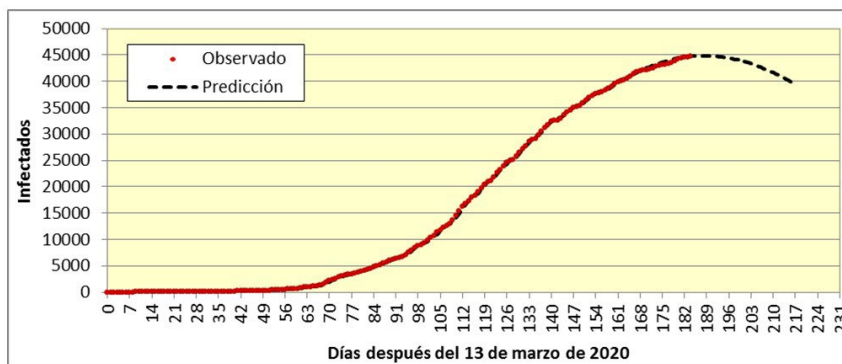
Nota: La ecuación de la variación diaria es $V_t = 1.3709D_t^{-0.0602}$

El modelo logístico, por su parte, se presenta en el cuadro 2 y en la figura 6 se presentan sus predicciones frente a los datos observados. Este modelo también tiene un alto ajuste a los datos ($R^2 = 0.9859$) y alta significancia en las pruebas de F y de t sobre los parámetros estimados de la ecuación.

En la figura 6 se presentan las predicciones de los infectados diarios por COVID-19 del 14 de marzo al 15 de octubre de 2020. El nivel máximo de infecciones diarias predichas fue de 750 personas y este nivel se alcanzó el 15 de julio de 2020 (124 días después del 13 de marzo de 2020). Esta variable no representa a los infectados activos. Para estimarlos, esta serie

fue usada en modelo SIR corregido que se presenta en el siguiente sub inciso.

Figura 4. Valores observados y predicciones de la variable acumulada personas infectadas. Departamento de Guatemala, 2020



Cuadro 2. Parámetros del modelo logístico ajustado a la variable acumulada de personas infectadas por COVID-19. Departamento de Guatemala, 2020

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Significancia (probabilidad)</i>
Intercepción	8.2417	0.0630	130.8934	9.3005E-183
D_t	-0.0669	0.0006	-112.9430	3.5329E-171
R^2	0.9859			
$F_{(3 \text{ y } 180)}$	12756.1323			3.5329E-171

Nota: La ecuación de la función logística es $Y_t = (44,880) / (1 + e^{-(8.2417 - 0.0669D_t)})$

Figura 5. Datos observados de la variable acumulada personas infectadas por COVID- 19 y predicciones del modelo logístico. Departamento de Guatemala, 2020

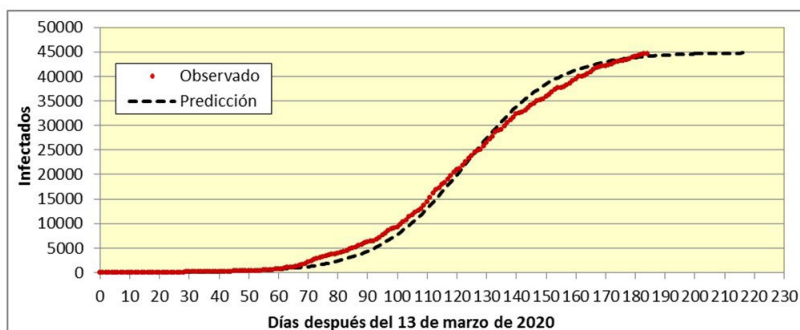
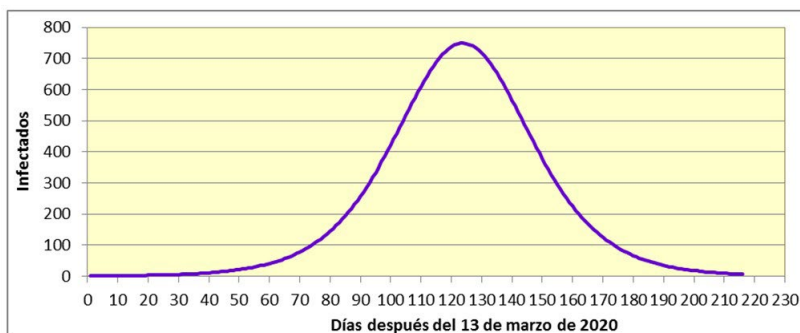


Figura 6. Infecciones diarias por COVID-19. Departamento de Guatemala, 2020



4.2. Modelo SIR corregido

El modelo SIR obtenido con la corrección usada fue el siguiente:

$$I_t = \frac{44,880}{1 + e^{8.2417 - 0.0669D_t}} \dots \dots (13)$$

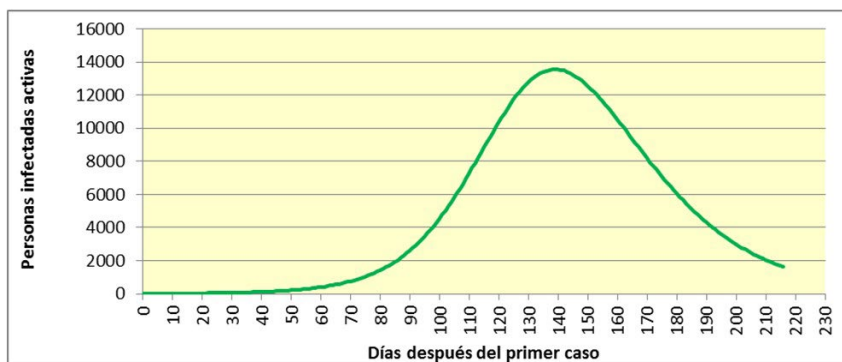
$$\frac{dS}{dt} = - \frac{\Delta I_t}{\Delta t} \dots \dots (14)$$

$$\frac{dI}{dt} = \frac{\Delta I_t}{\Delta t} - \frac{0.9403}{22} I_{t-1} \dots \dots (15)$$

$$\frac{dR}{dt} = \frac{0.9403}{22} I_{t-1} \dots \dots (16)$$

La curva de personas infectadas activas se presenta en la figura 7. El nivel máximo fue de 13,556 personas y se alcanzó el 30 de julio de 2020.

Figura 7. Curva de personas infectadas activas. Departamento de Guatemala, 2020



5. Discusión de los resultados

La variable acumulada de personas infectadas por COVID-19 tiene una curva que crece a una tasa que se reduce diariamente, como se muestra en la figura 3. Esta propiedad hace que su patrón de crecimiento siga la ley de una función logística (figura 5), lo cual no constituye ningún hallazgo. Es lógico esperar que las personas infectadas, como variable acumulada aumenten hacia un valor máximo límite y que en el

tiempo sigan un patrón con forma de "S".

No hay mucho que discutir sobre los resultados obtenidos en términos estadísticos. Las ecuaciones de regresión usadas se ajustaron fuertemente a los datos y no dejan margen para cuestionarlas. Sin embargo, es necesario abordar el cuestionamiento de los resultados en función de la respuesta que el total de infectados tiene al número de pruebas de diagnóstico. Esta respuesta es positiva, es decir, en la medida que aumentan las pruebas, aumenta el número de

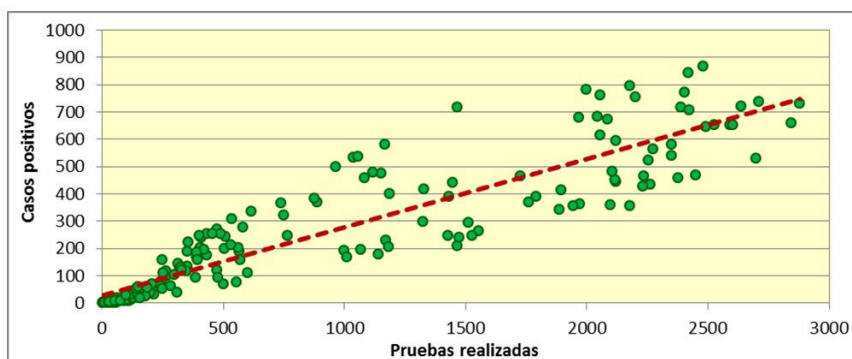
infectados (figura 8), ocurriendo lo contrario si el número de pruebas se reduce.

En las últimas semanas, la cantidad de pruebas realizadas ha tendido a reducirse, introduciendo un sesgo sistémico en los datos, aumentando la tendencia decreciente de las personas infectadas diariamente y con ello una mayor reducción de la variación diaria del total acumulado de infectados positivos, lo cual mueve hacia la izquierda el centro de gravedad de la figura geométrica que forma la curva de infectados activos, lo cual en otras

palabras indica una reducción del nivel máximo de esta curva.

Por otro lado, ha existido una patrón sistemático de sub registro de los casos de los sábados y domingos, dando motivo a que la redacción del Diario La Hora le dedicara un editorial a ese virus que trabaja con semana inglesa, atacando duro de lunes a viernes y descansando sábado y domingo (La Hora, 2020). Este patrón también se suma al proceso que reduce la variación diaria del total acumulado de casos positivos y el nivel máximo de infectados activos.

Figura 8. Relación entre personas infectadas por día y pruebas de diagnóstico realizadas. Departamento de Guatemala, 2020

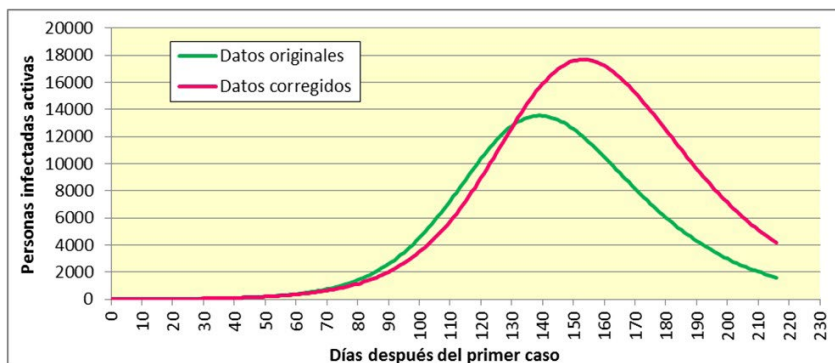


Para corregir estos sesgos se asumió que desde el 1 de agosto de 2020 se usaron diariamente 5,000 pruebas de diagnóstico a nivel nacional, las cuales con el total de infectados del departamento de Guatemala respecto al total nacional, equivaldrían a 2,719 pruebas diarias para este departamento. Con esta corrección se hicieron de nuevo los ajustes de las funciones (todos estos resultados se presentan en el anexo), dando como resultado que la curva de infectados activos, respecto a la determinada con los datos originales, se moviera hacia la derecha (figura 9). En este caso, el máximo de personas infectadas activas es de 17,696 y se alcanzó el 13 de agosto, 17 días después de haber iniciado el proceso de apertura económica.

Algo que debe indicarse es que con la apertura de la economía, se esperaban aceleraciones en el número de casos, pero según la información del Tablero COVID ocurrió lo contrario. Es obvio

que con la apertura aumentó la exposición de la personas y sin lugar a dudas, aumentaron también los contagios. No se dispone de información para determinar cuánto, pero el hecho de no estar registrados en el Tablero COVID no significa que el aumento de casos no haya ocurrido. Posiblemente, las personas que enfermaron se quedaron en sus casas. El problema es que este tema no ha sido atendido por el sistema con la objetividad necesaria. Quieren rastrear a los enfermos fuera del sistema de salud usando llamadas telefónicas (Cuevas, 2020). Esta es una medida muy tímida. Los rastreadores tienen que operar en la calle y en los barrios, por ejemplo, cuando uno necesita determinar la población de una especie de planta, árbol, animal silvestre, bovinos infectados con rabia, équidos con anemia infecciosa, etc., debe hacerlo en el campo y complementarse con una red de informantes de las comunidades. De otro modo, habrá sub registro de los casos.

Figura 9. Curvas de personas infectadas activas con los datos originales y corregidos. Departamento de Guatemala, 2020



6. Conclusiones

Los análisis realizados muestran que el nivel máximo de infectados activos en el departamento de Guatemala se encuentra en el intervalo 13,599 y 17,836 personas y su alcance ocurrió en el período 30 de julio al 13 de agosto.

La ausencia de incrementos fuertes en los casos en la etapa posterior a la apertura económica indica que existe un sub registro de los mismos. Este proceso se deriva del incumplimiento de las 5,000 mil pruebas de diagnóstico diarias prometidas por el gobierno desde junio. Los resultados muestran que el número de casos positivos depende directamente del número

de pruebas de diagnóstico. Además, el proceso de sub registro se refuerza con la ausencia en la etapa actual de un enfoque para registrar a los pacientes atendidos fuera del sistema de salud. El uso de teléfonos para rastrear estos casos no es la manera correcta de hacerlo. Los rastreadores deben trabajar en el campo y complementarse con una red de informantes.

Referencias bibliográficas

- Barrientos Castañeda, Miguel. (Prensa Libre, 11 de agosto de 2020). Coronavirus: así es como Guatemala espera procesar 5 mil pruebas diarias. Recuperado de <https://www.prensalibre.com/guatemala/comunitario/coronavirus-asi-es-como-guatemala-espera-procesar-5-mil-pruebas-diarias/>

- Boche, Evelyn. (elPeriódico, 26 de marzo de 2020). Matemáticos estiman que el pico de contagio del COVID-19 será en mayo. Recuperado de <https://elperiodico.com.gt/nacion/2020/03/26/matematicos-estiman-que-el-pico-de-contagio-del-covid-19-sera-en-mayo/>
- Cabo Bizet, Nana y Cabo Montes de Oca, Alejandro. (2020). Modelos SIR modificados para la evolución del COVID19. Recuperado de <https://arxiv.org/pdf/2004.11352.pdf>
- Centro de Coordinación de Alertas y Emergencias Sanitarias. (2020). Información científica-técnica, enfermedad por coronavirus, COVID-19. Actualización, 3 de julio 2020. España: Ministerio de Sanidad. Recuperado de <https://www.mscbs.gob.es/profesionales/saludPublica/ccayes/alertasActual/nCov/documentos/ITCoronavirus.pdf>
- Chacón, José. (2020). Modelo SIR con tasa de transmisión dinámica. Recuperado de http://matematicas.unex.es/~jechacon/covid19/index_archivos/ChaconCovidWeb.pdf
- Chang, Juan Diego y Ponciano, Juan. (2020). Estimación de la evolución de la epidemia COVID-19. Recuperado de <https://guateciencia.wordpress.com/2020/03/22/estimacion-de-la-evolucion-de-la-epidemia-covid-19/>
- Cuevas, Douglas. (Prensa Libre, 21 de agosto de 2020). Rastreadores de coronavirus: la tarea de acorralar el virus y evitar su propagación. Recuperado de <https://www.prensalibre.com/guatemala/comunitario/rastreadores-de-coronavirus-la-tarea-de-acorralar-el-virus-y-evitar-su-propagacion/>
- Diario La Hora (3 de agosto de 2020). Virus con semana inglesa. Recuperado de <https://lahora.gt/virus-con-semana-inglesa/>
- El Periódico. (9 de junio de 2020). Se prevé realizar 5 mil pruebas de COVID-19 diarias en las próximas semanas. Recuperado de <https://elperiodico.com.gt/nacion/2020/06/09/se-preve-realizar-5-mil-pruebas-de-covid-19-diarias-en-las-proximas-semanas/>
- Espina, Cindy. (elPeriódico, 26 de julio de 2020). Gobierno anuncia plan de apertura económica y tablero de alertas. Recuperado de <https://elperiodico.com.gt/nacion/2020/07/26/gobierno-anuncia-plan-de-apertura-economica-y-tablero-de-alerta-1/>
- Guerrero-Nancuante, Camilo y Manríquez, Ronald. (2020). Proyección epidemiológica de COVID-19 en Chile basado en el modelo SEIR generalizado y el concepto de recuperado. Medwave 20(4). Doi:10.5867/medwave.2020.04.7898 Recuperado de <https://www.medwave.org/revista/medwave.2020.04.7898>

- medwave.cl/link.cgi/Medwave/
Revisiones/Analisis/7898.act
- Gramajo, Jessica. (Soy502, 28 de julio de 2020,). El criterio de Salud para definir a pacientes “no infecciosos”. Recuperado de <https://www.soy502.com/articulo/salud-considera-recuperados-pacientes-covid-19-21-dias-100931>
 - Kermack, W. O. and McKendrick, A.G. (1927). A contribution to the mathematical theory of epidemics. Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical and Physical Character. 115(772): 700-721. Recuperado de <http://www.math.utah.edu/~bkohler/Journalclub/kermack1927.pdf>
 - Morales, Sergio. (Prensa Libre, 13 de junio de 2020). Estudio de ProDatos muestra cómo está la situación del país ante el coronavirus. Recuperado de <https://www.prensalibre.com/guatemala/comunitario/estudio-de-prodatos-muestra-como-esta-la-situacion-del-pais-ante-el-coronavirus/>
 - Ola, Ana Lucía. (Prensa Libre, 11 de junio de 2020). Tres de cada 10 guatemaltecos siguen escépticos al peligro del coronavirus. Recuperado de <https://www.prensalibre.com/guatemala/comunitario/tres-de-cada-10-guatemaltecos-siguen-escepticos-al-peligro-del-coronavirus/>
 - Oliveros Patiño, German Andrés. (2009). Simulación y estimación de parámetros de modelos de enfermedades infecciosas. Tesis de ingeniero químico. Colombia: Universidad Industrial de Santander.
 - Pazos, Enrique. (2020). Apuntes sobre modelos matemáticos para covid-19 y proyecciones usando el calculador de epidemias online. Recuperado de <https://materviva.wordpress.com/2020/03/25/apuntes-sobre-modelos-matematicos-para-covid-19/>
 - Pitán, Edwin. (Prensa Libre, 18 de julio de 2020). Coronavirus: pacientes se consideran recuperados 21 días después de dejar de sentir síntomas. Recuperado de <https://www.prensalibre.com/guatemala/comunitario/coronavirus-pacientes-se-consideran-recuperados-21-dias-despues-de-dejar-de-sentir-sintomas/>
 - Quiñonez, Edgar. (República, 18 de julio de 2020). Salud presenta nuevo tablero que actualiza registro de covid-19 en Guatemala. Recuperado de <https://republica.gt/2020/07/18/salud-presenta-nuevo-table-ro-que-aumenta-registro-de-covid-19-en-guatemala/>
 - Ramírez, Claudia. (elPeriódico, 19 de junio de 2020). Coprecovid estima 592 mil casos positivos de COVID-19 a finales de agosto en el país. Recuperado de <https://elperiodico.com.gt/nacion/2020/06/19/copre->



- covid-estima-592-mil-casos-positivos-de-covid-19-a-finales-de-agosto-en-el-pais/
- Reyes-Hernández, Mamerto. y Calderón Aguirre, Lesbia A. (2020a). Evolución potencial de la epidemia nacional por coronavirus en Guatemala. *Revista Digital Análisis de la Realidad Nacional* 9(183):67-86. Recuperado de: <http://ipn.usac.edu.gt/wp-content/uploads/2020/05/IPN-RD-183.pdf>
 - Reyes-Hernández, Mamerto. y Calderón Aguirre, Lesbia A. (2020b). Las tasas de crecimiento de la población infectada por coronavirus en Guatemala en los primeros 78 días de la epidemia nacional. *Revista Digital Análisis de la Realidad Nacional* 9(185):82-96. Recuperado de: <http://ipn.usac.edu.gt/wp-content/uploads/2020/06/IPN-RD-185.pdf>
 - Ríos, Rony. (elPeriódico, 18 de abril de 2020a). Pico epidemiológico podría darse a finales de julio, según proyecciones. Recuperado de <https://elperiodico.com.gt/nacion/2020/04/08/pico-epidemiologico-podria-darse-a-finales-de-julio-segun-proyecciones/>
 - Ríos, Rony. (elPeriódico 13 de mayo de 2020b). Proyecciones matemáticas coincidieron con aumento de casos de COVID-19. Recuperado de <https://elperiodico.com.gt/nacion/2020/05/13/proyecciones-matematicas-coincidieron-con-aumento-de-casos-de-covid00/>
 - Velásquez Pérez, Luis Guillermo. (2020), Elementos para el análisis del comportamiento del covid-19 en Guatemala. *Revista Digital Análisis de la Realidad Nacional* 9(182):84-104. Recuperado de: <http://ipn.usac.edu.gt/wp-content/uploads/2020/04/IPN-RD-182-1.pdf>
 - Vicepresidencia de la República. (2020). Tablero de alertas COVID-19. Recuperado de <https://www.vicepresidencia.gob.gt/video/TABLERO-DE-ALERTAS-COVID-19>
 - Zarate Siordia, Luis Alberto. (2012). Modelación de enfermedades infecciosas con información geográfica. Tesis de maestro en ciencias en matemáticas aplicadas e industriales. México: Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa.

Anexo

Cuadro A1. Modelo de regresión ajustado a las variaciones diarias de la variable acumulada personas infectadas. Datos corregidos. Departamento de Guatemala, 2020
Cuadro A2. Parámetros del modelo logístico ajustado a la

Variable	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Significancia (Probabilidad)
Intercepción	0.2783	0.0179	15.5561	1.9150E-29
$\ln D_t$	-0.0520	0.0037	-14.0631	3.0458E-26
r^2	0.6447			
F(1 y 111)	197.7722			3.0458E-26

Nota: La ecuación de la variación diaria es $V_t = 1.3209D_t - (-0.0520)$

variable acumulada de personas infectadas por Covid 19. Datos corregidos. Departamento de Guatemala, 2020

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Significancia (probabilidad)
Intercepción	8.2438	0.07780	105.96758	3.4580E-166
D_t	-0.0601	0.00073	-82.11596	2.4312E-146
R^2	0.9736			
$F_{(3 \text{ y } 180)}$	6743.0302			2.4312E-146

Nota: La ecuación de la función logística es $Y_t = (62,834) / (1 + e^{-(8.2438 - 0.0601D_t)})$