

# Análisis del modelo SIR aplicado a Nicaragua para predecir el comportamiento de COVID – 19

Ariel Antonio Olivas Hernández UNAN-MANAGUA, FAREM MATAGALPA

Licenciado en Matemática

<https://orcid.org/0000-0002-7213-6615>

[olivashernandezariel@gmail.com](mailto:olivashernandezariel@gmail.com)

Dicson Antonio Méndez López

UNAN-MANAGUA, FAREM MATAGALPA

Licenciado en Física Matemática

<https://orcid.org/0000-0003-2910-3794>

[dicsnml@yahoo.es](mailto:dicsnml@yahoo.es)

Arnoldo Abraham Herrera

Licenciado en Física Matemática

[ar270996herrera@gmail.com](mailto:ar270996herrera@gmail.com)

## Introducción

En la actualidad la sociedad a nivel mundial enfrenta una gran pandemia denominada COVID - 19, que sin duda alguna ha provocado numerosos cambios en los diferentes ámbitos de la vida, hasta el extremo de modificar la forma de socialización entre los seres humanos.

En la búsqueda continua por evitar que el grado de afectación de esta pandemia sea cada día menor, se intenta combatir aplicando aquellas medidas y métodos más efectivos que aseguren cierto grado de confianza ante esta difícil situación, que reconfigura los múltiples sistemas en que se desenvuelve todos los seres vivos.

El nuevo coronavirus COVID – 19, no se había detectado antes de que se notificara el brote en Wuhan (China) en diciembre de 2019. La epidemia COVID – 19 fue declarada por la OMS una emergencia de salud pública de preocupación internacional el 30 de enero de 2020. Este hecho alarmó a toda la sociedad, dado que su comportamiento de propagación es muy rápido, e indiscutiblemente, en algún momento, tendría que entrar en contacto con la población nicaragüense.

En Nicaragua se registra el primer caso de COVID – 19 un 18 de marzo de 2020, de acuerdo con el periódico “El 19 Digital”, se afirma que “Un Nicaragüense de 40 años resultó positivo en la prueba de Covid-19, informó la noche de este miércoles la vicepresidenta de la República, compañera Rosario Murillo” (El 19 Digital, 2020). Desde este momento hasta la fecha actual, los casos de contagio aumentan considerablemente cada día.

Los distintos gobiernos, organizaciones y científicos están uniendo esfuerzos por encontrar una cura efectiva, de tal modo que regrese a la humanidad esa paz y tranquilidad que se gozaba en años anteriores. Esta lucha incesante ha generado ciertos frutos para el avance de la ciencia, principalmente la enfocada en epidemias o áreas afines a la salud, las cuales mayormente se auxilian de la tecnología y Matemática.

El grado de relevancia de la construcción de los modelos matemáticos para enfermedades infecciosas es evidente dado que muestran relaciones que no son detectadas en primera instancia. Por otra parte, a partir del modelo elaborado se pueden extraer o deducir propiedades y características de las relaciones entre los elementos o variables involucradas.

Una de las funciones de una modelización para pandemias o virus consiste en proveer un medio que posibilita entender la dispersión de una enfermedad infecciosa a través de una población bajo diferentes escenarios o ciertas condiciones, donde se visualice a grandes rasgos el comportamiento del virus.

Haciendo referencia sobre el alcance máximo que puede tener el virus a nivel mundial y nacional, se utilizan los modelos matemáticos, los cuales usualmente se encuentran cimentados en ecuaciones diferenciales, tal es el caso del modelo SIR (Susceptibles, Infectados, Recuperados) siendo este el modelo utilizado para este trabajo que consiste en modelar y analizar desde una perspectiva descriptiva-relacional el comportamiento del COVID – 19 en Nicaragua.

Según Sebastián (2010) afirma que *“un modelo SIR representa que los individuos pueden pasar de ser susceptibles, a infecciosos y de ahí a resistentes”*. Si el modelo fuese cíclico, se acaba el acrónimo con la misma letra que se inicia. Por ejemplo, un modelo SIS indica que los individuos pueden pasar de ser susceptibles a ser infecciosos y de ahí a ser susceptibles de nuevo.

El modelo SIR es el más básico que explica la evolución de una enfermedad infecciosa creada por un virus o una bacteria. Un ejemplo de este tipo de enfermedades es la gripe A o el Ebola. En este se describe el proceso en las tres distintas etapas:

- Población susceptible (S), individuos sin inmunidad al agente infeccioso, y que por tanto puede ser infectada si es expuesta al agente infeccioso.
- Población infectada (I), individuos que están infectados en un momento dado y pueden transmitir la infección a individuos de la población susceptible con la que entran en contacto.
- Población recuperada y fallecida (R), individuos que son inmunes a la infección (o fallecidos), y consecuentemente no afectan a la transmisión cuando entran en contacto con otros individuos.

Todo este proceso detallara con datos actualizados y evidentemente con la enfermedad actual que sufre la humanidad específicamente en los ciudadanos nicaragüenses.

## Descripción del Modelo

Los modelos matemáticos para enfermedades infecciosas se utilizan como herramienta o medio para tomar decisiones, las cuales deben someterse a valoraciones, ya que difícilmente es comprensible un problema complejo sin una mínima modelación. Además, se debe reconocer que no es posible modelar la totalidad de las situaciones reales.

## Modelo clásico de Kermack y McKendrick



Figura 1: Esquema de un modelo SIR.

Figura 1: Esquema de un modelo SIR.

Este modelo considera como hipótesis las siguientes condiciones:

- $N$  – Población constante – mismas tasas de nacimientos y muertes. Por consiguiente se afirma que la población permanece invariante.
- Población cerrada – No hay inmigración ni emigración: Esto es no existe entrada, tampoco salida de la población.
- La población está homogéneamente mezclada. El proceso de transmisión de la enfermedad está regido por la ley de acción de masas. Esto es, el número de personas susceptibles que pasan a convertirse en infecciosas, es proporcional al producto del número de individuos susceptibles por infecciosos.
- Los individuos infecciosos abandonarán su clase a una tasa constante para pertenecer a la clase de recuperados.
- El periodo de latencia desde el momento de la exposición hasta aquel en que el individuo comienza a ser infeccioso es lo suficientemente pequeño como para no tomarlo en cuenta.

En este modelo se asume que la población ( $N$ ) es constante y que el número de individuos susceptibles  $S(t)$ , infectados  $I(t)$  y Recuperados  $R(t)$  son variables dependientes del tiempo, esto es que, son variantes de acuerdo a cierto tiempo considerado.

## Metodología

Utilizando el modelo antes expuesto (SIR) se pretende determinar el comportamiento del COVID-19 en Nicaragua entre los meses de marzo-septiembre, partiendo de las hipótesis en que se sustenta dicho modelo, así como la consideración de los datos proporcionados por el MINSA, esto con la finalidad de mantener la veracidad de la

información, que a la vez tendrá un impacto trascendental en los distintos resultados obtenidos.

El modelo SIR (Susceptibles, Infestados, Recuperados) está definido mediante las siguientes ecuaciones:

$$S'(t) = -\beta SI$$

$$I'(t) = \beta SI - \gamma I$$

$$R'(t) = \gamma I$$

$$N = S + R + I$$

Es importante señalar que, en la metodología de trabajo para este modelo, en un momento dado (tiempo) cada individuo sólo puede pertenecer a uno de los siguientes conjuntos: susceptibles, infectados o recuperados. La interacción entre los individuos es aleatoria, y no hay intervención externa que cambie la tasa de contacto de la población.

Haciendo referencia a los parámetros

$$\gamma = \frac{1}{\text{Tiempo en que se cura el enfermo}}$$

$\beta$  – tasa de infección o transmisión de la enfermedad

Los valores respectivos que se asignan para cada parámetro son de acuerdo a lo establecido por la OMS y estudios científicos que identificaron, analizaron y comprobaron todo el proceso de vida e infección del virus COVID-19.

En Nicaragua se aplicaron ciertas medidas de intervención para contrarrestar la propagación del virus, para este modelo no se consideraron absolutamente todos los tipos de condiciones o variantes particulares, sino que se trabajó mediante una filosofía genérica, descriptiva y predictiva durante un período de tiempo establecido.

Haciendo referencia al software GeoGebra, el cual se utilizó para generar las distintas gráficas correspondientes a cada uno de los tipos: susceptibles, infestados y recuperados. Por otro lado, a partir del modelamiento gráfico se pasó al análisis de los resultados haciendo mayor énfasis en las relaciones y comportamientos entre las variables anteriormente mencionadas. Por último, se presenta una predicción del virus tomando como eje fundamental las relaciones y datos obtenidos.

## **Análisis del modelo aplicado a Nicaragua para predecir el comportamiento de COVID – 19**

El COVID-19 es un tipo de virus de propagación muy rápida, dado que tiene múltiples formas de transmitirse, entre estas se destaca el contacto con objetos, materiales (metálicos - no metálicos) y personas infestadas, por consiguiente basándose en este hecho es lícito afirmar que es muy difícil mantener un control total del virus, más aún si la población es muy grande.

Nicaragua es un país relativamente pequeño que tiene aproximadamente una población de 6,465,513 personas y que fue afectada por el COVID-19 en los primeros meses del año 2020. En este trabajo se consideraron todos los meses desde que inicio el primer caso de COVID – 19 hasta la fecha, es decir entre los meses de Marzo-Septiembre.

De acuerdo con la información del Minsa se tiene la siguiente tabla para dicho intervalo de tiempo:

Fecha	Positivos	Recuperados por semanas
18/3/2020	1	0
21/3/2020	4	0
28/3/2020	5	0
4/4/2020	7	2
11/4/2020	9	0
18/4/2020	11	0
25/4/2020	13	0
2/5/2020	14	0
9/5/2020	16	0
16/5/2020	25	3
23/5/2020	279	5
30/5/2020	759	370
2/6/2020	1118	691
16/6/2020	1823	973
23/6/2020	2170	1238
30/6/2020	2519	1238
7/7/2020	2846	1993
14/7/2020	3147	1993
21/7/2020	3439	2492
11/8/2020	4115	2913
20/8/2020	4311	2913
3/9/2020	4668	2913

Fuente: informes semanales del MINSA

En la tabla anterior se muestran los datos publicados por el MINSA desde que inicio la pandemia hasta la fecha. Por otra parte, en dicho conjunto de datos no se consideran absolutamente todos los casos ocurridos a nivel nacional, es decir se muestra un panorama general indicador del comportamiento de la pandemia en Nicaragua.

La estructura que se presenta en los distintos gráficos elaborados sobre la forma en que se expande el virus, es una modelización muy similar a una función exponencial, esto sucede hasta el mes de septiembre.

Para la elaboración de la siguiente gráfica se utilizó GeoGebra, dicha modelización se encuentra fundamentada en el modelo SIR, que a su vez se definió específicamente por los siguientes valores iniciales:

$$N = 6\,465\,513$$

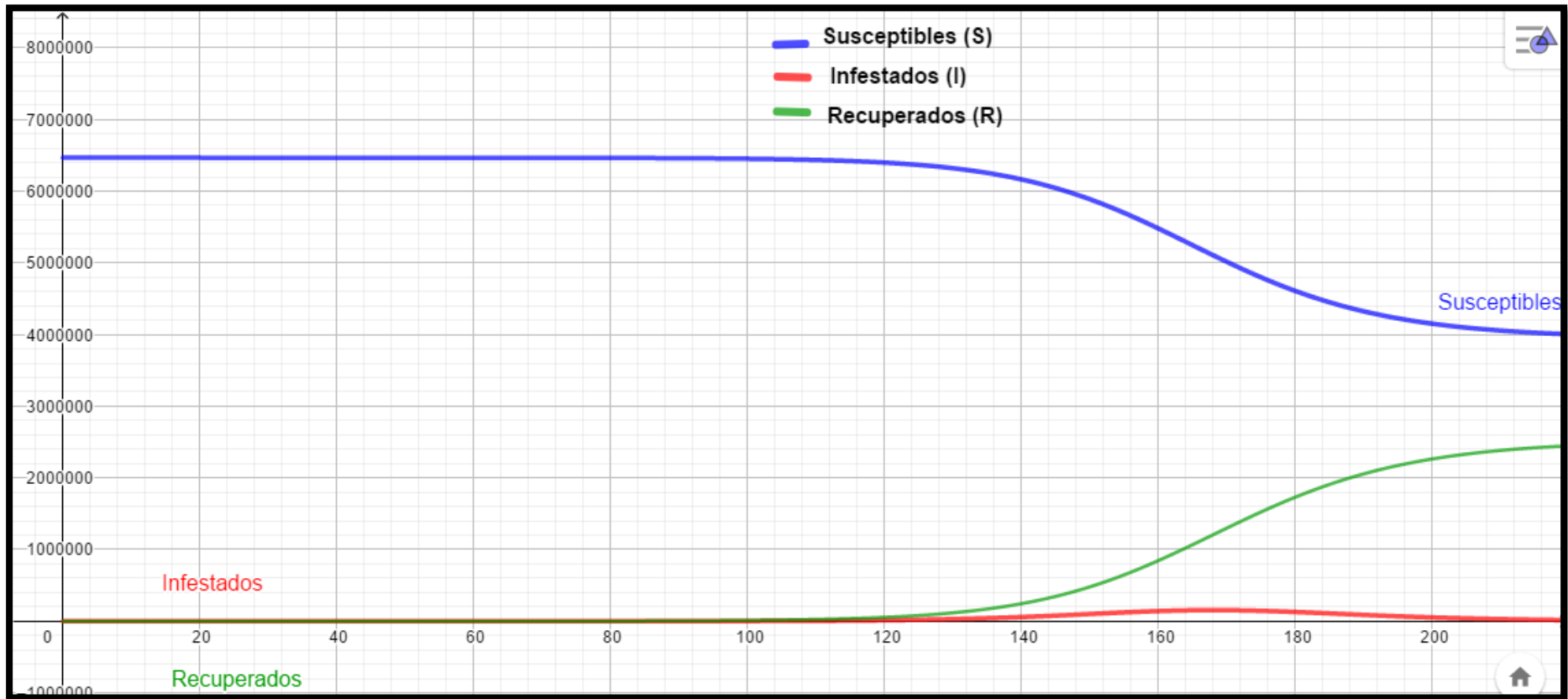
$$S = 6\,465\,512$$

$$I = 1$$

$$\beta = \frac{0.33}{6\,465\,513} = 5.14 \times 10^{-8}$$

$$\gamma = \frac{1}{14} = 0.071$$

Refiriéndose a la variable independiente tiempo (t), se estableció como máximo 300 días esto para lograr visualizar el comportamiento del virus en los siguientes meses.



Eje  $y$  (Personas).

Eje  $x$  (Tiempo en días).

Variables Dependientes: Susceptibilidad (S), Infectados (I), Recuperados (R).

Variable Independiente: Tiempo (t).

## Relación y el comportamiento entre variables

### Variables Dependientes.

A continuación, se mencionan las principales relaciones entre las variables dependientes:

1. Entre mayor es el número de personas susceptibles menor es el número de personas infestados y recuperados, este hecho se refleja en los primeros meses de la pandemia en Nicaragua.
2. La variable infestados ( $I$ ) se mantiene en un rango aproximado de  $0 - 2000000$  y  $4000000 - 6465512$  para la variable susceptibles ( $S$ ), en tal caso no existe intercepción entre las curvas que describen estas variables, por tanto se puede afirmar que no sucede la situación donde las personas infestadas superen o igualen a las personas susceptibles.
3. Cuando la variable susceptibles ( $S$ ) disminuye la variable recuperados ( $R$ ) aumenta, este hecho se puede visualizar mayormente en la terminación de las curvas. Por otro lado, no existe el caso cuando el número de personas infestadas sea menor o igual a la cantidad de personas recuperadas porque no hay punto de intersección entre las gráficas que describen estas variables.

### Variable Independiente y Variables Dependientes

1. En los primeros 2 meses es decir 60 días prácticamente no sucede variación alguna para las tres variables (susceptibles, infestados y recuperados) con respecto al tiempo ( $t$ ), por consiguiente el modelo SIR describe muy bien el comportamiento del virus hasta este intervalo de tiempo, por el hecho que desde el 18 de marzo hasta el 16 de Mayo existían un total de apenas 25 casos de personas infestadas por COVID - 19 y 3 recuperados, evidentemente este hecho se confirma con el comportamiento gráfico de las distintas variables consideradas.
2. Una pequeña variación comienza a manifestarse en el intervalo de 100-120 días, la cual es que, la cantidad de los infestados, recuperados aumentan y las personas susceptibles disminuyen, contrastando este hecho con los datos del Minsa se obtiene en esta etapa de tiempo el virus aumento considerablemente, dado que se pasó de 759 a 2170 casos confirmados, además el número de los recuperados aumento en cierta cantidad.
3. La mayor variación que se muestra para todas las variables involucradas en este modelo, es en el intervalo de tiempo de 120 a 180 días, es decir entre los meses de junio - septiembre, la propagación del virus es más fuerte, esto es que, existe una mayor cantidad de personas infectadas por COVID - 19, por consiguiente este hecho concuerda con los datos del Minsa dado que los registros publicados superan los 4000 infectados. Por otra parte, el número de recuperados se dispara en este período de tiempo.



4. El número máximo de infectados al que se llegará aproximadamente es de 150 000 y este se alcanza entre los 160 y 170 días (Nota: Esta cantidad se identificó utilizando el zoom que posee GeoGebra, la imagen se encuentra en los anexos).

## Predicción – Fin de la enfermedad

En el tiempo actual Nicaragua se encuentra en una etapa donde el virus aumentará de forma exponencial, principalmente en los próximos días esto de acuerdo con la gráfica obtenida a partir del modelo SIR.

Haciendo referencia a la prevalencia de este modo exponencial será quizás hasta el mes de octubre, luego en los siguientes meses bajará paulatinamente hasta llegar a una versión muy similar a la ocurrida entre los 100 – 120 días. Posteriormente se mantendrá este comportamiento durante varios meses, probablemente hasta los primeros 3 meses del otro año y se especula que el final de la enfermedad suceda a mediados del 2021, aproximadamente en el mes de Junio.

## Conclusiones

El modelo SIR permitió mostrar de forma muy acertada el comportamiento del virus COVID – 19 en Nicaragua, así como mostrar el modo relacional entre las variables dependientes e independiente.

Los parámetros  $\beta$  y  $\gamma$  tienen gran impacto en cuánto a la gráfica que se genera, dado que si estos toman otros valores menores o iguales a los que se deben considerar, las gráficas obtenidas tienen otro comportamiento.

El modelo SIR permitió analizar y describir una modelización aproximada a la realidad que vive la población nicaragüense respecto al COVID – 19. También este tipo de modelo ayuda a mejorar la comprensión sobre las afectaciones y comportamientos del virus en un tiempo determinado. Por otra parte, puede ser utilizado para prevenir futuras situaciones de enfermedades, determinar la prevalencia e incidencia en la sociedad y contribuir a las soluciones objetivas para controlar o erradicar las enfermedades.

Las variables dependientes (susceptibles, infectados, recuperados) presentan mayor variación en un intervalo de tiempo de 120 a 180 días. Aplicando este hecho a la realidad que vive la población nicaragüense se espera que la propagación del virus aumente considerablemente en los meses de septiembre y octubre.

La descripción del virus para las variables infectados y recuperados es presentada como un comportamiento de una función exponencial, desde que inicio la pandemia hasta la fecha actual, sin embargo, se espera que pase un proceso de cambio, donde descenderá paulatinamente el número de infectados y el número de recuperados ascenderá.

## Bibliografía

- Lesmes, O., Amaya, G., Tèllez, C., Gonzàlez, V., Abril, F., & Agudelo, C. (2020). Modelo SIR de la pandemiade Covid-19 en Colombia. *Salud Pública*, 9.
- Farmacèuticos, C. G. (2020). *CORONAVIRUS: COVID-19*. Shangháí.
- Digital, E. 1. (18 de Marzo de 2020). Ministerio de Salud reporta 25 casos confirmados de Coronavirus hasta el 12 de mayo. pág. 4.
- Prensa, L. (26 de Mayo de 2020). *Casos de Covid-19 (Mayo) aumentan a 759 en Nicaragua*, pág. 4.
- Prensa, L. (2 de Junio de 2020). *Minsa reporta 359 nuevos casos y 11 muertos por covid 19 en Nicaragua*, pág. 4.
- Prensa, L. (16 de Junio de 2020). *Informe del Minsa asegura que casos de Covid-19 llegan a 1823 en-nicaragua*, pág. 3.
- Prensa, L. (26 de Junio de 2020). *Minsa reporta 347 nuevos casos de coronavirus y 10 nuevas muertes*, pág. 4.
- Prensa, L. (30 de Junio de 2020). *Minsa reporta 349 nuevos casos de coronavirus y 9 nuevas muertes.* , pág. 3.
- Prensa, L. (7 de Julio de 2020). *Minsa registra 2846 contagios de coronavirus y 91 muertes por esta causa en Nicaragua*, pág. 3.
- Prensa, L. (14 de Juio de 2020). *Minsa registra 99 muertes por Covid-19 en Nicaragua* , pág. 3.
- Prensa, L. (21 de Julio de 2020). *Minsa reporta 3439 contagios de coronavirus en Nicaragua*, pág. 4.
- Prensa, L. (4 de Agostode 2020). *Nicaragua registra oficialmente 3672 casos de Covid 19 y 116 muertes por esta enfermedad*, pág. 3.
- Prensa, L. (4 de Agosto de 2020). *Minsa reporta por cuarta semana una baja en los casos de Covid-19 en Nicaragua*, pág. 3.
- Prensa, L. (11 de Agosto de 2020). *Minsa reporta 4115 casos de Covid-19 y 128 muertes en Nicaragua*, pág. 3.
- Prensa, L. (01 de Septiembre de 2020). *Casos positivos de Covid-19 en Nicaragua llegan a 4 668 y141 muertes segùn el Minsa*, pág. 3.
- Prensa, L. (19 de Mayo de 2020). *Casos de COVID-19 de 25 a 279 en una semana en Nicaragua*. pág. 3.

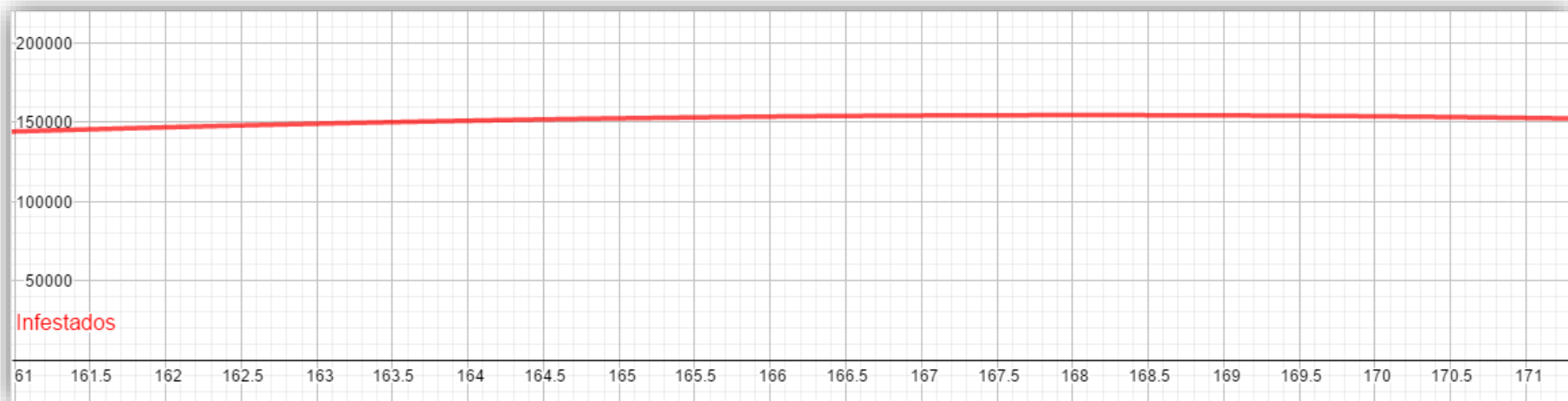
## **Anexos**

$$\beta = 2.5 * 10^{-8}$$

$$\gamma = 0.00714287$$

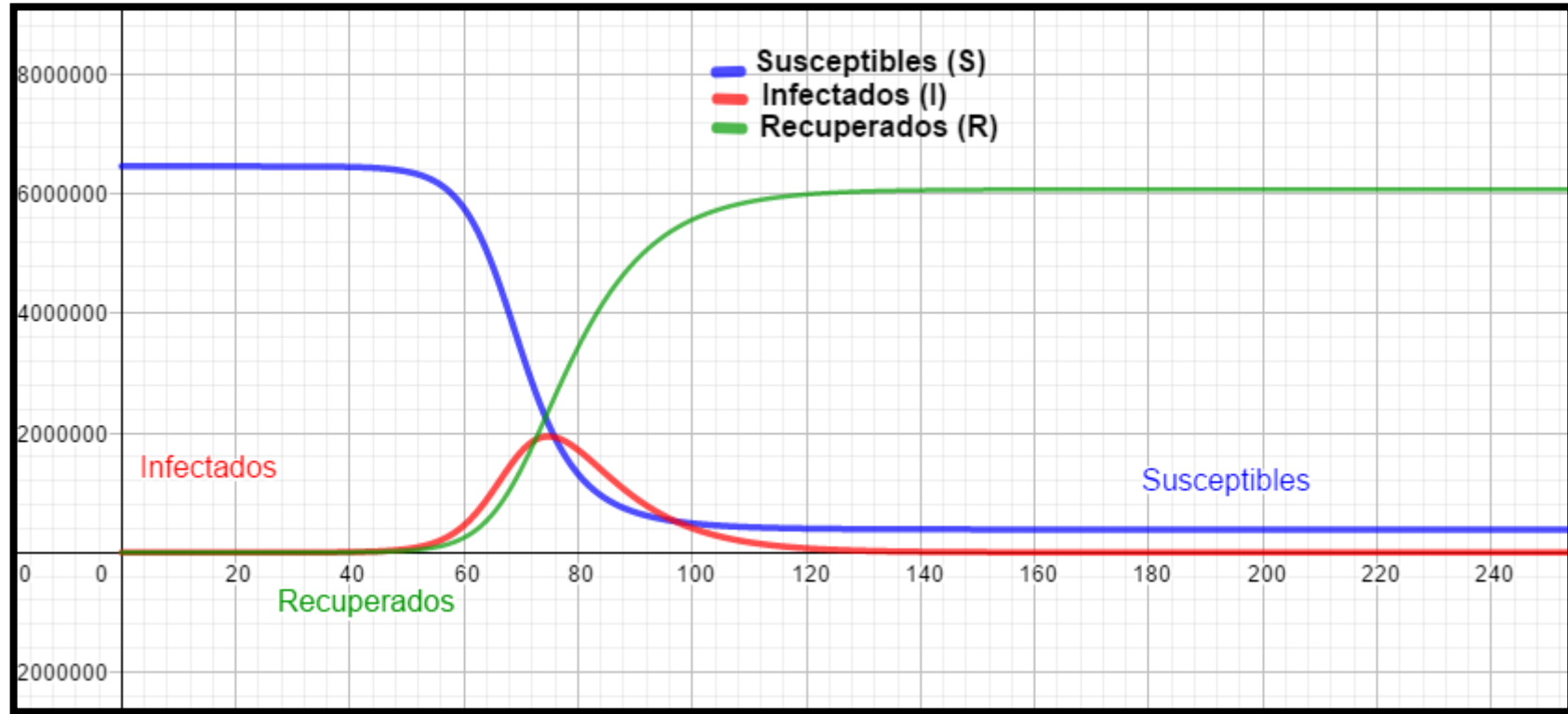
	Según el modelo		Según el MINSA	
Fecha	Infectados	Recuperados	Infectados	Recuperados
18/03/2020	1	0	1	0
21/03/2020	1	0	4	0
28/03/2020	2	1	5	0
04/04/2020	5	3	7	2
11/04/2020	9	6	9	0
18/04/2020	17	12	11	0
25/04/2020	32	23	13	0
02/05/2020	60	44	14	0
09/05/2020	114	85	16	0
16/05/2020	216	161	25	3
23/05/2020	409	305	279	5
30/05/2020	773	578	759	370
02/06/2020	1016	760	1118	691
16/06/2020	3633	2722	1823	973
23/06/2020	6864	5147	2170	1238
30/06/2020	12953	9728	2519	1238

## Máximo de Infeccionados



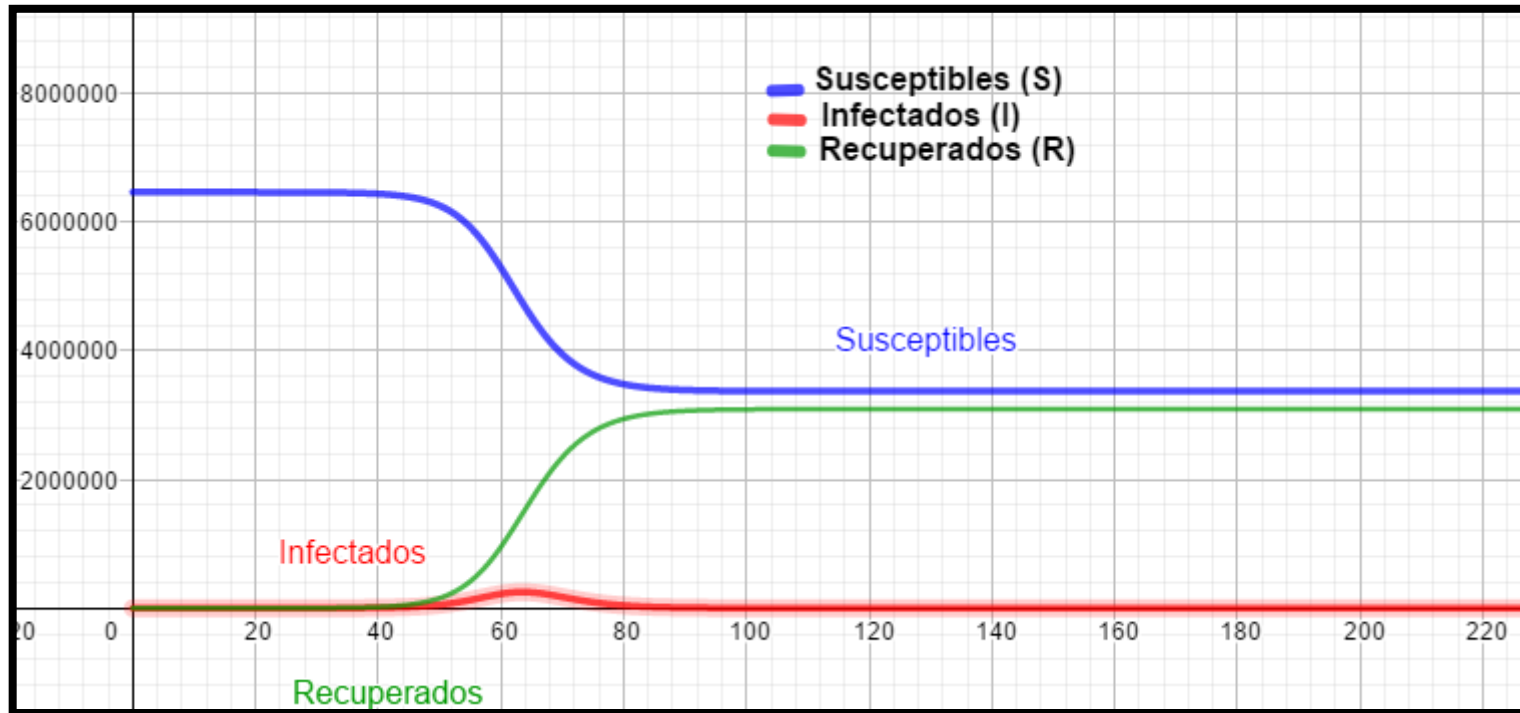
$$\beta = 0.33$$

$$\gamma = 0.11$$



$$\beta = 0.82$$

$$\gamma = 0.61$$



$$\beta = 0.9$$

$$\gamma = 0.45$$

