

DINÁMICA DEL CORONAVIRUS COVID-19. CASO VENEZUELA

DYNAMICS OF THE CORONAVIRUS COVID-19. VENEZUELA CASE

José Contreras*

Escuela de Economía
Universidad Central de Venezuela

Fecha de recepción 16-10-20

Fecha de aceptación: 12-12-20

* PhD en economía. Profesor Titular de la UCV. Email: josecontrerasven@gmail.com

Resumen

El presente trabajo persigue entender las relaciones funcionales de las variables que más influyen en el desarrollo de la pandemia originada por la presencia del COVID-19. Para lograr el objetivo, se procede a modelar las relaciones entre los grupos de poblaciones que intervienen en la evolución de la pandemia para visualizar el patrón dinámico que resulta de la interacción de las distintas poblaciones para así analizar el efecto de distintas políticas públicas. El trabajo propone un modelo dinámico que luego es calibrado con los datos del caso venezolano. Posteriormente, a partir del modelo se diseñan escenarios que nos permite dilucidar algunas visiones del comportamiento de los individuos infectados en el futuro. Por último, se proponen algunas conclusiones.

Palabras claves: Movilidad restringida, contagio, impacto económico, corona virus, personas infectadas, población susceptible, modelos dinámicos, simulaciones.

Clasificación JEL: B21, B23, C02, C13, C61, C63

Abstract

The present work seeks to understand the functional relationships of the variables that most influence the development of the pandemic caused by the presence of COVID-19. To achieve the objective, we proceed to model the relationships between the groups of populations that intervene in the evolution of the pandemic to visualize the dynamic pattern that results from the interaction of the different populations in order to analyze the effect of different public policies. The work proposes a dynamic model that is then calibrated with the data from the Venezuelan case. Subsequently, scenarios are designed based on the model that allow us to elucidate some visions of the behavior of infected individuals in the future. Finally, some conclusions are proposed

Keys words: Restricted mobility, contagion, economic impact, corona virus, infected people, susceptible population, dynamic models, and simulations.

Codes JEL B21, B23, C02, C13, C61, C63

INTRODUCCIÓN

Hablar de modelización matemática se refiere a buscar extraer los elementos más significativos de una situación real y escribirlos en forma de expresiones cuantitativas y ecuaciones. El lenguaje de la razón por naturaleza. El objetivo es lograr poner en marcha los instrumentos matemáticos para intentar explicar la realidad física contribuyendo a crear teorías o predecir eventos futuros. Por lo general, lo que se obtenga nunca va a ser exacto, pues el modelo, no necesariamente, puede captar toda la realidad, ni todas las variables involucradas, ni incorporar todos los datos iniciales de los que se parte. Sin embargo, ayuda a estudiar el proceso y, permite, prever los impactos de la introducción de medidas concretas.

Una pandemia, al estilo COVID-19, da cuenta la formación en el tiempo de tres conjuntos de poblaciones: una población susceptible que son aquellos sanos con posibilidades de ser infectados por el virus, el grupo de infectados que consiste de los individuos que han adquirido el virus a partir del contacto físico con otros que ya están contagiados o el roce con objetos físicos que poseen el virus. Por último, el grupo de inmunes y muertos que no transmiten el virus a otras personas y, en este trabajo, se denominarán los recuperados de la transmisión del virus. En este grupo se agrupan los sanados y muertos, pues de lo contrario, se tendría que hacer un esfuerzo de entender la dinámica o patrón de fallecimiento, el cual es intrínseco a cada pandemia y requiere de tiempo para extrapolar sus hechos estilizados.

Así, el objetivo consiste en modelar los grupos de poblaciones, el patrón dinámico que se observa y los efectos de las políticas. El trabajo propone un modelo dinámico que luego es calibrado con los datos del caso venezolano. Posteriormente, a partir del modelo se diseñan escenarios que nos permite dilucidar algunas visiones del comportamiento de los individuos infectados en el futuro. Por último, se proponen algunas conclusiones.

CONSTRUCCIÓN DEL MODELO

En una población de tamaño fijo N en la que se ha desatado una epidemia que se propaga mediante contagio, en cualquier tiempo t , los individuos pueden estar en tres estados distintos: susceptibles $S(t)$, infectados $I(t)$ y recuperados $R(t)$. Es claro que: $N = S(t) + I(t) + R(t)$.

$S(t)$: Población de susceptibles

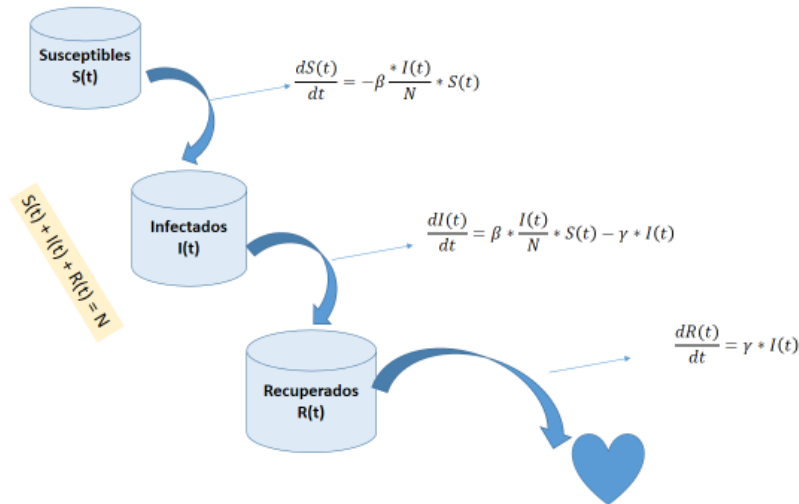
$I(t)$: Grupo de personas infectadas

$R(t)$: Conjunto de Individuos que lograron recuperarse de la enfermedad o murieron.

En este modelo se asume que una persona que sobrevivió a la enfermedad pasa a ser recuperada, o sea, inmune. Es decir, los recuperados son aquellos que no regresan al grupo de susceptibles una vez que libraron la infección o fallecieron.

La ilustración 1 muestra la dinámica que siguen estas poblaciones en su evolución.

Figura 1: Dinámica del COVID-19



Fuente: Elaboración propia.

Los susceptibles se mueven a ser infectados si han tenido contacto con una persona infectada. Después de cierto tiempo, una persona infectada puede morir o pasar a la categoría de inmunes.

EXPLICACIÓN DE LAS ECUACIONES

La forma en que un individuo se convierte de Susceptible a Infectado es a través de las secreciones de personas infectadas, principalmente por contacto directo con gotas respiratorias de más de 5 micras (capaces de transmitirse a distancias de hasta 2 metros) y las manos o los fómites (objetos inertes) contaminados con estas secreciones seguido del contacto con la mucosa de la boca, nariz u ojos.

Entonces, si un infectado entra en contacto con un susceptible es probable que este sea contagiado. Sea β la probabilidad de ser contagiado al estar en contacto con otra persona portadora del virus. La expresión $I(t)/N$ mide la probabilidad que un individuo tenga la infección. Por lo tanto, $\beta * I(t)/N$ mide la proporción de susceptibles que pueden adquirir la enfermedad.

Así, se concluye que el número de nuevos infectados en el instante t viene dado por:

$$\beta * \frac{I(t)}{N} * S(t)$$

Pero una parte de esos infectados se curan, los otros mueren. Si γ denota la tasa de recuperación de la enfermedad, entonces, se tiene que el número de recuperados en el tiempo t viene dado por:

$$\gamma * I(t)$$

Por lo tanto, se concluye que el neto de infectados $\frac{dI(t)}{dt}$ en el periodo t se expresa como los nuevos infectados menos los recuperados, es decir:

$$\frac{dI(t)}{dt} = \beta * \frac{I(t)}{N} * S(t) - \gamma * I(t) \quad (1)$$

Ahora bien, ¿cuál es la cantidad de susceptibles que pasan a estar contagiados?; es decir, ¿en qué cantidad disminuye la población de susceptibles? La respuesta es:

$$\frac{dS(t)}{dt} = -\beta * \frac{I(t)}{N} * S(t) \quad (2)$$

Por último, la porción de personas que se recuperan en el instante t viene dado por:

$$\frac{dR(t)}{dt} = \gamma * I(t) \quad (3)$$

Las ecuaciones (1)-(3) se pueden escribir en términos per cápita de la siguiente manera:

Sea $\frac{I(t)}{N} = i(t)$, $\frac{S(t)}{N} = s(t)$ y $\frac{R(t)}{N} = r(t)$, luego se arriba al siguiente sistema de ecuaciones:

$$\frac{di(t)}{dt} = \beta * i(t) * s(t) - \gamma * i(t) \quad (4)$$

$$\frac{ds(t)}{dt} = -\beta * i(t) * s(t) \quad (5)$$

$$\frac{dr(t)}{dt} = \gamma * i(t) \quad (6)$$

Donde:

$$s(t)+i(t)+r(t) = 1$$

En consecuencia, se puede resumir las hipótesis sobre las cuales se construye el modelo de la siguiente manera:

El número de nuevos infectados aumenta a una tasa β del número de contactos y , por lo tanto, la cantidad de susceptibles disminuye a la misma tasa.

La tasa de recuperación o los que dejan de transmitir el virus (se convierten en inmunes o mueren) se define por γ y, por lo tanto, los recuperados es una proporción de la cantidad de infectados.

Además, la ecuación (6) se puede interpretar que se está sacando aleatoriamente, con probabilidad γdt , personas infectadas a ser no contagiosas porque mueren o se convierten en inmunes.

ANÁLISIS CUALITATIVO DEL SISTEMA DE ECUACIONES

El análisis persigue determinar el patrón que muestra la variable $i(t)$. Por un lado, se sabe que la ecuación de comportamiento es:

$$\frac{di(t)}{dt} = \beta * i(t) * s(t) - \gamma * i(t) \quad \text{y, por lo tanto, se puede escribir como:}$$

$$\frac{di(t)}{dt} = i(t) (\beta * s(t) - \gamma) \quad (7)$$

A partir de la ecuación (7) se desprende los siguientes resultados

1. $\frac{di(t)}{dt} < 0$ si y sólo si $\beta * s(t) < \gamma$, es decir, $s(t) < \frac{\gamma}{\beta}$

En este caso, no hay propagación del virus y la población está bajo control.

Esta es la razón por el cual se busca conseguir la vacuna contra el virus o, en caso contrario, la implementación de una política de cuarentena y distanciamiento social. Pues la idea es conseguir que $s(t)$ disminuya notablemente. Las personas vacunadas dejan el grupo de susceptibles, haciendo que $s(t)$ sea cada vez más pequeño. El problema es que, si la cuarentena es larga, entonces, la economía decrece fuertemente y la gente pasa a morir si no tiene ingresos para alimentarse y la producción de alimentos disminuye. Es decir, no muere a causa del virus sino por la ausencia de alimentos. Por ello es necesario conocer la dinámica que sigue

la variable que denota los niveles de la población de infectados para saber en qué momento se puede liberar algunas regiones y sectores para activar la producción.

Otra variable que puede modificarse es β , la probabilidad o tasa de transmisión de la enfermedad.

Por eso se acude a medidas higiénicas como lavarse las manos o estimular comportamientos sociales como evitar saludarse chocando la palma de las manos o usar la mascarilla, entre otros.

Todas ellas persiguen disminuir β para satisfacer la desigualdad anterior.

$$2. \quad \frac{di(t)}{dt} > 0 \quad \text{si y sólo si } \beta * s(t) > \gamma, \text{ es decir, } s(t) > \frac{\gamma}{\beta}$$

Bajo esta condición, la enfermedad se expande en forma exponencial, fenómeno que se ha manifestado en la mayoría de países, excepto, China. En ausencia de la vacuna, la idea es diseñar políticas que permitan restablecer a la condición 1.

El problema en una situación como la condición 2 es la posibilidad de exceder la capacidad hospitalaria debido a que, aproximadamente, el 5% de los infectados necesitan atención médica especializada con el uso de aparatos respiratorios imprescindibles para disminuir la posibilidad de que el paciente muera.

En cuanto al parámetro γ , este se obtiene a partir del tiempo de duración de recuperación de la enfermedad. En la publicación de los autores: Biao Tang, Nicola Luigi Bragazzi, Qian Li, Sanyi Tang, Yanni Xiao y Jianhong Wu¹ reportan que el tiempo promedio de recuperación, de pacientes infectados oscila entre cinco y 8 días. Como ejemplo, para cinco días, $\gamma = \frac{1}{5} = 0,20$.

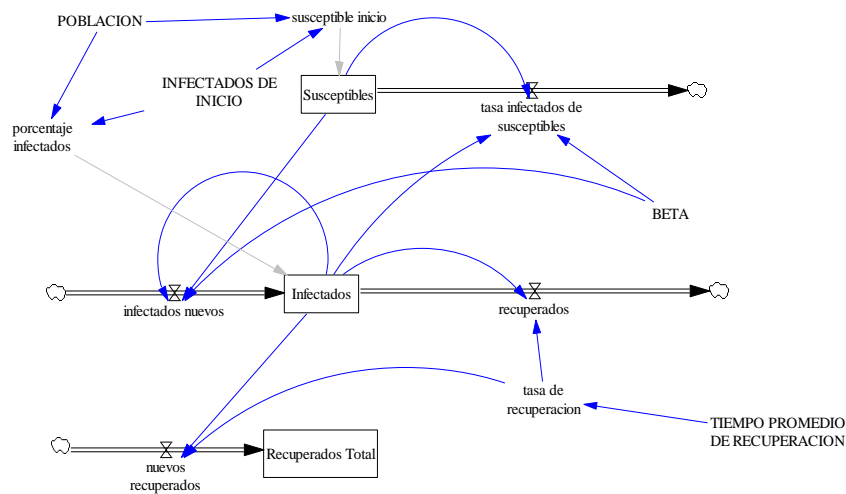
La forma de aumentar γ sería disminuyendo el número de días de recuperación, de allí que es un parámetro propio de la enfermedad. Así las cosas, los parámetros objeto de política pública lo conforman β y $s(0)$. En términos prácticos, constituyen los hábitos higiénicos, las conductas de comportamiento preventivas de contraer el virus, el confinamiento, la aplicación de pruebas y rastreo de contactos, entre otros.

¹ Qianying Lin, Shi Zhao, Daozhou Gao, Yijun Lou, Shu Yang, Salihu S. Musa, Maggie H. Wang, Yongli Cai, Weiming Wang, Lin Yang, Daihai He, A conceptual model for the coronavirus disease 2019 (COVID-19) outbreak in Wuhan, China with individual reaction and governmental action, International Journal of Infectious Diseases 93 (2020), 211–216. Publicado: March 04, 2020. [https://www.ijidonline.com/article/S1201-9712\(20\)30117-X/fulltext](https://www.ijidonline.com/article/S1201-9712(20)30117-X/fulltext)

RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES

A continuación, se procede a resolver el sistema de ecuaciones de manera numérica. Para ello se procedió a construir el modelo de flujos y stocks derivados de las ecuaciones diferenciales. Para la solución se usa el software Vensim², especializado en resolver sistemas dinámicos complejos.

Figura 2: Modelo dinámico



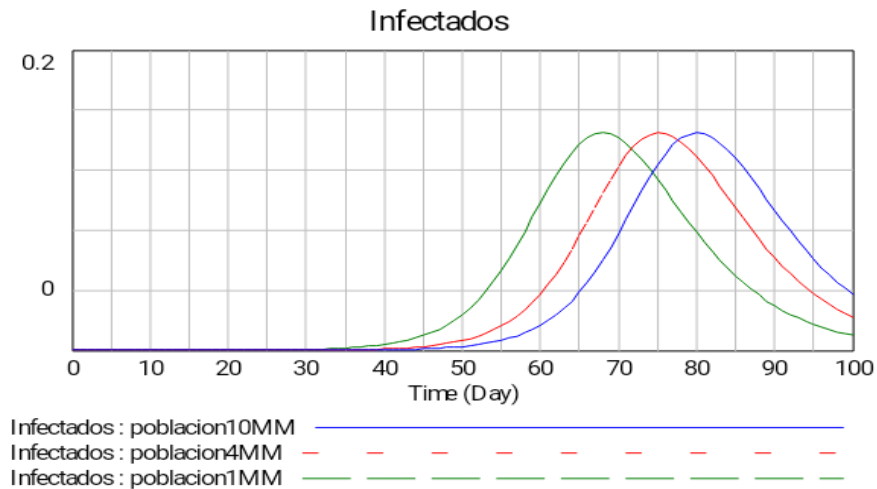
Fuente: Software Vensim.com

A partir del modelo, el comportamiento de la variable infectados $i(t)$ será analizado, en primer lugar, fijando $\beta = 0,39$ y variando la población susceptible inicial y , y en segundo lugar, fijando la población susceptible inicial en 10 millones de personas y variando el parámetro β . El objetivo es encontrar los impactos en la variable infectados producto de cambio en los parámetros. Es decir, se realizan experimentos, primero variando $s(0)$ manteniendo constante β . Luego, manteniendo constante $s(0)$ y variando β . Este experimento persigue analizar los efectos de las políticas en la dinámica del COVID-19, en términos teóricos. Es decir, explora el comportamiento de la pandemia ante cambio de parámetros.

² <https://vensim.com>. Software de simulaciones.

El siguiente gráfico 1 ilustra los impactos sobre la proporción de infectados debido a cambios en la población inicial susceptible, es decir, los impactos que resultan de la aplicación cada vez más estricta de la política de cuarentena.

Gráfico 1: Respuesta de los infectados a cambios en la población susceptible inicial



Fuente: Software vensim.com

Como se puede observar, en primer lugar, la proporción máxima de población afectada no cambia ante cambios de la población susceptible inicial. Pues en los tres casos, la proporción máxima es la misma.

En segundo lugar, cambia el número máximo de infectados. Por ejemplo, para un millón inicial de susceptibles el máximo de infectados es de 140.000 personas, para 4 millones ronda los 560.000, mientras que para 10.000.000 alrededor 1.400.000

En tercer lugar, a medida que disminuye el número inicial de susceptibles el tiempo para alcanzar el máximo de infectados se adelanta.

Una conclusión importante, es que la cuarentena es el instrumento para disminuir el número inicial de personas susceptibles a ser contagiada para así acortar el tiempo de alcanzar el pico de infectados y poder mitigar la parálisis económica. Pues una vez alcanzado el pico vendrá una política de cuarentena selectiva y varios sectores de la economía comienzan a liberarse. Además, se

tiene mayor control de los focos infecciosos lo cual permite aislarlos (cuarentena selectiva).

Por otra parte, es claro que el pico de infectados se alcanza alrededor de los 69 días en el caso de 1 millón, 79 para un nivel de 4 millones y 82 para 10 millones. Es decir, a medida que se agranda la población susceptible a ser contagiada del virus en cuestión, también lo hace el nivel de infectados y el tiempo donde se alcanza el máximo.

Ahora se estudia el efecto en el nivel de infectados al cambiar la probabilidad de contagio por contacto entre personas.

Para la realización del experimento, se consideró que la población susceptible inicial alcanza los 4 millones y se varía $\beta = 0,33$ a $0,39$ y $0,44$. La escogencia de estos valores obedece a estimaciones ya registradas por otros países³. [véase Tang, B., Braguzzi, N., Li, Q y Tang, S., Xiao, Y y Wu, J (2020), Tang, Z., Li, X y Li, H (2020) y Twu, J., Leung, K, y Leung, G (2020)]

El gráfico 2 da cuenta que dos cosas ocurren: primero, la proporción de infectados disminuye a medida que lo hace β .

Segundo, el tiempo para alcanzar el pico de infectados se alarga.

Una conclusión importante es que existe una contradicción entre la política de cuarentena y la de hábitos higiénicos y comportamiento (lavado de manos, uso de mascarilla, cuidado con la ropa, alejamiento 1,5 metros, entre otros).

A medida que se es más estricto con el cumplimiento de la cuarentena se acorta el tiempo donde se alcanza el pico y disminuye el número de infectados. En cambio, en la segunda política se alarga el tiempo donde se alcanza el máximo nivel de contagiados y disminuye el número de infectados. Es decir, en ambas

³ Biao Tang, Nicola Luigi Bragazzi, Qian Li, Satiemponyi Tang, Yanni Xiao, Jianhong Wu, An updated estimation of the risk of transmission of the novel coronavirus (2019-nCoV), *Infectious Disease Modelling* 5 (2020), 248–255. Publicado: February 11, 2020. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S246804272030004X>

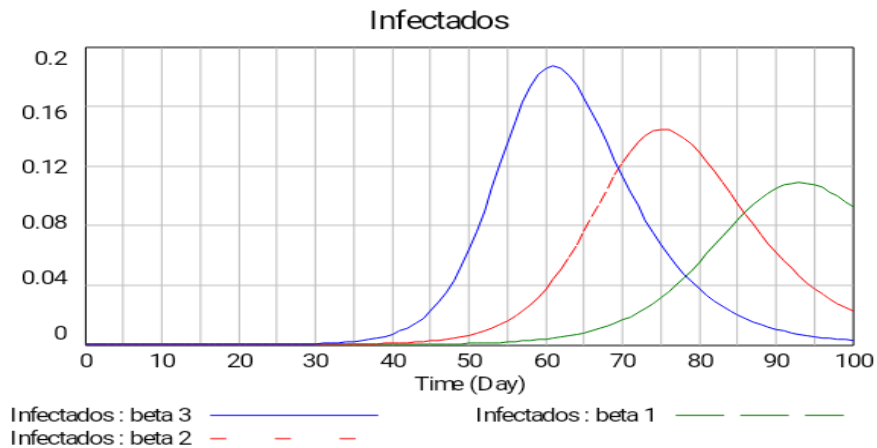
Joseph T. Wu, Kathy Leung, Gabriel M. Leung, Nowcasting and forecasting the potential domestic and international spread of the 2019-nCoV outbreak originating in Wuhan, China: a modelling study, *Lancet* 395 (2020), no. 10225, 689–697. Publicado: Jan 31, 2020. [https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736\(20\)30260-9/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736(20)30260-9/fulltext)

Zhou Tang, Xianbin Li, Houqiang Li, Prediction of New Coronavirus Infection Based on a Modified SEIR Model, *MedRxiv* (The preprint server for health sciences) 2020.03.03.20030858. Publicado: March 06, 2020. <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.03.03.20030858v1>

disminuye el número de infectados, pero, en la primera disminuye el tiempo para alcanzar el pico, en cambio, en la segunda lo aumenta.

El problema es que la economía no espera y un incremento del tiempo puede convertir la solución a la crisis sanitaria en el desencadenamiento de otra crisis de naturaleza económica severa, con la gente muriendo por el hambre y no por el virus.

Gráfico 2: respuesta del número de infectados a cambios en la probabilidad de contagio por contacto



Fuente: Software vensim.com.

¿CUÁL ES LA ELECCIÓN ACEPTABLE QUE ESTÁ TENIENDO ÉXITO?

Hay un gran debate en el mundo, relajar la cuarentena y apoyar la economía o aplicar estrictamente el que la gente se quede en sus casas y disminuir, notablemente, la actividad económica.

El problema está en la duración de la cuarentena, pues, al final o te mata el virus o lo hace el hambre.

En efecto, por un lado, los epidemiólogos instan al distanciamiento físico como la mejor manera de evitar la pérdida catastrófica de vidas. Por el otro, los economistas arguyen que el costo de cerrar la economía es incalculable y puede llevar a un colapso con enormes costos humanos.

Entonces, no se puede permitir que la epidemia se ejecute sin control y que la economía tome el rumbo de una catástrofe. Sin embargo, encauzar la economía dependerá, en gran medida, de controlar la transmisión del COVID-19.

Por otra parte, las medidas adoptadas para contrarrestar a la Covid-19 se traducen en distanciamiento social y interrupción de los procesos de producción debido a las limitaciones para el trabajo físico presencial en muchas unidades de producción, en particular en la producción y transformación de bienes. Con el propósito de mitigar la propagación de una crisis económica, urge a repensar sobre la estrategia de cuarentena; así como de nuevas prácticas de relacionamiento, que pudiesen contribuir a dinamizar, aunque sea de manera parcial, a las actividades productivas.

¿QUÉ NOS RECOMIENDA EL MODELO ANALIZADO?

La cuarentena global permite, de manera muy efectiva, por un lado, disminuir el número de infectados para ser compatible con la capacidad hospitalaria. Por el otro, acortar el tiempo cuando se alcanza el máximo de personas contagiadas y comenzar a disminuir. La desventaja es que tiene un enorme costo económico, tanto por la caída de la producción como por la disminución de la demanda. Los gobiernos pueden aliviar la disminución de la demanda por la vía monetaria/financiera y fiscal. (Créditos a los productores para pagar salarios y consumidores para compras y, transferencias a los hogares, entre otros). Sin embargo, no se puede mantener el PIB en cuarentena por largo tiempo, pues, para erradicar totalmente el virus se necesita la vacuna que está en proceso. Mientras tanto, hay que aprender a manejarse con el virus. Es decir, habrá que buscar estrategias cada vez más sofisticadas para mitigar los riesgos de un brote exponencial explosivo.

Por esto es que muchos países que lograron contener y controlar la transmisión del virus, a partir de ese momento, han comenzado un proceso de cuarentena selectiva o de precisión. Al parecer será la estrategia que seguirán muchos países. También será el motivo de muchas controversias.

¿QUÉ SIGNIFICA ESTO?

La política de cuarentena es exclusiva para los infectados. La razón clave por el cual la enfermedad se expande a una velocidad increíble es porque las personas adquieren el virus entre cinco y diez días antes de enfermarse. Así, que muchas personas contagiadas y que transmiten el virus no parecen enfermas. Este es el meollo de la cuestión. Por eso la cuarentena selectiva o de precisión necesita de un sistema de salud lo suficientemente desarrollado para ser capaz de detectar a dichas personas y someterlas a la cuarentena. La idea es separar las personas que portan el virus de las sanas.

La forma de hacerlo es mediante pruebas exhaustivas y seguimiento de contactos, es decir, investigar con quién ha estado esa persona contagiada y ponerlas en cuarentena, pero no a nadie más.

Entre los países que lo están haciendo con gran éxito, se encuentran: Corea del Sur y Taiwán. Estos países contuvieron la propagación del virus, evitaron la cuarentena global y mantuvieron su economía funcionando.

Una política de esta naturaleza amerita expandir, nacionalmente, la capacidad de aplicación de la prueba, mejorar los mecanismos de seguimiento de las personas contagiadas y su cadena de contactos y, una unión estrecha con los centros de trabajo para que exista chequeo diario de todo su personal, entre otros.

Algo así como si una persona aparece contagiada y diez personas interactuaron con esta persona, se identifican a las diez personas y las once personas pasan al estado de cuarentena. De esta manera, se puede parar la propagación del virus.

La estrategia sería: utilizar la cuarentena global hasta que sea suficientemente manejable el número de contagiados y así poder administrar la pandemia mediante cuarentena selectiva o de precisión hasta que aparezca la cura definitiva, la vacuna.

CÓMO SE VISUALIZA LOS TIEMPOS PARA VENEZUELA

Mientras no se tenga disponible la vacuna contra la enfermedad por el virus en cuestión, del modelo se desprenden algunas ideas para ayudar con las estrategias de la administración del COVID-19. Es decir, se ha analizado la dinámica del COVID-19 para Venezuela.

Con el fin de visualizar el patrón que sigue el grupo de personas que portan el virus, en el caso venezolano, se procede a calibrar el modelo dinámico antes definido. Por lo tanto, el objetivo es buscar los valores de los parámetros que componen la estructura del modelo de manera que se replique la historia mostrada por los datos, de la mejor manera posible. Esto significa que los valores estimados o simulados por el modelo estén lo más cerca posible de los valores reportados por los entes oficiales, o sea, los datos. Para calibrar se considera lo siguiente:

En primer lugar, el parámetro γ :

El parámetro da cuenta de la tasa de recuperación de las personas infectadas. El mismo está definido por el tiempo promedio de recuperación de la persona infectada desde que manifiesta los síntomas hasta que esta clínicamente recuperada. Es decir, ya no porta el virus. El tiempo de recuperación es un coeficiente técnico, en el sentido que dependerá del organismo de cada persona. Las estadísticas reportan un valor que está entre cinco y 8 días. En este trabajo se consideró valor de 6 días puesto que es el más común en los diferentes informes epidemiológicos. También, es el promedio entero entre ambos valores.

Por lo tanto, $\gamma = \frac{1}{6} = 0,167$

En segundo lugar, el parámetro β :

Para calibrar el parámetro β se procedió a utilizar los algoritmos llamados “hill climbing” o ascenso de colina. El mismo es una técnica matemática de optimización que pertenece a la familia de algoritmos de búsqueda de máximos o mínimos local altamente utilizados en inteligencia artificial. Afortunadamente, esta técnica está disponible en el software Vensim 6.0 (Vensim.com), el mismo que se utilizará para la experimentación numérica.

Por último, el parámetro $s(0)$:

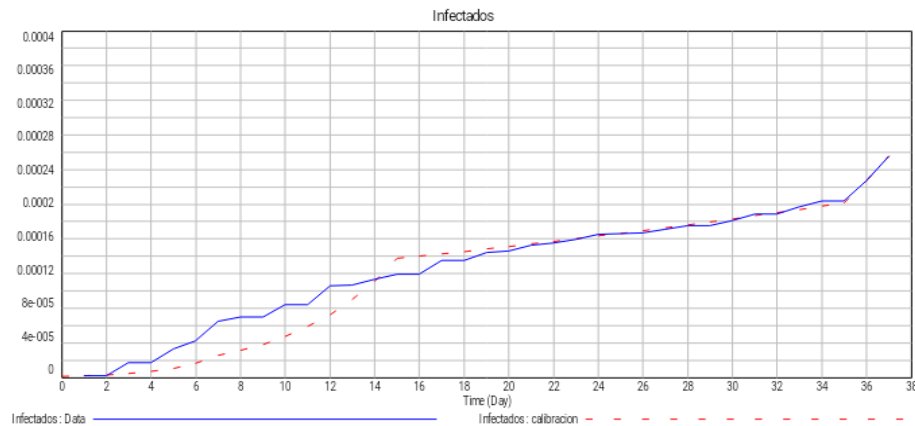
Parámetro que mide la población susceptible inicial. Es de observar que tanto el parámetro β como la población susceptible inicial, $s(0)$, son difíciles de calibrar.

Estimaciones de población de Venezuela dan cuenta de un aproximado de unos 25 millones de personas, al restar la emigración de los últimos tiempos. Por otra parte, se estima que la población rural y urbana participa en el total en 12% y 88%, respectivamente. Esto implica que la población rural ronda los 22 millones de habitantes. Información pública del presidente de la República da cuenta que el 80% de la población urbana está cumpliendo con la cuarentena, el resto representa la población susceptible. Luego, una apreciación del nivel de la población susceptible inicial ronda los 4 millones de personas. Por lo tanto, para la calibración del modelo se partió de una población inicial susceptible de 4 millones de personas con alto riesgo de contraer el virus. Sin embargo, se dejó al modelo que buscara la población inicial susceptible y el valor del parámetro β que mejor simule o replique la data histórica.

El gráfico 3 reporta la comparación entre los valores simulados por el modelo y aquellos reportados por las instituciones oficiales.

La gráfica muestra que el modelo replica bastante bien para el periodo que va del día 18 al 38. Sin embargo, es necesario considerar nuevos elementos para mejorar la calibración. A partir de los parámetros estimados por la calibración se construyen visiones de futuro que se desprenden a partir de la experimentación numérica usando el modelo para un periodo más largo.

Gráfico 3: Calibración del modelo con datos al 20 abril: porcentaje de infectados



Fuente: Software Vensim.com.

SIMULACIÓN DE ESCENARIOS

Una vez calibrado el modelo, es decir, haber hallado la estimación de los parámetros que mejor replica la historia, se explora la dinámica que sigue la trayectoria que mide la porción de infectados de la población susceptible inicial. El resultado de tal experimento le llamamos escenario “**Base**”. El siguiente gráfico 4 da cuenta del patrón seguido por esta variable.

En primer lugar, los resultados son consistentes con los patrones observados en aquellas pandemias de origen viral, cuando las personas contagiadas se recuperan y pasan a ser inmunes o mueren.

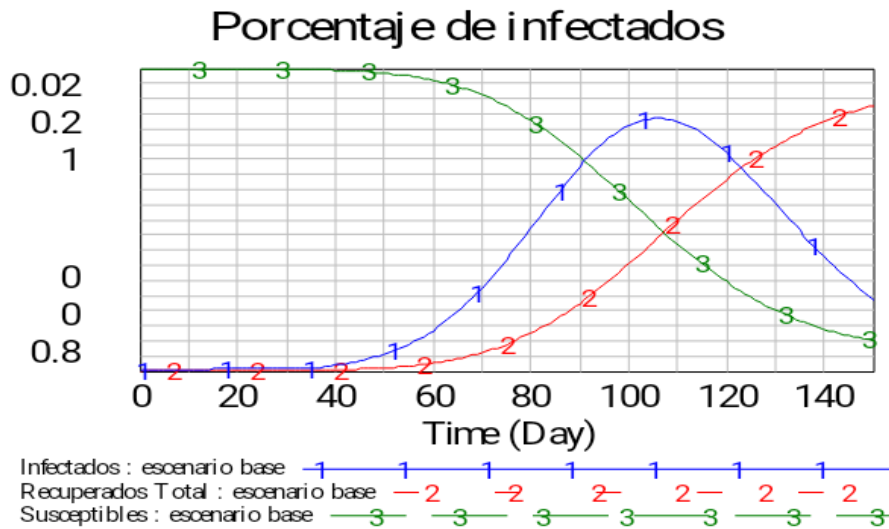
En segundo lugar, si aceptamos que los parámetros del modelo permanecen constantes, entonces, la proporción de infectados alcanza su máximo en, alrededor, de 105 días, con un 1,6% de la población susceptible infectada. Es decir, unas 38.400 personas contagiadas. Si usamos la tendencia que un 5% de los infectados necesitan de cuidado médico especial, se estima una necesidad de unas 1.920 camas de hospitalización para albergar a los pacientes en estado crítico. Estas camas se refieren a estar dotadas de los elementos necesarios para este tipo de infecciones.

En tercer lugar, el modelo sugiere que aún no se ha llegado a la etapa de aceleración de la porción de infectados, dentro de los parámetros históricos. Si los mismos cambian en el futuro, los resultados serán otros, como veremos más adelante.

Por último, se necesitan unos 100 días para ver el comportamiento que tendrá el grupo de la población contagiada con el virus para analizar su dinámica.

Ahora bien, el futuro es una dimensión desconocida en el que la incertidumbre domina cualquier criterio de decisión. Tal como lo afirma la física cuántica, sólo podemos disponer de una función de distribución de probabilidades cuando estamos analizando el fenómeno. Si no lo estamos analizando la incertidumbre es total. Es decir, si observamos una partícula atómica los resultados relativos a su comportamiento difieren cuando no la observamos. Por ejemplo, si observamos la luz de una manera se no revela como una dinámica de partícula, ejemplo un bombillo. Pero si experimentamos desde otro laboratorio, se comporta como una onda, ejemplo, la señal para prender un televisor.

Gráfico 4: Escenario base: porcentaje de infectados, de susceptibles y recuperados



Fuente: Software Vensim.com.

De acuerdo con lo anterior, una pregunta de suma importancia es cuáles instrumentos o tecnologías o teorías están disponibles para analizar el futuro.

El método mayormente usado es el denominado análisis de escenarios. El objetivo es tratar de construir mundos futuros posibles sin que exista una función de probabilidad de que ocurra uno de ellos.

En ese orden de ideas se definen dos escenarios, uno llamado “Control Estricto” y, el otro, “Descontrol”. Además, del escenario “Base” discutido anteriormente y que define el escenario status quo.

DEFINICIÓN DEL ESCENARIO “DESCONTROL”

En la calibración del modelo se usaron los datos oficiales correspondientes a los primeros 38 días desde que apareció el primer infectado. El resultado arrojó una tasa de contagio por contacto que comienza en $\beta_0 = 0,63$, pasa $\beta_1 = 0,40$, a $\beta_2 = 0,19$, a final del periodo a $\beta_3 = 0,36$. Esto nos dice que la tasa de contagio por contacto venía disminuyendo, sin embargo, vuelve a crecer hacia el final del periodo a causa de un foque de infectados detectado en los últimos días. Por lo tanto, es factible un escenario donde se pierda el control del número de contagios por contacto o falta de prevención sanitaria como: lavado de las manos, uso del tapaboca, etc. También, la posibilidad de ingresos de personas, procedentes de otros países, contagiadas por el virus. Así se consideró un crecimiento del parámetro β_3 de un 5%.

DEFINICIÓN DEL ESCENARIO “ESTRICTO”

Por “Estricto” se describe un escenario con mayor control de la situación en el que se acude a diferentes instrumentos para hacer cumplir con las reglas de prevención del contagio, así como, el ingreso de personas desde el exterior dando como resultado un parámetro β inferior al escenario “base” en 5%.

A partir de la definición de los escenarios se procede a estimar las trayectorias seguidas por la variable porcentaje de infectados de acuerdo a los diferentes escenarios. El gráfico 5 da cuenta de los resultados.

- Un pequeño desvío a la falta seguimiento ocasiona un gran efecto de incremento en la variable porcentaje de infectados y, podría sobrepasar, muy rápidamente, la capacidad de atención hospitalaria.

- Mientras no exista la vacuna, existirá la presencia de personas infectadas y disminuirá a medida que el grupo de susceptibles sea cada vez más pequeño. Por lo tanto, habrá que aprender a vivir con el virus por más tiempo.

En este orden de ideas, entonces, ¿cuándo habrá apertura para comenzar a reactivar la producción?

- El paro de la producción no puede aguantar hasta que se disponga de la vacuna. Pues, no se puede mantener el PIB en cuarentena por mucho tiempo.

- Esto implica que desde ya hay que estudiar los mecanismos para hacer más eficiente el rastreo de contactos y la aplicación de pruebas para mitigar los riesgos de infección por el COVID-19 para permitir la incorporación de sectores y regiones a la producción

- Abrir los centros de producción de manera selectiva, a partir de los más esenciales. Esto requiere la aplicación de las pruebas a todos los trabajadores y entrenarlos en el nuevo comportamiento social esperado. Posteriormente, los centros de trabajo del sector público. Teniendo control de la curva de contagios, pasar a la progresiva apertura de los centros de enseñanza.

- Probablemente, haya que orientar las políticas hacia extractos de la población por edad. Por ejemplo, el distanciamiento social y el confinamiento de las personas mayores de 65 años.

BIBLIOGRAFÍA

Bacaer, N. (2020). Un modelo matemático de la epidemia de coronavirus en. *Unidad de modelado matemático e informático de sistemas complejos*.

Díaz-Castrillón,, F., & Toro, A. (2020). SARS-CoV-2/COVID-19: el virus, la enfermedad y la pandemia. *Medicina & Laboratorio. Editora Médica Colombiana S.A.*

Gutiérrez, J., & Varona, J. (2020). Análisis de la posible evolución de la epidemia de coronavirus COVID-19 por medio de un modelo SEIR. *Departamento de Matemáticas y Computación*.

T Wu , J., Leung , K., & Leung, G. (2020). Nowcasting and forecasting the potential domestic and. *Health and Medical Research Fund (Hong Kong, China)*.

Tang , B., Bragazzi , N., & Li , Q. (2020). An updated estimation of the risk of transmission of the novel. *Chinese Roots Global Impact*.

Uribarri , S., Rodríguez, M., & Cervantes Cota, J. (2020). Las matemáticas de las epidemias: caso México 2009 y otros. *Espacio del divulgador*.

- Velasco Hernández, J. (2020). Modelos matemáticos para el CoVID-19:. *Instituto de Matemáticas Unidad Juriquilla*.
- Vera, F. (2020). Modelación de COVID-19 en Ecuador. *Matemática*.
- España, M. d. (2020). Enfermedad por coronavirus, COVID-19. *Centro de Coordinación de Alertas*.
- Ortigoza , G., Lorandi , A., & Neri, I. (2020). Simulación Numérica y Modelación Matemática de la propagación del Covid 19 en el estado de Veracruz. *Revista Mexicana Medicina Forense*.
- Qianying, L., Shi, Z., Gaod, D., Yijun, L., Shu, Y., Salihu S., M., Daihai , H. (2020). A conceptual model for the coronavirus disease 2019 (COVID-19). *International Journal of Infectious Diseases*.
- Tang, B., Braguzzi, N., Li, Q y Tang, S., Xiao, Y y Wu, J (2020) An updated estimation of the risk of transmission of the novel coronavirus (2019-nCov). *Infectious Disease Modelling* 5. pp, 248 - 255
- Tang, Z., Li, X y Li, H (2020) Prediction of New Coronavirus Infection Based on a Modified SEIR Model
- Twu, J., Leung, K, y Leung, G (2020) Nowcasting and forecasting the potential domestic and international spread of the 2019-nCoV outbreak originating in Wuhan, China: a modelling study. *The Lancet*. Vol, 395. Issue, 10225, pp. 689 -697
- Valerie Vandeweerd, R. V., & Martine, D. (2020). Overview of information available to support the development of medical countermeasures and interventions against COVID-19. *Transdisciplinary Insights*.
- Vega-Vargas , J. (2020). Los modelos matemáticos en epidemiología y el Covid-19. *Health medical. science*.