

Pandemia de la COVID-19 y las Políticas de Salud Pública en el Perú: marzo-mayo 2020

COVID-19 pandemic and Public Health Policies in Peru: March-May 2020

Jorge R. Gonzales-Castillo, Luis Varona-Castillo, Moisés G. Domínguez-Morante y Víctor R. Ocaña-Gutierrez

Recibido 18 abril 2020 / Enviado para corrección 26 abril 2020 / Aceptado 30 abril 2020

RESUMEN

Objetivo El trabajo tiene como objetivo analizar la dinámica del comportamiento de la COVID-19 en el Perú, estimar y evaluar el impacto de la política pública de supresión (cuarentena).

Métodos El modelo epidemiológico SIR y la estimación con el método de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO).

Resultados Se encontró que el número básico de propagación (R_0) cayó de 6,0 a 3,2 habiéndose reducido en 54% por efecto de la estrategia de supresión, y dos meses después cayó a 1,7. Sin embargo, sigue siendo alto y evidencia que aún continúa en expansión el nivel de infectados, con los efectos sociales y económicos adversos que esta medida implica.

Conclusión La COVID-19 es una enfermedad que crece exponencialmente, por lo cual, la política de salud basada en la estrategia de supresión ha permitido aplanar la curva de contagio, evitando el colapso del Sistema de Salud.

Palabras Clave: COVID-19; cuarentena; dinámicas no lineales; economía de la salud; pandemia (*fuentes: DeCS, BIREME*).

ABSTRACT

Objective The objective of the study is to analyze the behavior dynamics of COVID-19 in Peru, estimate and evaluate the impact of the suppression public policy (quarantine).

Methods The SIR epidemiological model and the estimation with the ordinary Least Squares (OLS) method.

Results It was found that the basic number of propagation (R_0) fell from 6,0 to 3,2 having been reduced by 54% due to the suppression strategy; and two months later it falls to 1,7. However, it remains high and evidence that the level of those infected continues to expand with its adverse social and economic effects.

Conclusion COVID-19 is a disease that grows exponentially, and that the health policy based on the suppression strategy has allowed to flatten the contagion curve, thus avoiding the collapse of the Health System.

Key Words: COVID-19; quarantine; nonlinear dynamics; health economics; pandemic (*source: MeSH, NLM*).

JR: Economista. Ph. D. Economía. Universidad Nacional Autónoma de México. Lima, Perú. jgonzalesc@unp.edu.pe
LV: Economista. Ph. D. Economía, Universidad Pontificia Comillas de Madrid. España. lvaronac@unp.edu.pe
MD: Economista. M. Sc. Gerencia Gubernamental, Universidad Nacional de Piura. Lima, Perú. mdominguezmc@unp.edu.pe
VR: MD. Ph.D. Ciencias de la Salud. Universidad Nacional de Piura. Lima, Perú. vocanag@unp.edu.pe

La enfermedad del virus COVID-19, causada por el Coronavirus SARS-COV2 beta, empezó oficialmente el 31 de diciembre de 2019 en China. Al propagarse se convirtió en una pandemia que ya afectó a más de tres millones de personas y causó cerca de 300 mil muertes en el mundo. Por lo anterior, surge el interrogante sobre cuáles son las medidas de política en salud pública para controlar o eliminar el

COVID-19, teniendo en cuenta que es un virus nuevo, que no existe inmunidad previa en la población general y que no existen vacunas o tratamientos efectivos y validados.

Ya que uno de los objetivos centrales de la política de salud pública es salvar vidas a través de la contención de la propagación con el fin de reducir el número de individuos infectados, se suele adoptar como estrategia “*Laissez-faire, laissez-passer*” (dejar hacer, dejar pasar), la cual se basa en el control del brote hasta el agotamiento de susceptibles. Esta mitigación busca aplanar la curva para tener tiempo de responder, sin medidas de cuarentena y supresión, que implican la inmovilidad social obligatoria.

La primera estrategia trae consigo no hacer nada ante la epidemia o no interferir con la libertad individual de elección; se opone a la injerencia gubernamental en el control de una epidemia. Presenta la misma lógica de comportamiento de los individuos en cuanto al libre mercado versus la intervención del Estado, mediante la estrategia de supresión con medidas de inmovilidad social obligatoria. Dichas opciones significan un trade-off (disyuntiva) entre infectados y muertos, al priorizar la economía en la estrategia de no hacer nada, frente a minimizar las infecciones y muertes con costos económicos y sociales adversos, al optar por la estrategia de supresión.

El primer caso confirmado de COVID-19 en el Perú fue el 6 de marzo de 2020. Fue un hombre de 25 años que había realizado turismo por Europa: España, Francia y República Checa. El Gobierno peruano adoptó la estrategia de supresión para evitar una creciente infección, el colapso del sistema hospitalario y muertes por COVID-19. Mediante Decreto Supremo N.º 0044-2020-PCM, se declaró el Estado de Emergencia Nacional por las graves circunstancias que afectan la vida de la Nación y se dispuso el aislamiento social obligatorio (cuarentena). Dichas medidas rigieron a partir del 15 de marzo, complementándose con cerrar actividades económicas, excepto aquellas relacionadas con la alimentación; con algunas variantes como salir en días diferentes según el género, medida que fue eliminada después de una semana por ser contraproducente. No obstante, las políticas de salud pública de supresión aún no se eliminan y siguen aumentando los niveles de infección y muertes, produciendo costos catastróficos.

La COVID-19 y la implementación de la estrategia de supresión han generado *shocks* de oferta y demanda agregada, con los consiguientes costos económicos y sociales: insolvencia de empresas, aumento del desempleo, mora bancaria, disminución de ingresos laborales, reducción del consumo y ahorro, además de la postergación de las decisiones de inversión, lo que implicaría una recesión a futuro.

El creciente número de individuos infectados y de muertes, aún con la estrategia de supresión, nos lleva a

intentar dar respuesta a las siguientes preguntas de investigación: ¿Cuál es el nivel del número básico de propagación del número de infectados por COVID-19 antes y después de la estrategia de supresión? ¿Qué impacto han tenido las políticas de salud pública a través de la estrategia de supresión, con medidas de aislamiento social sobre el nivel de infecciones y sobre el nivel del número básico de propagación de infectados? ¿Cuál ha sido el impacto de la reducción selectiva de actividades económicas con el fin de reducir la conectividad?

El objetivo de esta investigación es realizar un análisis de la dinámica de comportamiento de la COVID-19 en el Perú, con el uso del modelo teórico-matemático SIR, además de estimar y evaluar el impacto de la política pública de supresión en el período del 06 de marzo al 15 de mayo del 2020. Se hace uso de modelos econométricos con Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO). El artículo se estructura en cuatro secciones. La segunda sección constituye una breve revisión del método. La tercera muestra los principales resultados; y la cuarta, la discusión y conclusiones.

MÉTODO

Perfil epidemiológico

La COVID-19, causada por el virus SARS-COV-2, se identificó en China a fines de 2019. Es una nueva cepa de Coronavirus que no había sido identificada previamente en humanos (1). Se transmite de persona a persona principalmente por gotas respiratorias, causando síntomas como fiebre, tos y dificultad para respirar después de 2 a 14 días de la infección. Tiene varias características específicas, explicadas por la dinámica del modelo SIR (2), aplicable a la población peruana:

- El número de individuos susceptibles en el inicio es igual a la población total $S_0=N$.
- La vacuna no existe y aún no hay tratamiento efectivo comprobado científicamente.
- La proporción de muertes sobre individuos infectados depende del país (de las regiones al interior del país) y varía de 2% (Alemania), 4% (China), 10% (Italia, Francia y España) y 3% Perú.
- Se espera que la tasa de mortalidad con respecto a las personas infectadas sea baja, ya que muchos sujetos son asintomáticos y no informan a los hospitales. La ratio a , que refleja el porcentaje de individuos con resultados positivos e individuos realmente infecciosos, es incierta, depende de la política de pruebas diagnósticas. En Hubei se estimó $a=5\%$ (3). Además, el proceso también introduce un retraso que suele ser de hasta una semana.

- En Italia, 30% de los casos infecciosos termina con neumonía grave y dificultades respiratorias que requieren hospitalización y respiradores artificiales. Un 4% de los infectados requieren de ventilación mecánica y cuidados intensivos (σ).
- El número de camas, equipos y personal que se necesita para realizar ventilación artificial en un sistema de salud se basa en condiciones normales. El número N_{ic} de pacientes con COVID-19 que pueden ser ingresados en cuidados intensivos y subintensivos es limitado.
- La dinámica inicial del brote es muy rápida, duplicándose el número de individuos infectados cada 4 días, antes de la aplicación de una política de salud pública.
- No está claro cuándo un individuo se vuelve infeccioso. Hay un retraso de varios días (τt) entre el momento en que un individuo se vuelve infeccioso y cuando se hace la prueba. Ello implica, que este individuo siga contagiando. Expertos recomiendan promulgar una política pública que garantice que $a*\sigma*I < N_{ic}$ en todo momento, lo cual implicaría que $N_{ic} < 5\%(N)$.

Modelo matemático

Kermack (4) introduce el modelo SIR, que luego de levantar algunos supuestos se extiende en Hethcote (5). El modelo es un sistema de ecuaciones que ayuda a describir, explicar y sugerir políticas de salud pública. Los supuestos son los siguientes:

1. La población total N es constante y se divide en 3 categorías. i) Los individuos susceptibles (S_t) en el momento inicial son la población sana que puede infectarse. ii) Los individuos infecciosos (I_t), que tienen capacidad de contagiar a los susceptibles. iii) Los individuos recuperados (R_t), que han superado la enfermedad, adquieren la inmunidad y ya no tienen la capacidad de transmisión. La tasa de nacimiento y mortalidad no varía.
2. No se consideran inmigraciones y emigraciones.
3. Al inicio del brote epidémico, solo un pequeño porcentaje de la población está infectada $I_0 = I/N$
4. En el momento inicial el número de susceptibles e infectados es positivo.

5. La Figura 1 presenta las interacciones entre individuos S, I y R . Individuos susceptibles se convierten en infecciosos y estos pasan a ser individuos recuperados o muertos.

El modelo teórico-matemático SIR, en su forma estructural, es un sistema de ecuaciones. La ecuación [1] representa la dinámica de los individuos susceptibles, que tiende a disminuir en una tasa de infección β a medida que aumenta el número de infectados.

$$\begin{aligned} \dot{S} &= -\beta SI & [1] \\ \dot{I} &= \beta SI - \gamma I & [2] \\ \dot{R} &= \gamma I & [3] \\ N &= S + I + R & [4] \end{aligned}$$

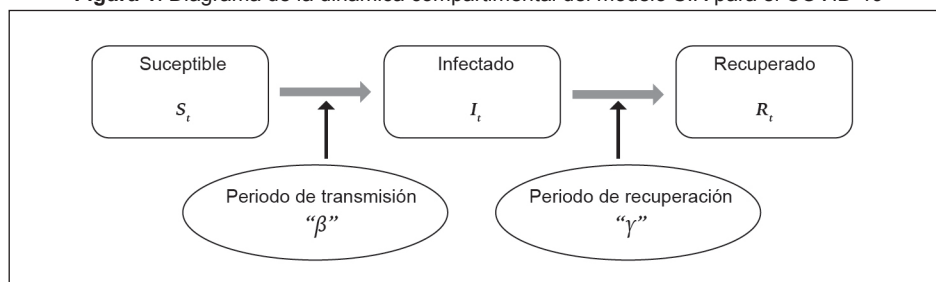
Por su parte, β depende de: i) La tasa de conectividad (κ), que representa el número de contactos de cada individuo por día. Las investigaciones señalan que el parámetro fluctúa entre 1 y 100. ii) La probabilidad de transmisión de la enfermedad infecciosa (τ), la cual muestra qué tan probable es que una persona susceptible se contagie al contactarse con un infectado. Luego, $\beta = \kappa * \tau$.

La ecuación [2] representa la dinámica de los infectados que aumenta a la tasa de infección β , a medida que aumenta el número de individuos susceptibles que han sido infectados y se reduce la tasa de recuperación (γ) en tanto los infectados se recuperan o mueren. A su vez, γ es la rapidez con que un individuo pasa de infectado a recuperado o la tasa a la que los individuos infectados se recuperan o mueren.

La ecuación [2] representa la dinámica de los individuos que se van recuperando, que se realiza a una tasa de recuperación γ de los individuos infectados. La ecuación [4] representa la población total en sus tres categorías. De la ecuación [5] se despeja R_t .

TEOREMA: Si $R_0 \leq 1$, entonces I_t disminuye monótonicamente a cero a medida que $t \rightarrow \infty$. A partir de ello se infiere que si $R_0 > 1$, el nivel de individuos infectados I_t comienza a aumentar, alcanza su máximo y luego disminuye a cero, en tanto que $t \rightarrow \infty$. Se denomina a este escenario de

Figura 1. Diagrama de la dinámica compartimental del modelo SIR para el COVID-19



Fuente: Hethcote (2000)

creciente número de individuos infectados una epidemia. Se deduce que una infección puede causar una epidemia en una población susceptible si $R_e > 1$ o $\beta > \gamma$ o $\beta > \kappa \tau$. Luego, R_e , se define como:

$$R_e = S_0 \beta = \frac{S_0 \kappa \tau}{N \gamma} = \frac{D S_0 \kappa \tau}{N} \quad [5]$$

$D = 1/\gamma =$ número de días promedio de duración de la enfermedad.

R_e es el producto de la duración de la infección D , el número de contactos que un individuo infectado tiene con individuos susceptibles por unidad de tiempo κ , y la tasa de transmisión τ . Por tanto, R_e es el número de nuevas infecciones causadas por cada individuo infectado. Se define el número reproductivo básico R_0 como:

$$R_0 = \frac{\beta}{\gamma} = \frac{\kappa \tau}{\gamma}$$

Por su parte, R_0 se obtiene al inicio de la epidemia cuando aún no se han aplicado políticas de salud pública. Este se ve afectado por factores biológicos, sociales y ambientales. Si toda la población es inicialmente susceptible ($S_0 = N - 1$), entonces el número de infectados será $I_0 = 1$ y el número de individuos recuperados será $R_0 = 0$. Entonces:

$$R_e = \left(\frac{N-1}{N}\right) \left(\frac{\beta}{\gamma}\right) = \left(\frac{N-1}{N}\right) \left(\frac{\kappa \tau}{\gamma}\right)$$

es aproximadamente igual a R_0 . Asumiendo que

$$\left(\frac{N-1}{N}\right) = 1$$

$$R_0 = R_e = \frac{\beta}{\gamma} = \frac{\kappa \tau}{\gamma} \quad [6]$$

R_e determina si la población se infectará rápidamente. Si $i) R_e > 1$, existe propagación y el número de individuos infecciosos se incrementará, produciéndose una epidemia. Si $R_e = 1$, no existe propagación y el número de individuos infecciosos se mantiene constante y no se producirá epidemia. Si $R_e < 1$, no existe propagación y el número de individuos infecciosos decrecerá, por lo tanto, la epidemia desaparece. Así, si $R_e = 3$, existe propagación y, por cada individuo infectado, 3 personas susceptibles terminarán siéndolo, generándose una epidemia de COVID-19.

Dado [4], S es constante y aproximadamente igual a N . Este supuesto desacopla la ecuación [3], de la ecuación [2], que llega a $S = N$ y la ecuación [2] queda:

$$\dot{I} = \frac{\beta IN}{N} - \gamma I \quad [7]$$

Factorizando y asumiendo una solución exponencial queda:

$$I_t = I_0 e^{(\beta-\gamma)t} = I_0 e^{rt} \quad [8]$$

Donde $r = \beta - \gamma$. Asimismo, se demuestra que el tiempo de duplicación de los casos infecciosos T_d está dado por:

$$T_d = \frac{\ln 2}{\beta - \gamma} = \frac{\ln 2}{r} \quad [9]$$

La epidemia termina a medida que S_t cae por debajo de $\rho = \gamma/\beta$, que se deriva del equilibrio epidémico $\dot{I} = 0$ ($\gamma > \beta$). En síntesis, la epidemia termina por la falta de nuevos individuos infectados y no por la falta de individuos susceptibles.

RESULTADOS

El modelo SIR se parametriza utilizando datos diarios de individuos infectados en el Perú, para el periodo del 06 de marzo al 15 de mayo del 2020. Se estiman cuatro modelos con el método de MCO que se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Estimación de parámetros con MCO, según periodo

| Modelo Detalle | I | II | III | IV |
|-------------------|---------------|----------------|------------------|-------------------|
| C | 0,5 (1,6) | 2,9 (11,2) | 0,6 (0,8) | 2,7 (13,4) |
| T | 0,39 (6,8) | 0,16 (11,9) | 0,24*** (2,8) | 0,09*** (19,5) |
| R ² | 0,7 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| F | 45,9 | 739,2 | 401,6*** | 381,3*** |
| D-W | 1,6 | 1,8 | 2,1 | 1,2 |
| Periodo | 06/03-14/04 | 15/03-06/04 | 06/03-06/04 | 15/03-15/05 |
| n | 09 | 22 | 31 | 60 |

MINSAs. () Indica estadístico-t; C constante y T tiempo

En la Tabla 2, observamos los parámetros que se han obtenido con los datos de la regresión a partir de la ecuación [8]. Se obtiene en un periodo inicial del 06 al 14 de marzo, antes que rija el DS/N°0044-2020-PCM, con una tasa de crecimiento promedio día de infectados de 38,6% que implica un número básico de propagación de $R_0 = 6,0 > 1$ y un brote epidémico de la COVID-19 de dimensiones exponenciales, cuyo número de infectados se duplicaba cada 1,8 días.

El 15 de marzo empezó la política de salud pública, basada en una estrategia de supresión con aislamiento social obligatorio. Ello implicó que la tasa de crecimiento promedio diaria de infectados disminuyera al 16% por día y se redujera el número reproductivo efectivo $R_e = 3,2 > 1$, que se evidencia en el aumento de individuos infectados al duplicarse cada 4,4 días.

Evidentemente, la estrategia de supresión ha sido relativamente exitosa en reducir los niveles y las tasas de crecimiento de los individuos infectados en comparación con los niveles y tasas de crecimiento (como se observa en la Tabla 1, para el coeficiente que acompaña la variable 'tiempo' del modelo I con 39% en comparación al modelo II y IV con 16% y 9% respectivamente). Estas

Tabla 2. Parámetros estimados del modelo SIR

| Parámetros | Fórmula | Laissez-faire | Supresión | 1-mes | 2-meses |
|--|--|---------------|-------------|-------------|-------------|
| Periodo de análisis | | 06/03-14/04 | 15/03-06/04 | 06/03-06/04 | 15/03-15/05 |
| Tasa crecimiento de infecciones (lt) | $r = (\beta - \gamma)$ | 0,39 | 0,16 | 0,24 | 0,09 |
| Tasa de infección (transmisión) | $\beta = (r + \gamma)$ | 0,46 | 0,23 | 0,31 | 0,16 |
| Número básico de propagación | $R_0 = (\beta/\gamma)$ | 6,0 | --- | --- | --- |
| Número reproductivo efectivo | $R_e = (S_0/N)(\beta/\gamma)$ | --- | 3,2 | 4,4 | 2,3 |
| Tiempo duplicación infectados (día) | $T_d = \ln 2/r = \ln 2/(\beta - \gamma)$ | 1,8 | 4,4 | 2,9 | 7,6 |

$N=32\ 625\ 948$; $l_0 = (1/N)=0,00000003$. $D=14$; $\gamma=0,07$

medidas han permitido postergar la fecha del colapso del Sistema Hospitalario y de Salud, al aplanar la curva. Sin embargo, dichas tasas de crecimiento siguen aumentando el número de individuos infectados. No obstante, que se haya reducido R_e en 54% supone que existe una gran probabilidad de afectar a toda la población susceptible si no se toman medidas oportunas.

En la Tabla 2, se presentan los resultados del modelo SIR para dos meses de pandemia. Estos muestran que la tasa de crecimiento promedio de infecciones por día es del 24% y 9%, lo que implica un número básico reproductivo relativamente alto (4,4 y 2,3) y la duplicación de casos cada 2,9 y 7,6 días respectivamente. Los dos puntos de evaluación de R_e evidentemente nos sugieren que la pandemia está aún en expansión.

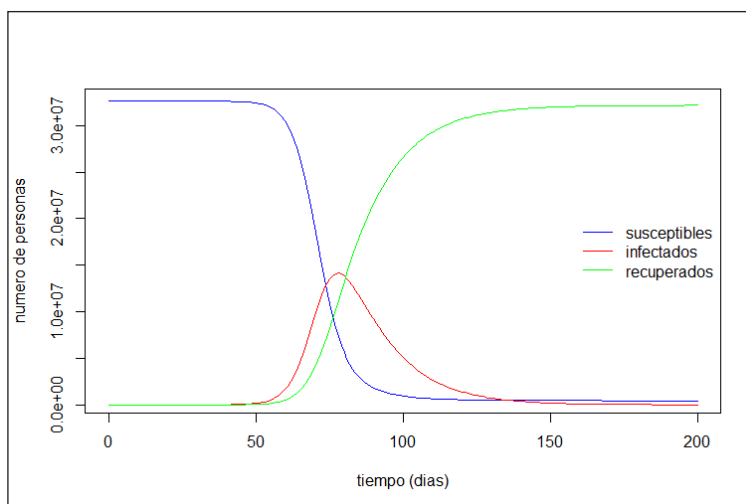
En la Figura 2A, la población susceptible empieza a disminuir porque, por un lado, cada vez aumenta el nivel de individuos infectados, cuyo máximo nivel se espera el día 85 (30 de mayo de 2020) de empezada la pandemia, y, por el otro, un 45% de la población está infectada ($1,5e+07$), con una tasa de crecimiento de infectados en cero. Lo anterior significa que la COVID-19 se encuentra en equilibrio epidémico, no se propaga, pero tampoco

desaparece. A partir de esta fecha empezará una tendencia a la baja en el número de infectados, que tenderá a estabilizarse después de 120 días de iniciada, considerando que el escenario continúa.

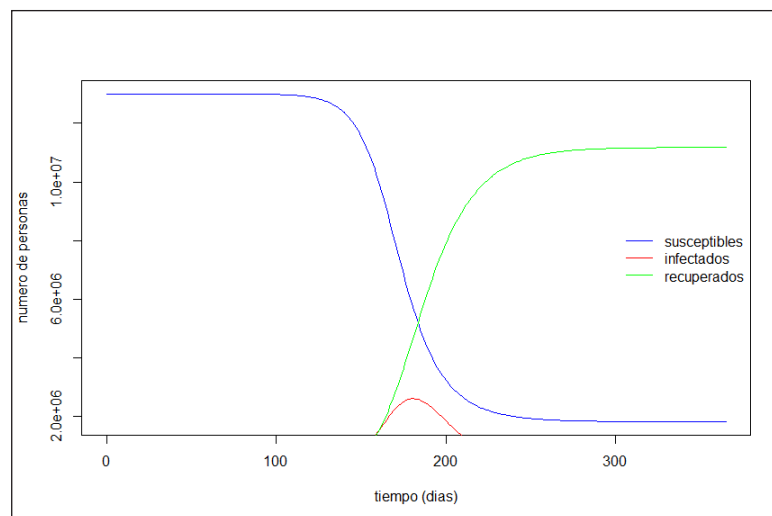
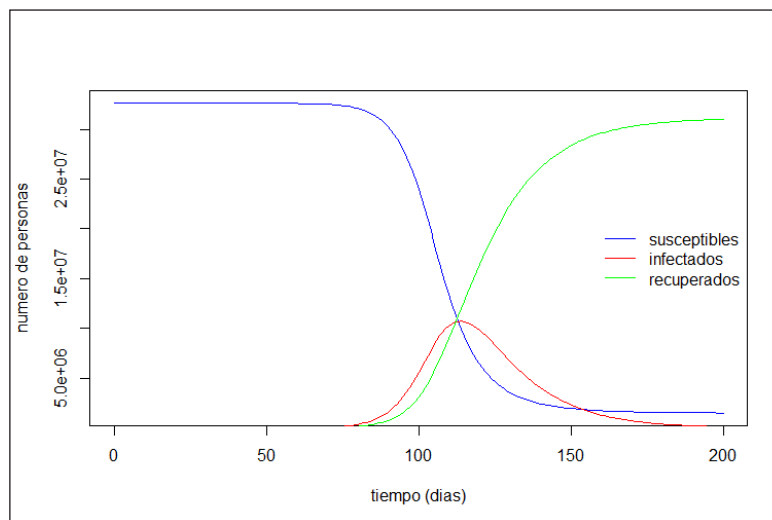
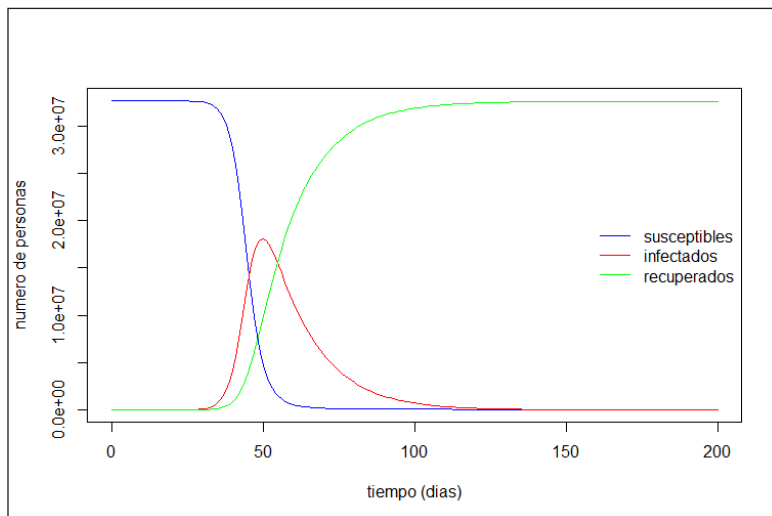
En la Figura 2B (estrategia de no hacer nada), la reducción es en más del 50% de la población infectada. Se observa que, sin las medidas de supresión, el día 57 de inicio de la pandemia (02 de mayo) el nivel de infectados ($1,9e+07$) hubiera llegado al equilibrio epidemiológico a partir del cual empezaría la tendencia descendente.

En la Figura 2C, se muestra la estrategia de supresión con el aplanamiento de la curva de individuos infectados ($1,1e+07$) y cómo alcanza su equilibrio el día 121 (5 de junio) de empezada la pandemia, lo que implica que las medidas de supresión habrían permitido ganar tiempo para evitar un gran número de muertes y el colapso del Sistema Sanitario y Hospitalario. Sin embargo, fallas del Estado y de la sociedad civil no han permitido que se logre un valor más cercano a la unidad de R_e , tal como se aprecia en el mes de mayo, continúa aumentando el nivel de infectados.

En la Figura 2D, se observa un escenario hipotético del riesgo con $N=13$ millones (40% de la población), lo cual implicaría una política de salud pública que considere

Figuras 2. A. Dinámica de población susceptible, infectada y recuperada con el COVID-19

Figuras 2. B-D. Dinámica de población susceptible, infectada y recuperada con el COVID-19



MINSA. **Escenario-A:** 06/03-06/04/2020. $N=3,3e+07$; $l_0=1$; $\beta=0,3114$; $\gamma=0,07143$; $t=200$ días. **Escenario-B:** 06/03-14/03/2020. $N=3,3e+07$; $l_0=1$; $\beta=0,4574$; $\gamma=0,07143$; $t=200$ días. **Escenario-C:** 15/03-06/04/2020. $N=3,3e+07$; $l_0=1$; $\beta=0,2314$; $\gamma=0,07143$; $t=200$ días. **Escenario-D:** 15/03-15/05/2020. $N=1,3e+07$; $l_0=1$; $\beta=0,1632$; $\gamma=0,07143$; $t=300$ días. Software R y R-Studio

solo el capital humano necesario que realice actividades económicas, evitando mayores costos, siendo el rebaño menos vulnerable y el más apto inmunológicamente para enfrentar la pandemia. El aplanamiento de la curva de individuos infectados ($0,3e+07$) alcanza su equilibrio epidémico el día 188 (11 de agosto) de empezada la pandemia, lo cual significa que las medidas de supresión habrían permitido ganar tiempo para evitar el colapso del Sistema Sanitario y reducir el número de muertes, a menor costo económico y social.

La Figura 3 muestra la evolución del número básico de propagación (R_e), a partir del día 7 de abril, como una estrategia adicional en esta investigación para realizar vigilancia centinela diaria de la epidemia. Se confirma la reducción de R_e a pesar de los esfuerzos (estimaciones de 30 y 21 días), siendo $R_{30}=1,7$ y $R_{21}=1,5$ para el 15 de mayo, ambas se mantienen sobre 1. Esto muestra claramente que seguimos en etapa de epidemia y que el costo económico y social se agrava.

DISCUSIÓN

Giordano (6) estudia la dinámica de la COVID-19 en Wuhan-China, con los siguientes resultados: $\beta=0,2$; $\gamma=0,1$ y $R_0=2,4$. Por cada infectado se contagian 2,4 individuos susceptibles. Concluye que la COVID-19 está en plena etapa de expansión y finalizaría en Wuhan en 150 días con un pico de infectados el día 75. Sostiene que el aislamiento social, la cuarentena, la higiene sanitaria, contribuyen a aplanar la curva de infectados, debido a que la tasa de transmisión disminuiría al caer la tasa de conectividad. Por otro lado, sostiene que la reducción de R_e obedece al aumento en la tasa de recuperación (γ).

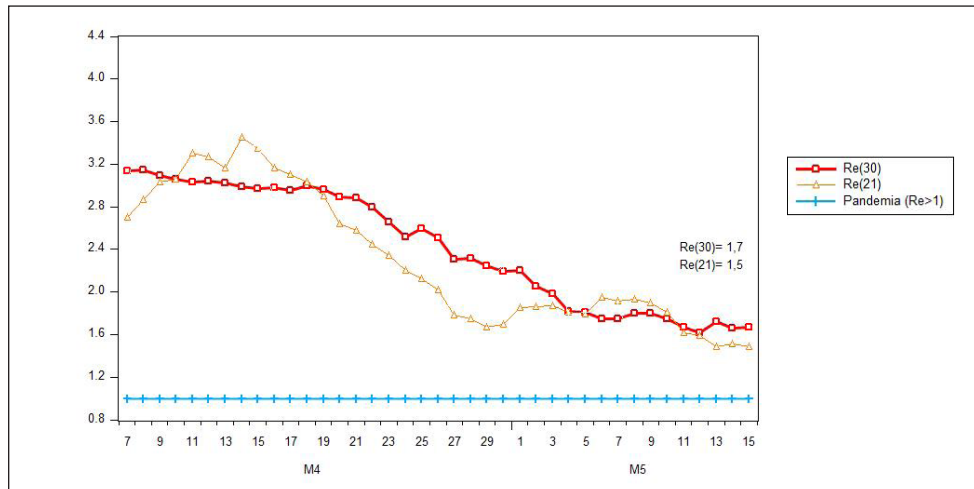
Un equipo global de científicos del Imperial College London (7) estiman el efecto de medidas gubernamentales en la reducción relativa del número de reproducción R_t , aplicando métodos bayesianos a 11 países europeos, con lo cual estiman un número de reproducción inicial $R_0>2$ (incluso $R_0>4$ en algún país). Concluyen que la política de supresión conduce a una reducción de R_t en un 50%.

Casella (2) reporta con datos de Hubei que el brote no se controló inicialmente, hasta que se aplicaron políticas públicas de supresión con un bloqueo estricto en Wuhan. Encuentra parámetros como: $R_0=4$, $\beta_0=0,2 \text{ días}^{-1}$, $\gamma=0,1 \text{ días}^{-1}$, $T_d=4$ días. Concluye que la política pública de supresión causó un efecto retardado.

Birbuet (8) emplea el modelo SEIR (agrega al modelo individuos expuestos). Encuentra que la velocidad de contagio disminuyó ($R_0=6,0$ a $R_0=2,4$) con la política de salud pública basada en la estrategia de supresión y ha implicado medidas como el cierre de fronteras, bloqueo de actividades económicas y aplicación de medidas de aislamiento social. Calcula R_0 utilizando parámetros como: periodo de infección= $7,5 \text{ días}$, periodo de incubación= 6 días y probabilidad de transmisión= 4% .

La estrategia de *laissez-faire, laissez-passer*, que agota la epidemia al reducirse los susceptibles, demostró en varias partes no ser sostenible por la gran mortalidad generada por el colapso sanitario, por lo cual se ha optado por la supresión, medida que se viene implementando en Suecia y en menor medida en USA, México y Brasil. En Suecia, ha implicado dejar que la COVID-19 se propague libremente y el Gobierno sugirió a la población que asuma su responsabilidad para evitar la propagación para alcanzar la inmunidad colectiva. No obstante, presentaba al 1 de mayo 26 623 infectados y 3 041 muertes. Se esperaba que a fin del mes se

Figura 3. Evolución del número básico de propagación (R_e)



Periodo de estimación 07/04-15/05/2020; las estimaciones para β y γ se hacen con MCO; el primero con 30 datos y el segundo, con 21 datos de forma secuencial. NOTA: Re difiere según los datos utilizados en estimación

lograra la inmunidad colectiva. Estados Unidos es el nuevo epicentro de la COVID-19, con más de 1 417 800 infectados y 85 600 muertos. Expertos afirman que los individuos producen anticuerpos creando sus propias defensas y sostienen que la epidemia se detendría cuando alcance entre el 60-90% de la población.

La mitigación consiste en medidas para desacelerar el número de individuos infectados y de muertes, sin recurrir al aislamiento total obligatorio u otras disposiciones adoptadas por el Estado. Entre las medidas adoptadas destacan: aislamiento domiciliario y cuarentena de casos sospechosos, distanciamiento social de pacientes de riesgo de enfermedad grave, higiene sanitaria y dejar a la población actuar libremente. Reino Unido ha optado por la estrategia de la mitigación. Sin embargo, al aumentar sostenidamente el nivel de contagiados, ha cambiado su política de salud pública. Taiwán parece ser el país que aplicó exitosamente dicha estrategia, que ha dado como resultado cero infectados después de haber tenido 322 infectados y 5 muertos. Consideramos que la estrategia de mitigación es exitosa en economías en desarrollo con una población mayormente joven, bien alimentada y con defensas en el sistema inmunológico.

La supresión es un mecanismo adaptativo que consiste en revertir el crecimiento del número de infectados reduciendo el número de casos a niveles bajos. Esta situación se logra mediante medidas de inmovilidad social obligatoria, con aislamiento total y pruebas aplicadas de forma masiva a fin de detectar los posibles casos asintomáticos para poder aislarlos. Esta estrategia es de relativo éxito en China y Corea del Sur. China dispuso la inmovilidad social obligatoria que se fue levantando lentamente, con la disminución del número de contagiados y muertos.

Corea del Sur hizo seguimiento exhaustivo y aisló tempranamente a las personas infectadas, con el fin de lograr los mismos efectos del bloqueo general de una manera menos disruptiva socialmente, junto con la aplicación de pruebas masivas. El Gobierno actuó en la detección y el aislamiento de nuevos casos, lo cual resultó ser un factor decisivo para contener la COVID-19. También se señala que la sociedad civil jugó un rol central al fiscalizar y hacer cumplir las funciones de las autoridades y llegar a grupos vulnerables de la sociedad. Sin embargo, con la supresión el costo puede ser elevado. Asimismo, esta estrategia, deberá mantenerse en el corto y mediano plazo hasta que esté disponible una vacuna, medicamento validado o que la población haya sido inmunizada. En el caso de Italia y España, los gobiernos siguieron con la estrategia de supresión, imitando las políticas de China. Sin embargo, dichas medidas han logrado un relativo éxito, ya que colapsaron los sistemas de salud.

En Perú, la aplicación de estrategia de supresión como política pública ha permitido reducir la curva de infectados en más del 50%, pero no ha sido suficiente para mitigar el colapso de Sistema Sanitario. Dicha medida genera altos costos sociales (enfermedades mentales, violencia familiar, abuso infantil, feminicidio) y económicos (desempleo, pobreza, pérdida de ingresos, insolvencia empresarial) por la existencia previa de características estructurales, fallas del Estado y una sociedad civil débil. Además, ha puesto al Estado en una disyuntiva entre salvar vidas y deprimir la actividad económica.

La economía peruana es dual, porque coexiste un sector moderno y un sector informal, con una estructura productiva que representa más del 50% del PBI, cuya estructura del empleo se caracteriza por una elevada proporción de trabajadores informales (70% PEA), con bajo nivel de capital humano en educación y salud, lo cuales viven con ingresos generados en el día y no cuentan con beneficios sociales. Esta característica estructural explica que no hayan modificado su comportamiento y trabajen diariamente, por lo que se genera un aumento de la tasa de conectividad.

Por lo tanto, la política de transferencia directa de ingresos no fue suficiente para evitar que la población se quedara en casa. Se buscó ayudar a 6,8 millones de familias en condición vulnerable con el bono familiar (760 soles), el bono 'Yo me quedo en casa' (360 soles mensual) y el bono independiente (360 soles), lo cual causó aglomeración en mercados, bancos y transporte público, situación que generó una mayor tasa de conectividad.

Históricamente, el Estado no ha cumplido con la función de ofrecer un servicio público de calidad en salud y educación. Expresado en el bajo stock de capital humano (médicos, enfermeras y técnicos) y stock de capital físico (infraestructura). La escasez de ambos explica que no haya disminuido la tasa de recuperación de infectados. Se suma 20% de la población en situación de pobreza, 20% sin acceso a agua potable de red pública, 35% sin servicios higiénicos y 12% en hacinamiento, condiciones que explican la elevada tasa de conectividad.

La población reaccionó con gran incertidumbre y no ha adoptado un comportamiento de minimización de riesgos. Parecen ser "amantes del riesgo". Sin embargo, las características estructurales permiten comprender el comportamiento de una gran masa de la población que pone en riesgo su vida por la sobrevivencia familiar. Además, la transgresión de normas se podría explicar por la diversidad de grupos étnicos con bajos niveles de educación y comportamientos sociales diferentes en comparación con países desarrollados.

Por otro lado, no hubo una reacción rápida del Gobierno para identificar a individuos portadores asintomáticos,

con los falsos negativos. Este autorizó a los Gobiernos Regionales para que trasladaran a cerca de 150 000 peruanos hacia su lugar de origen. No se centralizó la toma de decisiones en un Comando Central para controlar la COVID-19, integrado por profesionales de diversas especialidades y liderado por la Fuerzas Armadas. Se optó por una descentralización en Gobiernos Regionales y Locales, los cuales son ineficaces para enfrentar una pandemia por el escaso capital humano y físico. Se suma la corrupción institucional, que cataliza mayores costos.

Con un PBI per cápita anual a precios del 2010 de US\$ 6 240, el costo económico y social es alto. Con una tasa de interés del 5% anual se determina el costo de oportunidad con un valor actual neto perpetuo de US\$ 124 800, que mensualmente serían US\$10 400 que dejaría percibir un peruano promedio por la supresión. El 60% de la población ($1,9e+7$) tiene un costo de oportunidad total mensual de US\$ $2,0e+11$. Si sumamos el gasto incurrido por el Gobierno para enfrentar la pandemia, US\$34 000 millones (18% PBI), el costo económico incurrido es catastrófico.

En el Perú es limitado el acceso a datos abiertos (open data). La información está exclusivamente en servidores gubernamentales. Los datos recopilados, siendo oficiales, pueden no ser correctos y la realidad ser más abrumadora. Existen indicios de “exceso de mortalidad” del 81% en el Perú sobre los niveles normales. Además, la dinámica de la epidemia hace erráticas las tasas de contagio para determinar R_e , hasta que alcanza una madurez y podamos hablar de algún tipo de significancia estadística robusta.

Se concluye que la estrategia de supresión puede ser efectiva si se implementa temprano y considera características estructurales de la economía, como fallas del Estado y la participación organizada de la sociedad civil. Ello explica la limitación de una estrategia de supresión que logró una tendencia decreciente del número básico de reproducción, pero aún es relativamente alto después de dos meses de inmovilidad social obligatoria que refleja un explosivo nivel de infectados y muertos con un elevado costo económico y social. La disyuntiva en términos de costo-beneficio nos lleva a inferir que son más los costos económicos y sociales, en términos de infectados y muertes, que los beneficios pecuniarios y no pecuniarios, alargando el tiempo de sufrimiento humano, teniendo en cuenta que no se percibe un fin de la pandemia.

Por lo tanto, se recomienda cambiar la estrategia de supresión: i) Reducir la transmisibilidad con la aplicación de medidas de higiene sanitaria focalizadas en lugares de concurrencia masiva de población y con pruebas diagnósticas necesarias para aislar a los infectados, con el propósito de reducir la población susceptible y el costo económico y social. ii) Financiar programas de investigación,

innovación y emprendimiento relacionados con la salud y aprovechar la abundancia de biodiversidad en flora y fauna, con una visión de largo plazo. iii) Adoptar recomendaciones de la economía experimental de forma tal que las personas modifiquen su comportamiento en relación con las políticas de salud pública en el tratamiento de una pandemia. iv) Un Gobierno estadista que reinvente el Sistema de Sanitario y atienda sectores informales de la economía y población adulta vulnerable; mejore el sistema de distribución e impuestos, no dejando el modelo de mercado neo-mercantilista en la agenda del desarrollo humano. v) Promover un observatorio centinela multidisciplinario regional para dar seguimiento y actuar oportunamente ante futuras epidemias en nuestra geografía tan diversa ❖

Conflictos de intereses: Ninguno.

REFERENCIAS

1. Lu R, Zhao X, Li J, Niu P, Yang B, Wu H, et al. Genomic characterization and epidemiology of 2019 novel coronavirus: implications for virus origins and receptor binding. *The Lancet*. 2020; 395(10224):565-74. DOI:10.1016/S0140-6736(20)30251-8.
2. Casella F. Can the COVID-19 epidemic be controlled on the basis of daily test reports? *Physics and Society*. 2020 [cited 2020 Apr 30]. Available from: <https://bit.ly/2MAy8Bi>.
3. Read JM, Bridgen JR, Cummings DA, Ho A, Jewell CP. Novel coronavirus 2019-nCoV: early estimation of epidemiological parameters and epidemic predictions. *medRxiv*. 2020: 1-11. DOI:10.1101/2020.01.23.20018549.
4. Kermack WO, McKendrick AG, Walker GT. A contribution to the mathematical theory of epidemics. *Proceedings of the Royal Society of London*. 1927; 115(772):700-21. DOI:10.1098/rspa.1927.0118.
5. Hethcote HW. *The Mathematics of Infectious Diseases*. *SIAM Review*. 2000 [cited 2020 Apr 30]; 42(4):599-653. Available from: <https://bit.ly/3cBqqL2>.
6. Giordano G, Blanchini F, Bruno R, Colaneri P, Di Filippo A, Di Matteo A, et al. A SIDARTHE Model of COVID-19 Epidemic in Italy. 2020 [cited 2020 Apr 30]. DOI:10.1038/s41591-020-0883-7.
7. Flaxman S, Mishra S, Gandy A, Unwin H, Coupland H, Mellan T, et al. Report 13: Estimating the number of infections and the impact of non-pharmaceutical interventions on COVID-19 in 11 European countries 2020 [cited 2020 Apr 30]. Available from: <https://bit.ly/2MAHTzx>.
8. Birbuet JC, Lopez R. Dinámica de expansión del COVID-19 en Bolivia durante las primeras 6 semanas. Documento de trabajo. 2020 [cited 2020 Apr 30]. Available from: http://bit.ly/pdf_covid_bol.