

## Un modelo teórico sobre el dilema entre crecimiento y mortalidad del COVID-19\*

**Sergio Marcelo Cerezo Aguirre**

*Master en Economía - ILADES y Georgetown University*

*scerezoa@gmail.com*

### Resumen

La pandemia ocasionada por el COVID-19 ha inducido a muchas autoridades a implementar políticas de contención como las cuarentenas para evitar un rápido aumento en el número de casos y muertes, pero asumiendo que esta decisión tiene costos en términos de actividad económica. Ante el problema que enfrenta el *policy maker* o planificador económico entre reducir la tasa de contagios y mortalidad o mitigar los efectos recesivos de la pandemia, el presente documento plantea un modelo teórico de optimización que minimiza una función de pérdida social para encontrar la solución matemática y gráfica para la tasa de mortalidad, producto efectivo y pérdida social resultante. Finalmente, se realiza un análisis de sensibilidad de los parámetros fundamentales como la decisión de aplicar una cuarentena, el efecto adverso de la pandemia en el producto potencial y la ponderación de la tasa de mortalidad y actividad económica en la función de pérdida social. De esta última se concluye que el planificador ponderaría más la tasa de mortalidad para no incurrir en un “costo moral” asociado a mayores decesos.

**Palabras Clave:** Modelos matemáticos, Sanidad pública, Políticas públicas.

**Clasificación JEL:** C65, I18, E61.

---

\*. El contenido del presente documento es de responsabilidad del autor y no compromete la opinión de la institución donde trabaja.

## **A theoretical model about the dilemma between economic growth and mortality of COVID-19**

### **Abstract**

The COVID-19 pandemic has induced many authorities to implement policies such as quarantines to avoid a rapid increase in the number of cases and deaths, but assuming the costs in terms of economic activity. This document raises a model to solve the problem faced by the policy maker or economic planner between reducing the contagion rate and lethality or mitigating the recessive effects of the pandemic, which consists of minimizing a social loss function to find the mathematical and graph solution for mortality rate, effective product and social loss. Finally, a sensitivity analysis is made of the fundamental parameters such as the decision to apply a quarantine, the adverse effect of the pandemic on the potential product and the weighting of the mortality rate and economic activity in the social loss function. It is concluded that the economic planner would weigh more the mortality rate so as not to incur a “moral cost” associated with higher deaths.

**Key Words:** Mathematical Models, Public Health, Public Policies.

**JEL Classification:** C65, I18, E61.

## 1. Introducción

Con la irrupción del COVID-19 o “Coronavirus” y su rápida propagación en el mundo se planteó el dilema entre salud o economía. La enorme capacidad de contagio y las consecuencias sobre los servicios de salud con desenlaces letales ha sido en la mayoría de los países el principal determinante de la decisión de decretar un régimen estricto de aislamiento social mediante las cuarentenas y la prohibición de apertura de espacios públicos, empresas y servicios educativos, entre muchos otros. En ese sentido, las cuarentenas y las medidas de contención trataron de disminuir la velocidad de contagio para que el número de personas que llegaban a los hospitales se disperse en el tiempo, dando lugar al concepto de “aplanar la curva de contagio”.

Sin embargo, la decisión de los países de aplicar o no una política de contención como una cuarentena tiene efectos adversos importantes en la actividad económica, tanto por factores de oferta como de demanda agregada. En esa línea, si se aplica una política de contención como una cuarentena, asumida por la mayoría de los países, disminuye el número de casos y muertes, pero se espera para esos países una recesión más profunda y persistente. En cambio, si no se aplica una política de contención, como es el caso de Suecia, el número de casos sube con mayores desenlaces letales, pero la recesión y su persistencia podrían ser menores.

Éste es el problema que enfrenta el *policy maker* o planificador económico que debe decidir entre reducir la tasa de contagios y mortalidad del COVID-19 o mitigar los efectos recesivos de la pandemia. En ese sentido, el objetivo de esta investigación es formalizar este dilema que enfrenta el planificador económico, a partir del planteamiento matemático y gráfico de un problema de minimización de una función de pérdida social y resolverlo para hallar valores óptimos del producto efectivo y la mortalidad del COVID-19; y con ello, el valor de la función de pérdida social resultante<sup>1</sup>. Adicionalmente, el trabajo realiza un análisis de sensibilidad de las variables objetivo ante cambios en sus parámetros determinantes.

Del análisis de sensibilidad, en particular respecto a la ponderación que el planificador otorga a las variables objetivo, se puede formalizar y res-

---

1. En economía es común encontrar métodos matemáticos y cuantitativos para tratar la disyuntiva entre variables económicas. Como se expondrá más adelante, este documento hará uso de estas bases formales para tratar la nueva disyuntiva que generó el COVID-19.

paldar la decisión de las naciones de aplicar cuarentenas y medidas de contención por un imperativo moral más que económico.

La presente investigación está organizada de la siguiente manera. La sección 2 presenta una revisión bibliográfica examinando documentos de investigación recientes sobre el COVID-19 y sus efectos económicos, así como literatura sobre el tratamiento cuantitativo de disyuntivas entre variables económicas. La sección 3 aborda el dilema que enfrenta el planificador o *policy maker*. La sección 4 plantea, resuelve y analiza los resultados del problema de minimización de la función de pérdida social por parte del planificador económico. En la sección 5 se presenta una reflexión sobre la mejor decisión del planificador al momento de priorizar objetivos. Finalmente, las principales conclusiones son expuestas en la sección 6.

## 2. Revisión bibliográfica

Con la propagación del COVID-19<sup>2</sup> la literatura sobre esta pandemia ha aumentado considerablemente en muchos ámbitos de la ciencia, incluidas las ciencias económicas. En esa línea, en un primer libro electrónico editado por Baldwin y di Mauro (2020a) *Economics in the Time of COVID-19*, en sus 14 capítulos aborda los impactos económicos del COVID-19 a nivel mundial y en determinadas regiones, con algunos apartados más específicos de epidemiología. En este texto se intenta responder a qué velocidad se propagará el daño económico de esta pandemia, cuán intenso es su efecto y cuánto durará. También en algunos capítulos se aborda qué pueden hacer los gobiernos en esta situación.

Para la economía China, donde se inició la pandemia causada por el COVID-19, Zhao y Chen (2020) sugieren, dadas las características de este virus, mantener estrictas medidas de cuarentena y control inmediato en Beijing, Shanghai, Guangzhou, Shenzhen y Hubei. Entre sus conclusiones se destaca que el modelo empleado por los autores también puede ser útil para predecir la tendencia de la epidemia y proporcionar una guía cuantitativa para otros países con alto riesgo de brote, como en su momento eran Corea del Sur, Japón, Italia e Irán, para así evitar tasas de mortalidad importantes.

---

2. Técnicamente denominado SARS-CoV-2 (en inglés, *severe acute respiratory syndrome coronavirus 2*, ‘coronavirus de tipo 2 del síndrome respiratorio agudo severo’), es un tipo de coronavirus causante de la enfermedad por coronavirus detectado en 2019.

Fornaro y Wolf (2020) sostienen que el COVID-19 además de su impacto en la salud pública, tendrá importantes consecuencias económicas. El consenso es que el virus provocará un impacto negativo en la oferta de la economía mundial, al obligar a las fábricas a cerrar e interrumpir las cadenas de suministro mundiales. Pero según los autores, las interrogantes que aún se discuten al momento de la publicación de esa investigación es ¿Cuán profunda y persistente será la interrupción en la cadena de suministro? ¿Cuánto afectará la pandemia a la demanda agregada? ¿Cuál es la respuesta adecuada de la política monetaria y fiscal?

Para Europa el estudio de Johnson et al. (2020) estima escenarios para ser usados en una preparación ante la inminente epidemia generalizada. Los autores proponen acciones para organizarse ante posibles fases de mitigación y coordinar esfuerzos para proteger la salud de los ciudadanos.

En McKibbin y Fernando (2020) se aplican modelos Computables de Equilibrio General y Estocásticos para simular siete escenarios a partir de un modelo híbrido para 20 economías afectadas. Los autores encuentran que incluso en un escenario con un brote contenido, la economía global es impactada significativamente a corto plazo.

Acharya et al. (2020) sostienen que la contención y la respuesta a una epidemia cuesta millones de dólares, lo cual no es factible para los países con escasos recursos. Si bien los países de ingresos altos y con sistemas de salud eficientes pueden movilizar recursos y mano de obra técnica de manera eficiente, los países de ingresos bajos, con sistemas de salud deficientes e inestabilidad política pueden no ser capaces de contener la epidemia viral a tiempo, lo que podría tener efectos devastadores en la salud pública y la economía en general.

En Jorda et al. (2020) se analizan las consecuencias económicas de largo plazo de la pandemia. Se sostiene que si bien el COVID-19 está teniendo efectos inmediatamente visibles en la actividad económica (contracción de la actividad económica, colapso del comercio y aumento dramático de la tasa de desempleo), también ocasionará efectos a largo plazo sobre todo en la tasa de interés natural, el producto potencial y la dirección de las políticas.

En Eichenbaum et al. (2020), por medio de la extensión de un modelo canónico epidemiológico, se estudia la interacción entre las decisiones económicas y las epidemias. Así encuentran, mediante un modelo de Equili-

brio General Dinámico Estocástico (DSGE, por sus siglas en inglés) sencillo con un módulo de un modelo tipo Susceptibles, Infectados y Recuperados (SIR) que, comparando con un escenario base, la política de contención óptima aumenta la severidad de la recesión, pero salva aproximadamente medio millón de vidas en los Estados Unidos.

En Anderson et al. (2020) afirman que los gobiernos no podrán minimizar tanto los decesos por la enfermedad del COVID-19 como el impacto económico que conlleva su propagación viral. Mantener bajas tasas de mortalidad será la máxima prioridad para las personas; por tanto, los gobiernos deben poner en marcha medidas para mitigar la inevitable recesión económica.

En un segundo libro electrónico sobre el COVID-19 de Baldwin y di Mauro (2020b), titulado *Mitigating the COVID Economic Crisis: Act Fast and Do Whatever It Takes*, se argumenta que, a corto plazo, aplanar la curva de infección inevitablemente aumenta la curva de recesión macroeconómica. Por esta razón, se requieren políticas audaces para contener la recesión que se avecina. La combinación correcta comienza con la política de salud pública que limite el “contagio de humanos”, que debe ir acompañada de políticas fiscales y financieras que mitiguen la conmoción en el sistema económico y evitar un mayor “contagio económico”. Estos editores señalan que los gobiernos y organismos internacionales estuvieron avizorando una pandemia mundial durante años; sin embargo, muy poco se ha estudiado sobre los posibles efectos económicos de un shock de esta naturaleza. Por ello, muchos gobiernos del mundo, ante este fenómeno, han actuado de una forma sin precedentes a nivel mundial, cerrando y paralizando la economía con el fin de minimizar a toda costa la posible pérdida de vidas humanas.

Le Page (2020) resalta que Suecia decidió tomar un enfoque totalmente diferente a sus vecinos nórdicos en el intento de contener la propagación del nuevo coronavirus y sus efectos. La estrategia sueca permitió que la gente siguiera viviendo en gran medida con normalidad. Las tiendas y restaurantes permanecieron abiertos, al igual que muchas escuelas. En resumen, los suecos vivieron las medidas más laxas de contención, cuando el resto de Europa afrontaba un confinamiento más o menos estricto. El autor señala que las autoridades suecas, aunque nunca lo señalaron explícitamente, parecía que tenían el objetivo de lograr la inmunidad colectiva y no afectar a la economía con políticas de cuarentena estricta.

Por otro lado, Barreiro (2020) identifica momentos cruciales del enfrentamiento de la crisis sanitaria en los que proliferan los dilemas éticos. Señala que la situación epidémica que afronta aún la humanidad permite ver, de forma más clara, otros males que ya aquejan al mundo y la necesidad de su enfrentamiento. En este contexto, aparecen valores morales diversos y contrapuestos en el marco de valorar la vida y hacer frente a una serie de problemas socio económicos que trajo consigo la pandemia del COVID-19.

En economía es muy común encontrar dilemas entre objetivos de política, y las soluciones muchas veces pasan por decisiones de los “policy makers” en base a ponderaciones que reflejan la importancia relativa de estos objetivos para la sociedad. Tal es el caso del dilema clásico de decisión “trade off” entre actividad económica e inflación. En esa línea, los premios Nobel de Economía Kydland y Prescott (1977) y posteriormente refinado por Barro y Gordon (1983), plantean la solución de este dilema a partir de la minimización de una función de pérdida social cuyos componentes son los desvíos del producto respecto al producto potencial, y de la inflación respecto a la inflación objetivo de la autoridad monetaria. La solución analítica y matemática de este problema permite encontrar valores óptimos para las variables objetivo, las cuales a su vez dependen en parte de la importancia relativa que le asigna la sociedad a las mismas.

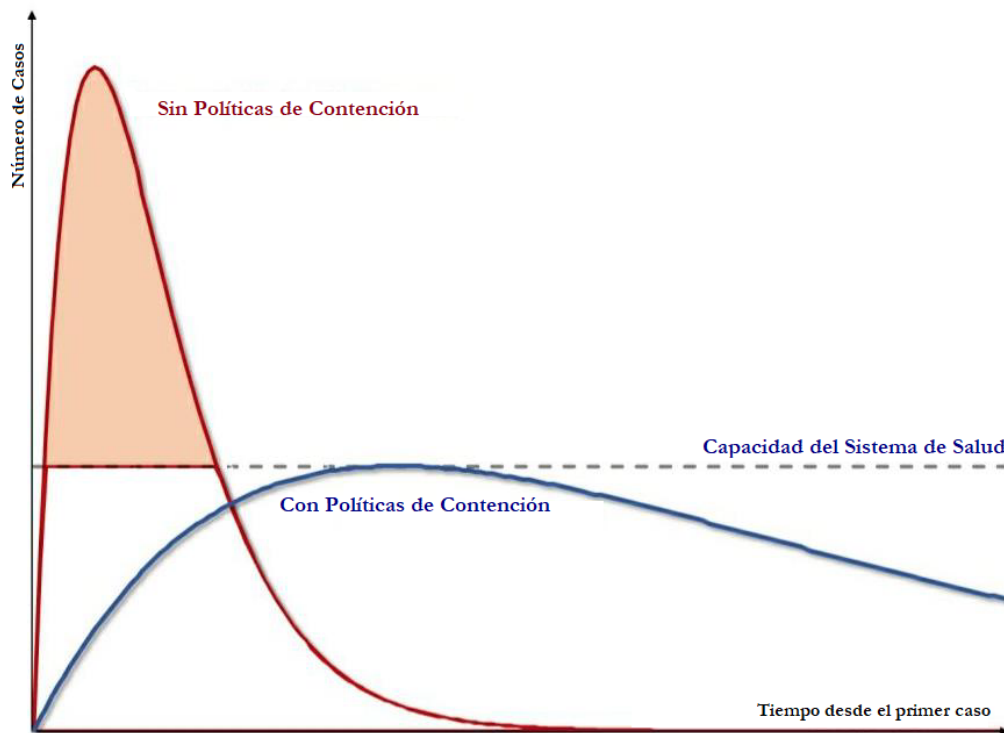
En la siguiente sección con el uso del instrumental analítico y matemático desarrollado para tratar los dilemas entre variables económicas, se plantea de una forma innovadora la solución de un nuevo dilema generado por la pandemia del COVID-19 entre una variable económica (actividad económica) y otra demográfica (mortalidad).

### **3. Planteamiento del dilema de decisión**

Tal como se describió en muchas investigaciones que forman parte de la revisión bibliográfica, a medida que el COVID-19 se propagó en todo el mundo, las naciones y sus autoridades sanitarias han intentado evitar un rápido aumento en el número de casos y muertes. En ese esfuerzo surgió el concepto de “aplanar la curva”, que consistió en aplicar políticas de contención, como las cuarentenas o confinamiento, para evitar una propagación rápida de la enfermedad que pueda colapsar los sistemas de salud y ocasionar un mayor número de muertes en general. En el Gráfico 1, en el plano “Número de casos” y “Tiempo desde el primer caso”, se aprecia una curva alargada y baja (curva azul) que caracteriza una situación

“con políticas de contención” y una curva alta (curva roja) “sin políticas de contención”, causada por un rápido aumento de las infecciones con el consecuente colapso de la capacidad del sistema de salud (línea punteada) y por tanto, asociado a una mayor cantidad de muertes.

Gráfico 1: Aplanamiento de la curva pandémica  
(En número de casos)

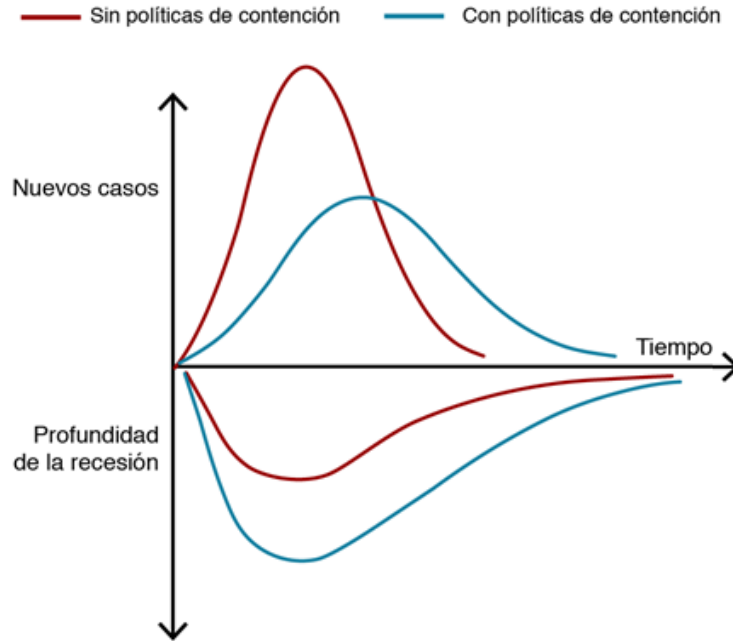


Fuente: En base a Esther Kim, Carl T. Bergstrom, Universidad de Washington vía BBC News

El impacto es distinto en la economía si se decide aplicar o no una política de contención. Cuando se aplica una política de contención como una cuarentena, disminuye el número de casos, pero se genera una recesión más profunda y persistente. En cambio, si no se aplica una política de contención el número de casos sube, pero la recesión y su persistencia es menor. El Gráfico 2, en el plano “Nuevos casos”, “Profundidad de la recesión” y “Tiempo”, muestra a países que no cuentan con políticas de contención (curva roja), y países que adoptaron medidas de cuarentena rígidas (curva azul). Como se puede observar, el costo de aplanar la curva médica de contagios, en el plano superior, trae consecuencia más profundas y persistentes en lo que respecta a la recesión económica (plano inferior).



Gráfico 2: Curva médica y económica



Fuente: Richard Baldwin, en base a Pierre-Olivier Gourinchas

## 4. Modelo teórico sobre el dilema que generó el COVID-19

En la sección anterior se planteó el problema que enfrenta el *policy maker* o planificador económico entre reducir la tasa de contagios y mortalidad del COVID-19 o mitigar los efectos recesivos de esta pandemia. En esta sección se desarrolla un modelo matemático de optimización que plantea, resuelve y realiza un análisis de sensibilidad de algunos parámetros determinantes.

### 4.1 El problema del planificador económico

El planificador económico procura minimizar el valor presente de la pérdida social ( $Z_t$ ):

$$Z_t = \sum_{i=0}^{\infty} (1 + \delta)^{-i} L_{t+i}(\cdot)$$

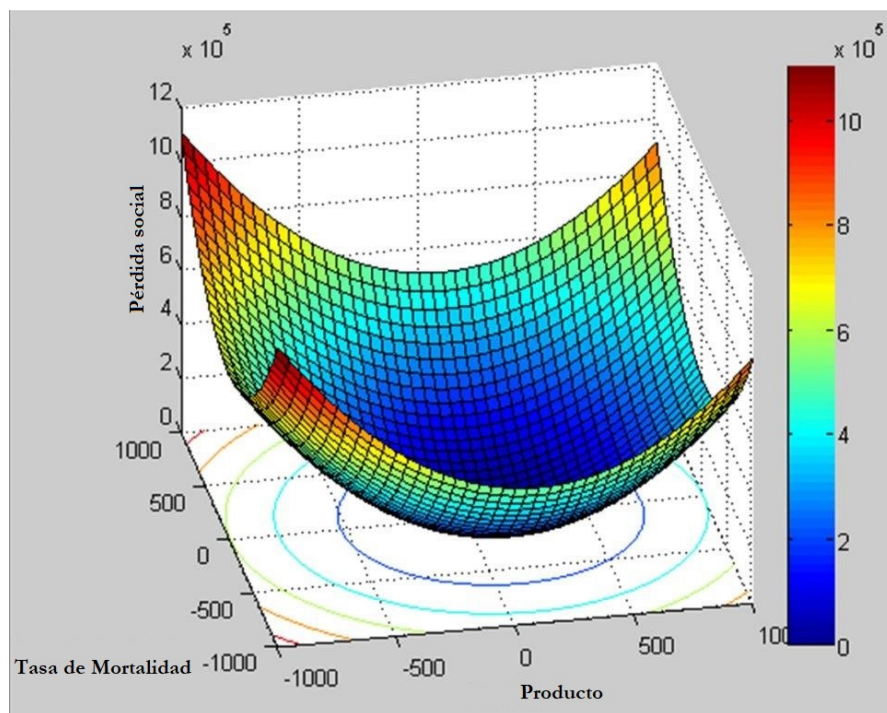
Donde  $\delta$  es la tasa de descuento social y  $L(t+i)(\cdot)$  es la función de pérdida social en el período  $t+i$ . Por su parte, la función de pérdida social viene dada por la siguiente expresión:

$$L[m, (y - \bar{y})] = am^2 + (1 - a)(y - \bar{y})^2 \quad 0 \leq a \leq 1, \forall y, m \geq 0 \quad (1)$$

En esta función,  $m$  es la tasa de mortalidad del COVID-19<sup>3</sup>,  $y$  es el producto efectivo,  $\bar{y}$  es el producto potencial y  $a$  es la importancia relativa que le asigna el planificador económico a la mortalidad del COVID-19 y a la brecha del producto dentro la función de pérdida social. Esta función permite que el planificador, a partir de la elección de un valor de “ $a$ ”, pondere más la mortalidad por el COVID-19 o los efectos nocivos en términos de la brecha del producto.

El Gráfico 3 muestra la ecuación (1) en 3D, para poder identificar la influencia de la tasa de mortalidad y de la brecha del producto sobre la función de pérdida social, donde se puede identificar que las curvas más alejadas del producto potencial en el eje de las abscisas (eje x) reportan mayor pérdida social.

Gráfico 3: Función de pérdida social en 3D



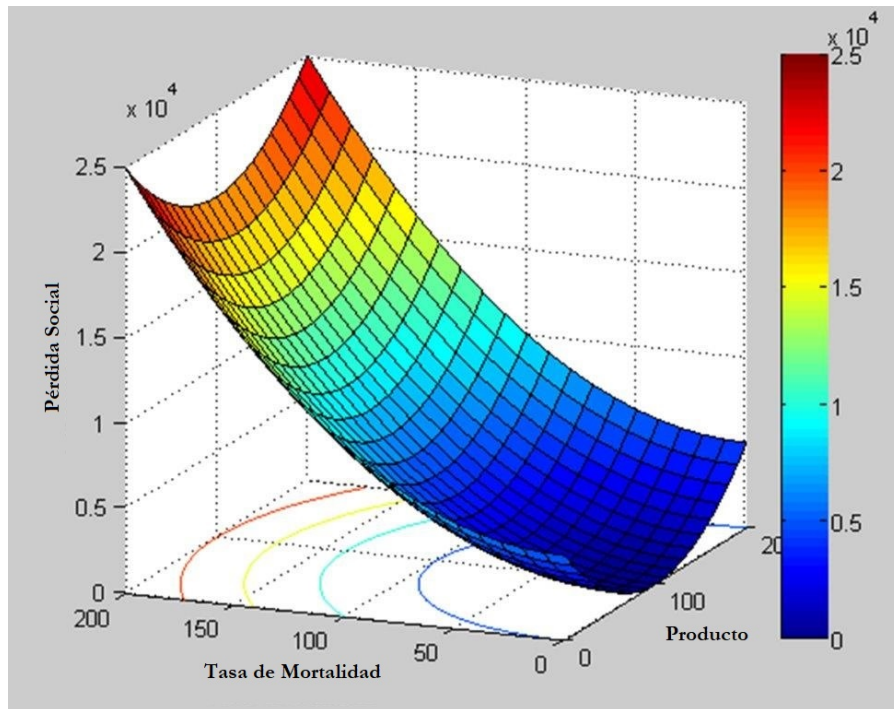
Nota: Para graficar la ecuación (1) en Matlab se asumió  $\bar{y} = 100$  y  $a = 0,5$   
 Elaboración: Propia del autor

Sin embargo, desde el punto de vista del objetivo del trabajo se deben realizar algunas precisiones con respecto al área relevante de la función de pérdida social, la cual debe considerar la presencia del COVID-19 con la

3. Para el planificador, la tasa de mortalidad del COVID-19 minimiza la función de pérdida social cuando ésta es cero, compatible con la ausencia de defunciones por la pandemia. En otras condiciones, el planificador ingresa otra variable de interés, como por ejemplo, la inflación u otras variables.

consecuente tasa de mortalidad mayor o igual a cero ( $m \geq 0$ ) y que el producto efectivo no puede ser negativo ( $y \geq 0$ )<sup>4</sup>. Según lo expuesto, el Gráfico 4 muestra el área relevante de la función de pérdida social.

Gráfico 4: Área relevante de la función de pérdida social en 3D



Nota: Para graficar la ecuación (1) en Matlab se asumió  $\bar{y} = 100$ ,  $a = 0,5$ ,  $y \geq 0$  y  $m \geq 0$ . Además, fue necesario establecer un valor referencial para el producto potencial de 100, por lo que el eje que muestra profundidad mide el producto efectivo.

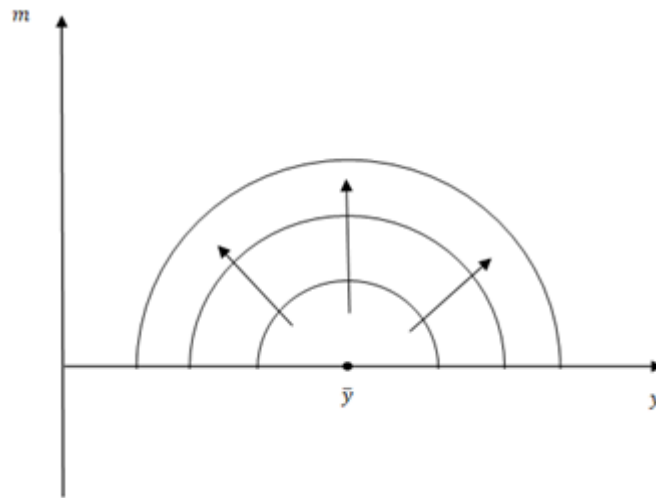
Elaboración: Propia del autor

El Gráfico 5 muestra las curvas de pérdida social correspondientes para la función de pérdida social en el plano bidimensional producto-mortalidad. Como se mostró en los Gráficos 1 y 2, las más alejadas del punto de producción potencial ( $\bar{y}$ ) y en el eje de mortalidad ( $m$ ) mayor a cero, implican menor nivel de bienestar. El área relevante para la tasa de mortalidad por el COVID-19 ( $m$ ) es el eje positivo por construcción, en el caso de la brecha del producto ( $y - \bar{y}$ ) son ambos ejes, puesto que en general una brecha positiva o negativa es algo no deseado por el planificador, puesto que implicaría “sobrecalentamiento” o “enfriamiento” de la economía, respectivamente.

Las curvas de pérdida social más alejadas del punto que en el eje de las abscisas señalan la producción potencial ( $\bar{y}$ ), pero para valores positivos de la tasa de mortalidad ( $m$ ), representan menores niveles de bienestar para la sociedad.

4. Estas dos condiciones están explicitadas en la ecuación (1).

Gráfico 5: Mapa de curvas de pérdida social en el plano bidimensional  
Producto-Mortalidad



Elaboración: Propia del autor

Para minimizar la función de pérdida social el planificador debe tomar en cuenta la siguiente relación directa entre el producto ( $y$ ) y la mortalidad del COVID-19 ( $m$ ):

$$y = k\bar{y} + bm \quad 0 \leq k \leq 1, \quad 0 \leq b \leq 1, \quad \forall m \geq 0 \quad (2)$$

En esta relación (2) se deben precisar los siguientes elementos:

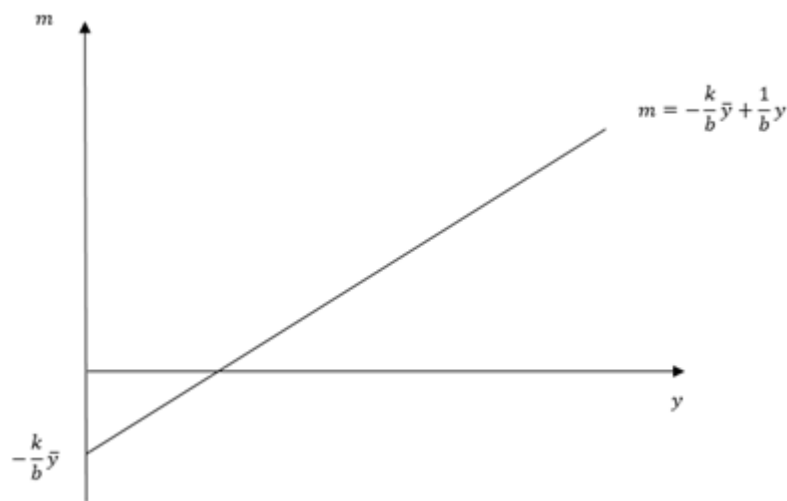
- El producto efectivo ( $y$ ) y la tasa de mortalidad ( $m$ ) del COVID-19 tendrán una relación directa; es decir, en la medida que se aplican políticas de contención como las cuarentenas la mortalidad disminuye, pero a costa de menos producción en la economía. La intensidad de la relación entre estas dos variables es capturada por el parámetro  $b^5$ . Si  $b$  es cero quiere decir que el planificador optó por una cuarentena estricta y por tanto el producto efectivo sufrirá todo el impacto adverso de la pandemia, mientras se registrará una mortalidad próxima a cero. Si en el otro extremo  $b$  es 1, representará la decisión del planificador de no implementar una cuarentena, lo que al no paralizar las actividades productivas y la demanda agregada mitigará el efecto adverso de la pandemia sobre el producto efectivo, pero a costa de una mayor mortalidad.

5. Este parámetro captura el efecto del COVID-19 en el producto a partir de su efecto en la actividad por temas de confinamiento.

- El producto efectivo ( $y$ ) también será afectado negativamente por el COVID-19 según su impacto en el producto potencial ( $\bar{y}$ ) capturado por el valor del parámetro  $k$ <sup>6</sup>. Por ejemplo, un  $k = 0,8$  quiere decir que el COVID-19 podría mermar el producto potencial en 20 % y por tanto tener un efecto adverso en el producto efectivo.

El Gráfico 6 muestra la relación directa entre la tasa de mortalidad ( $m$ ) y la producción efectiva ( $y$ ), considerando la ecuación 2:

Gráfico 6: Relación entre Producto efectivo y Mortalidad del COVID-19



Elaboración: Propia del autor

Por tanto, la ecuación (2) muestra la disyuntiva entre producto efectivo y mortalidad del COVID-19. En la medida que se decide por no aplicar una cuarentena la mortalidad de la pandemia se incrementa, pero se mitiga el efecto adverso sobre el producto. En cambio, si se aplica una cuarentena estricta, la tasa de mortalidad en el extremo sería nula, pero el efecto de la pandemia sobre producto es completa dado el impacto sobre el producto potencial.

Entonces, el planificador procurará en cada período minimizar la ecuación (1) sujeto a la (2):

$$\text{Min } L[\cdot] = am^2 + (1 - a)(y - \bar{y})^2$$

$$\text{s.a. } y = k\bar{y} + bm$$

6. Este parámetro captura el efecto del COVID-19 en el producto a partir de su efecto de más largo plazo en el PIB potencial.

Para resolver el problema se incorpora la restricción a la función objetivo para volverlo un problema irrestricto. Con lo que la función a minimizar es:

$$\begin{aligned} \text{Min } L[\cdot] &= am^2 + (1 - a)(k\bar{y} + bm - \bar{y})^2 \\ \text{Min } L[\cdot] &= am^2 + (1 - a)((k - 1)\bar{y} + bm)^2 \end{aligned}$$

Se deriva la función objetivo respecto a la tasa de mortalidad:

$$\text{Min } \frac{\partial L[\cdot]}{\partial m} = 2am + 2b(1 - a)((k - 1)\bar{y} + bm) = 0 \quad (3)$$

De donde se obtiene la tasa de mortalidad ( $m^*$ ) que resuelve el problema:

$$m^* = \frac{[(b - ab)(1 - k)]}{[a + b^2 - ab^2]}\bar{y} \quad (4)$$

De la ecuación (4) y corroborada por el análisis de sensibilidad de la siguiente sección, se concluye que la tasa de mortalidad óptima será menor si: i) el planificador decide implementar una cuarentena estricta (menor  $b$ ), o ii) la pandemia no afecta significativamente al producto potencial (mayor  $k$ ) o iii) el planificador pondera más la tasa de mortalidad (mayor  $a$ ) en la función de pérdida social.

Se reemplaza (4) en (2) para obtener el producto resultante de la optimización:

$$y^* = k\bar{y} + b \frac{[(b - ab)(1 - k)]}{[a + b^2 - ab^2]}\bar{y}$$

Simplificando:

$$y^* = \left[ \frac{ak + b^2 - ab^2}{a + b^2 - ab^2} \right] \bar{y} \quad (5)$$

Posterior a comprobar el análisis de sensibilidad de la ecuación (5), se deduce que el producto efectivo óptimo será mayor si: i) el planificador decide no implementar una cuarentena estricta (mayor  $b$ ) o ii) la pandemia no afecta significativamente al producto potencial (mayor  $k$ ) o iii) el planificador pondera más el producto efectivo (menor  $a$ ) en la función de pérdida social.

A continuación, se evalúa la función de pérdida social con los valores óptimos hallados para  $m^*$  e  $y^*$ . Se reemplaza (4) y (5) en (1):

$$L[\cdot]^* = a \left\{ \frac{[(b - ab)(1 - k)]}{[a + b^2 - ab^2]} \bar{y} \right\}^2 + (1 - a) \left\{ \left[ \frac{ak + b^2 - ab^2}{a + b^2 - ab^2} \right] \bar{y} - \bar{y} \right\}^2$$

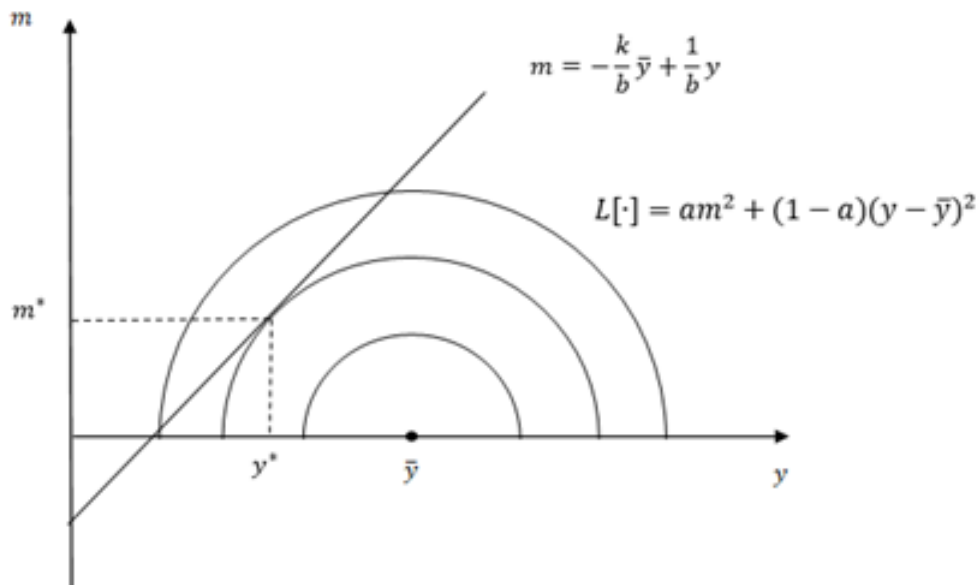
Simplificando:

$$L[\cdot]^* = \left[ \frac{(1 - k)\bar{y}}{(a + b^2 - ab^2)} \right]^2 [a(b - ab)^2 + a^2(1 - a)] \quad (6)$$

Así, de la ecuación (6) y corroborada por el análisis de sensibilidad subsiguiente, se concluye que la pérdida social resultante del proceso de optimización será menor si: i) el planificador decide no implementar una cuarentena estricta (mayor  $b$ ) o ii) la pandemia no afecta significativamente al producto potencial (mayor  $k$ ). La relación de la función de pérdida social resultante del proceso de optimización con respecto a la ponderación que le da el planificador económico a la tasa de mortalidad ( $a$ ) o producto efectivo ( $1 - a$ ) no es lineal, resultado que será analizado en la sección V por las implicaciones del mismo.

En el Gráfico 7 se muestra la solución del problema de minimización de la función de pérdida social dada la relación crecimiento-mortalidad del COVID-19.

Gráfico 7: Minimización de la función de pérdida social dada la relación Producto efectivo-Mortalidad del COVID-19



Elaboración: Propia del autor

## 4.2 Análisis de sensibilidad de los parámetros

En esta sección se presenta, bajo algunos supuestos, un análisis de sensibilidad de las variables de interés (mortalidad, producto efectivo y pérdida social) *ceteris paribus* ante cambios de algunos parámetros  $b$ ,  $k$  y  $a$ . Asimismo, guiado en el modelo teórico se grafica en el plano producto efectivo-mortalidad los cambios en estas variables partiendo de un equilibrio inicial.

### 4.2.1 Cambio en la intensidad de aplicar una cuarentena ( $b$ )

En base a las ecuaciones (4), (5) y (6) se realiza un análisis de sensibilidad de la mortalidad, producto efectivo y pérdida social de equilibrio ante cambios en el parámetro “ $b$ ” que mide la decisión del planificador de implementar o no una política de contención como una cuarentena. El valor del parámetro “ $b$ ” toma distintos valores entre cero y uno<sup>7</sup>.

El Gráfico 8 muestra que a medida que se decide no realizar (realizar) una política de contención, es decir un mayor (menor) valor de “ $b$ ”, la mortalidad se incrementa (reduce), el producto efectivo se incrementa (reduce), lo que en conjunto genera que la pérdida social sea menor (mayor)<sup>8</sup>.

El cambio de equilibrio en el plano producto efectivo-mortalidad es presentado en el Gráfico 9. Se parte de un equilibrio inicial en el punto  $A$  con un nivel inicial de mortalidad ( $m^*$ ) y producto efectivo ( $y^*$ ). Una mayor inclinación por parte del planificador de no implementar una política de contención (mayor  $b$ ), desliza y desplaza la inversa de la ecuación (2), puesto que este parámetro está presente en el intercepto y en la pendiente. Con un menor intercepto y pendiente se halla un nuevo equilibrio en  $B$  con un menor nivel de pérdida social, asociado a una mayor mortalidad ( $m^{*'}\text{'}$ ) y mayor producto efectivo ( $y^{*'}\text{'}$ ).

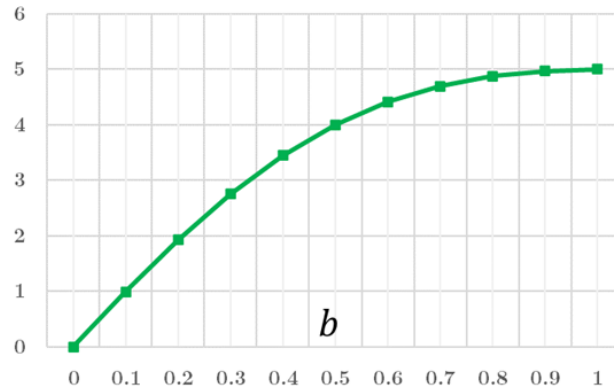
---

7. Se recuerda que si el parámetro “ $b$ ” toma el valor de cero, ese país implementó una política de contención por lo que la tasa de letalidad es próxima a cero y el producto efectivo es afectado plenamente a la baja. En cambio, si “ $b$ ” toma el valor de uno, el país no implementó una política de contención por lo que la letalidad es alta, pero se genera una caída en el producto efectivo menos drástica. Un valor intermedio ( $0 - 1$ ) para el parámetro “ $b$ ” es factible y denota la intensidad de aplicar o no una política de contención.

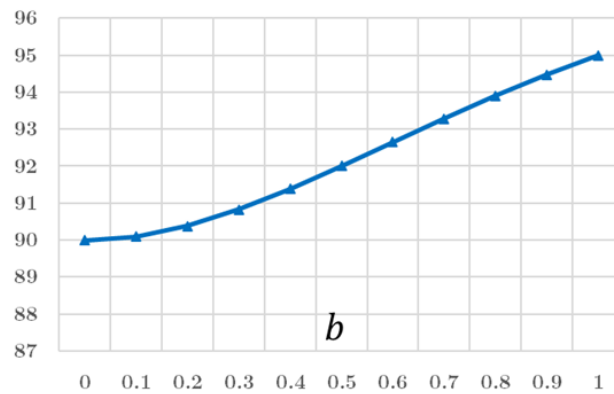
8. La nota al pie del Gráfico 8 puntualiza el valor de los otros parámetros asumidos. Es de hacer notar, como se verá más adelante, que la ponderación dentro la función de pérdida social de la letalidad y de la brecha del producto son relevantes en la respuesta de las variables de interés.



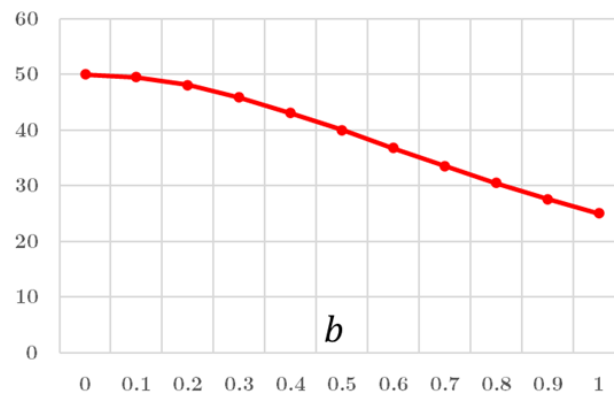
Gráfico 8: Sensibilidad ante cambios en la intensidad de aplicar una cuarentena ( $b$ )



(a) Tasa de letalidad ( $m$ )



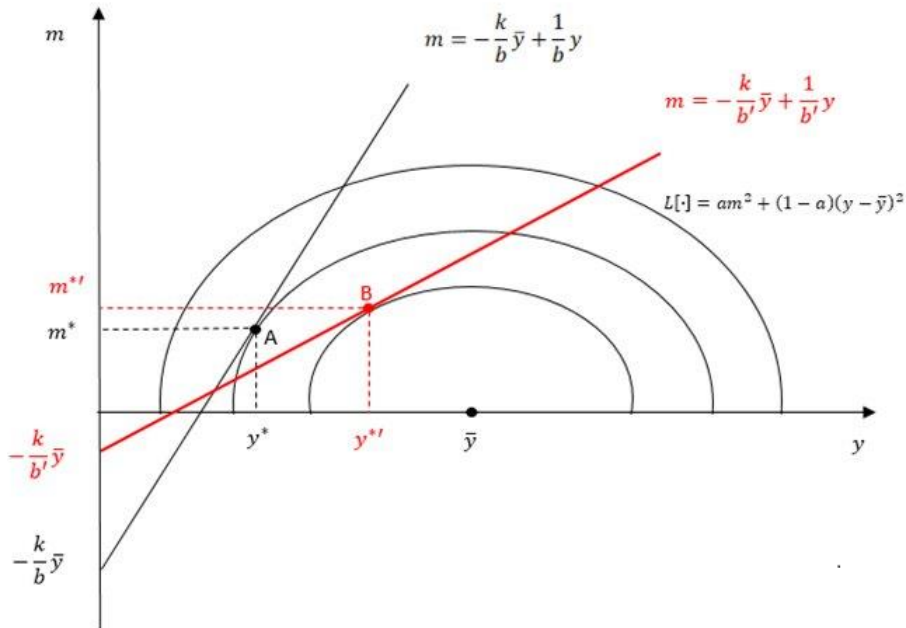
(b) Producto efectivo ( $y$ )



(c) Función de pérdida social ( $L$ )

Nota: Los gráficos son obtenidos a partir de las ecuaciones (4), (5) y (6) cambiando el valor de  $b$  entre 0 y 1 y asumiendo  $\bar{y} = 100$ ,  $a = 0,5$  y  $k = 0,9$   
Elaboración: Propia del autor

Gráfico 9: Equilibrio y cambio en la intensidad de la aplicación de una cuarentena (b)



Elaboración: Propia del autor

El análisis de sensibilidad y el gráfico llevan a la conclusión que desde el punto de vista económico y bajos ciertos supuestos, se tiene una menor pérdida social de no implementar una política de contención dado que se mitiga el efecto del COVID-19 en la actividad económica, aunque a mayor mortalidad. Como se verá en la siguiente subsección, este resultado está condicionado al peso relativo que da el planificador a ambas variables dentro la función de pérdida social. En esta sección se asumió una ponderación simétrica ( $a = 0,5$ ).

#### 4.2.2 Cambio en el impacto del COVID-19 ( $k$ ) sobre el producto potencial

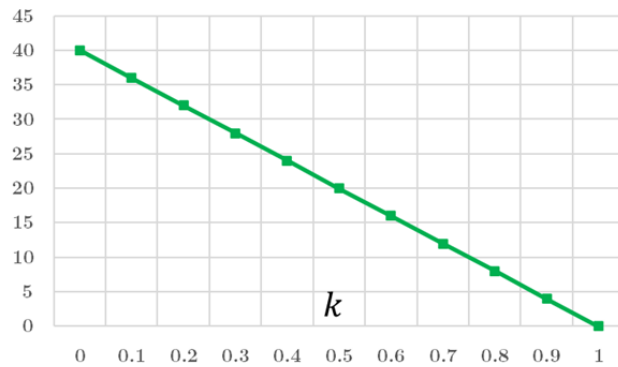
En base a las ecuaciones (4), (5) y (6) se efectúa el análisis de sensibilidad de la mortalidad, producto efectivo y pérdida social de equilibrio ante cambios en el parámetro “ $k$ ”, que mide el efecto adverso de la pandemia sobre el producto potencial. El parámetro “ $k$ ” puede tomar distintos valores entre cero y uno<sup>9</sup>.

El Gráfico 10 muestra que a medida que aumenta (disminuye) el efecto adverso del COVID-19 en el producto potencial visto como una reducción

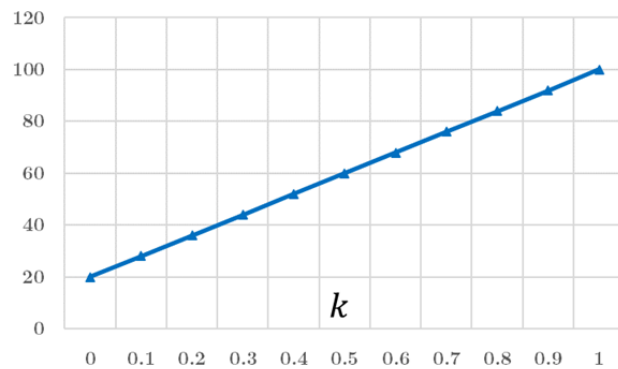
9. Si el parámetro “ $k$ ” toma el valor de cero quiere decir que el COVID-19 destruyó toda la capacidad productiva de un país afectando radicalmente al producto potencial. En cambio, si “ $k$ ” toma el valor de uno, refleja que no existió pandemia y por tanto no se afectó el producto potencial de un país. Valores intermedios muestra el porcentaje del producto potencial afectado por la pandemia.

(incremento) en el parámetro “ $k$ ”, menor (mayor) será el producto efectivo y mayor (menor) la mortalidad, por lo que la pérdida social subirá (disminuirá).

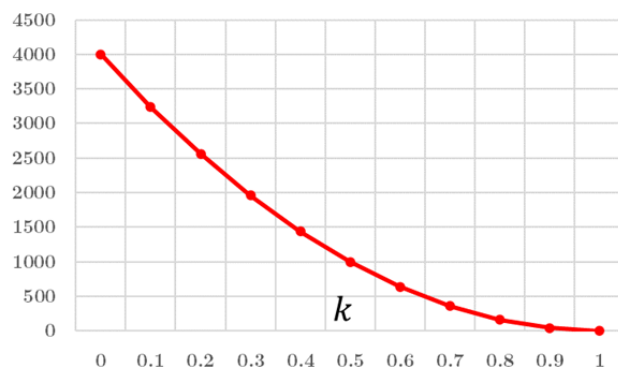
Gráfico 10: Sensibilidad ante cambios en el impacto del COVID-19 ( $k$ ) sobre la capacidad productiva



(a) Tasa de letalidad ( $m$ )



(b) Producto efectivo ( $y$ )



(c) Función de pérdida social ( $L$ )

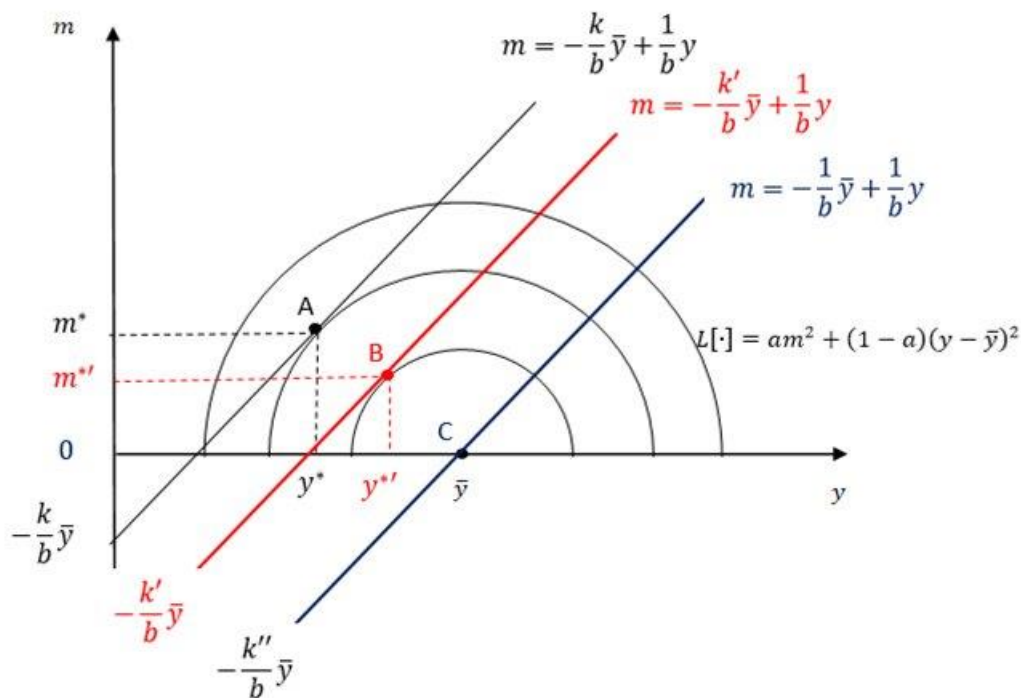
Nota: Los gráficos son obtenidos a partir de las ecuaciones (4), (5) y (6) cambiando el valor de  $k$  entre 0 y 1 y asumiendo  $\bar{y} = 100$ ,  $a = 0,5$  y  $b = 1$   
Elaboración: Propia del autor

Si en el extremo no existe pandemia y por tanto no se afecta el producto potencial ( $k = 1$ ) el producto efectivo podría alcanzar al potencial y dada la ausencia de la pandemia la tasa de mortalidad por este factor sería nulo. El resultado nos lleva a una pérdida social baja compatible con la ausencia del COVID-19.

Si en el otro extremo la pandemia destruyó la capacidad productiva de un país y por tanto su producto potencial ( $k = 0$ ) el producto efectivo sería muy bajo y la tasa de mortalidad muy alta. El resultado nos lleva a una pérdida social muy alta debido a que la pandemia afecta adversamente a ambas variables de interés para el planificador.

El cambio de equilibrio en el plano producto efectivo-mortalidad es presentado en el Gráfico 11. Se parte de un equilibrio inicial en el punto A con un nivel inicial de mortalidad ( $m^*$ ) y producto efectivo ( $y^*$ ). Un menor efecto adverso de la pandemia en el producto potencial (mayor  $k$ ) desplaza a la derecha la función de la ecuación (2), puesto que este parámetro está presente en el intercepto. Con ello se obtiene un nuevo equilibrio en B con un menor nivel de pérdida social, asociado a una menor mortalidad ( $m^{*'}$ ) y mayor producto efectivo ( $y^{*'}$ ).

Gráfico 11: Equilibrio y cambio en el efecto adverso de la pandemia ( $k$ ) en el Producto potencial



Elaboración: Propia del autor

En el Gráfico 11 también se puede apreciar el punto  $C$  que refleja un caso en el cual no existiese la pandemia y por tanto no existe efecto alguno en el producto potencial ( $k = 1$ ). Podría alcanzarse la menor pérdida social compatible con una tasa de mortalidad por esta enfermedad de cero y el producto efectivo igual al potencial.

#### 4.2.3 Cambio en la importancia relativa de la brecha del producto y mortalidad en la función de pérdida social ( $a$ )

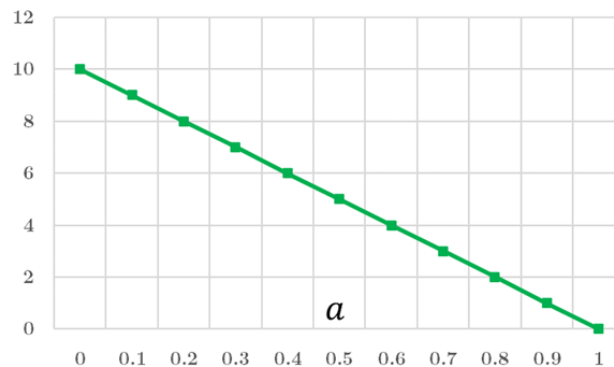
Asimismo, en base a las ecuaciones (4), (5) y (6) se efectúa el análisis de sensibilidad de la mortalidad, producto efectivo y pérdida social de equilibrio ante cambios en el parámetro “ $a$ ” que mide el peso relativo que le da el planificador a la mortalidad y a la brecha del producto dentro la función de pérdida social. El parámetro “ $a$ ” puede tomar distintos valores entre cero y uno.

El Gráfico 12 muestra que a medida que el planificador pondera más (menos) la mortalidad, esta variable será menor (mayor) pero también menor (mayor) el producto efectivo. Sin embargo, el efecto sobre la pérdida social no es lineal, como se explica a continuación:

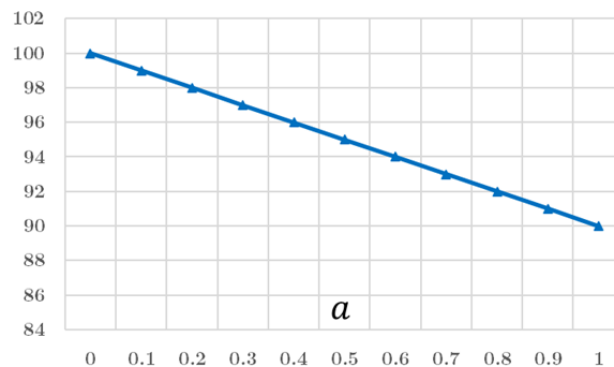
- Si se parte de una situación en la cual el planificador inicialmente pondera menos la mortalidad ( $a < 0,5$ ) y decide aumentar esta importancia relativa, la pérdida social se hace creciente porque primará el descenso de la producción efectiva a la reducción de la mortalidad.
- Si se parte de una situación en la cual el planificador inicialmente pondera más la mortalidad ( $a > 0,5$ ) y decide aumentar aún más esta importancia relativa, la pérdida social se hace decreciente porque primará la reducción de la mortalidad a la reducción de la producción efectiva.

Mayores implicaciones sobre esta no linealidad de la función de pérdida social con respecto a la ponderación será analizada en la siguiente sección.

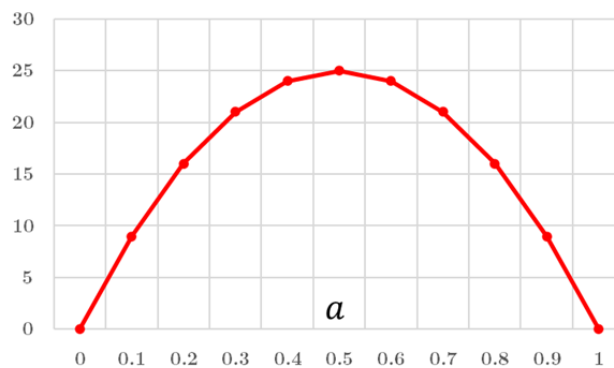
Gráfico 12: Sensibilidad ante cambios en la valoración relativa en la Función de pérdida social ( $a$ )



(a) Tasa de letalidad ( $m$ )



(b) Producto efectivo ( $y$ )



(c) Función de pérdida social ( $L$ )

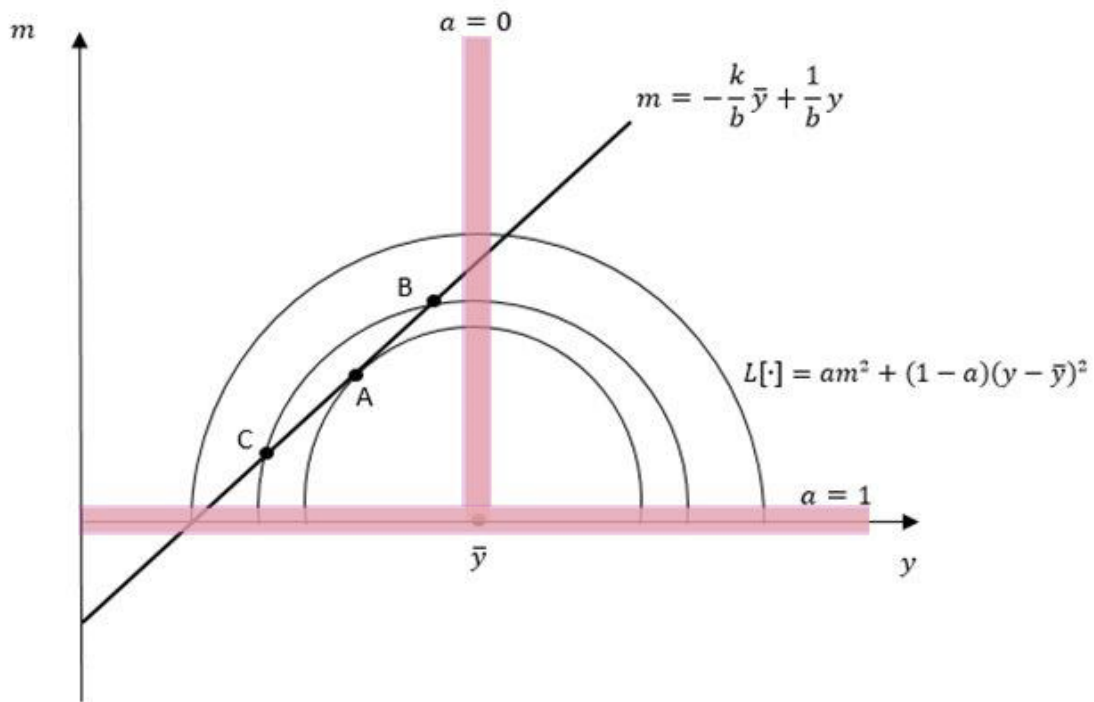
Nota: Los gráficos son obtenidos a partir de las ecuaciones (4), (5) y (6) cambiando el valor de  $a$  entre 0 y 1 y asumiendo  $\bar{y} = 100$ ,  $k = 0,9$  y  $b = 1$

Elaboración: Propia del autor

El cambio de equilibrio en el plano producto efectivo-mortalidad es presentado en el Gráfico 13. Para el análisis en el cambio de los equilibrios se debe considerar los dos escenarios siguientes que dependerán del valor inicial de “ $a$ ”:

- En un escenario en que el planificador pondera menos la mortalidad ( $a < 0,5$ ), pero éste decide incrementar esta importancia relativa al producto efectivo, genera una caída en la mortalidad pero que es más que compensada por la caída en el producto efectivo en la función de pérdida social por lo que esta última sube. Esta transición es observada en el Gráfico 13 con el cambio del punto  $A$  al  $C$ .
- En un escenario en que el planificador pondera más la mortalidad ( $a > 0,5$ ) y éste decide aumentar aún más esta importancia relativa respecto al producto efectivo, genera una caída en la mortalidad que es más que compensada a la caída en el producto efectivo de la función de pérdida social, por lo que esta última cae. Esta transición es observada en el Gráfico 13 con el cambio del punto  $B$  al  $A$ .

Gráfico 13: Equilibrio y cambio en la ponderación de la Mortalidad y Producto efectivo en la Pérdida social ( $a$ )



Elaboración: Propia del autor

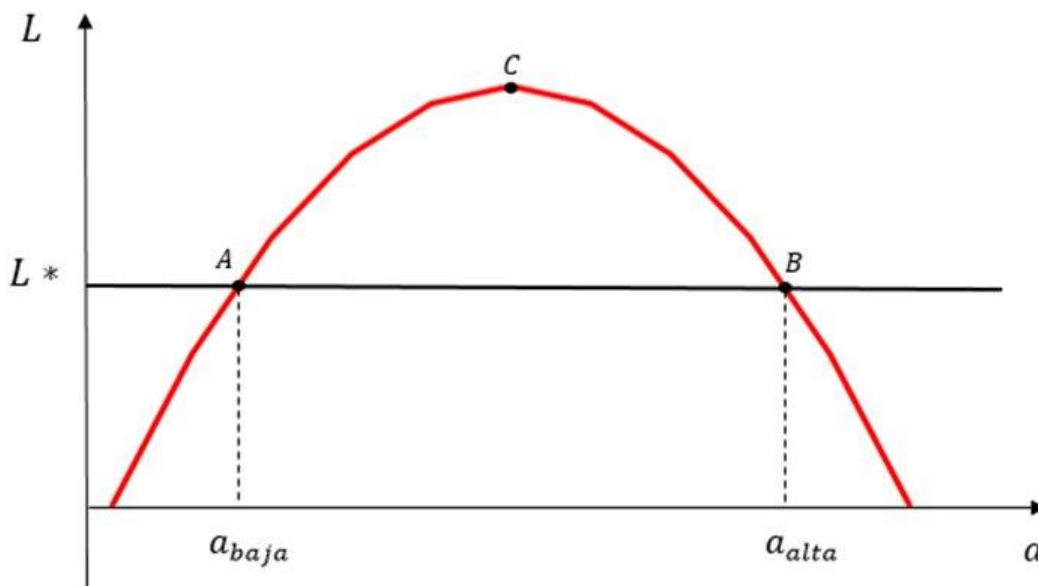
También se puede apreciar los dos extremos en el Gráfico 13. Si  $a = 0$  el producto efectivo será igual al potencial independientemente del valor que tome la mortalidad (línea rosa vertical). Si  $a = 1$  la tasa de mortalidad será cero independientemente del valor que tome el producto efectivo (línea rosa horizontal). Estos valores extremos muestran la preferencia absoluta del planificador respecto a alguna de estas dos variables objetivo.

## 5. El costo económico y el “costo moral”

La relación no lineal entre la función de pérdida social resultante del proceso de optimización con respecto a la ponderación que otorga el planificador económico a la tasa de mortalidad ( $a$ ) o producto efectivo ( $1 - a$ ) permite contrastar el costo económico, con lo que en esta investigación se denomina “costo moral”, presentes en la decisión del planificador económico.

El modelo teórico planteado muestra que un mismo nivel de pérdida social puede ser alcanzado con una ponderación alta o baja de la tasa de mortalidad o del producto efectivo. En el Gráfico 14 tanto en el punto  $A$  como el  $B$  se alcanza el mismo nivel de pérdida social ( $L^*$ ); sin embargo, en el punto  $A$  el planificador pondera poco la tasa de mortalidad ( $a_{baja}$ ) y mucho el producto efectivo; mientras que en el punto  $B$  sucede lo contrario ( $a_{alta}$ ).

Gráfico 14: Pérdida social y ponderación de la Mortalidad y Producto efectivo



Elaboración: Propia del autor

Entonces, considerando que se alcanza un mismo nivel de pérdida social ponderando más la tasa de mortalidad o el producto efectivo, el planificador elegirá aquel punto en el que el “costo moral”, dependiente de mayores decesos en su nación, sea el más bajo. Por tanto, elegirá el punto  $B$  priorizando la minimización de la tasa de mortalidad. Este planteamiento es respaldado por la evidencia empírica donde se puede observar que prácti-



camente la mayoría de países en los que el COVID-19 se ha propagado han aplicado medidas de confinamiento y cuarentena para evitar la pérdida de vidas humanas.

Una conclusión adicional que surge del modelo teórico desarrollado es que un planificador que quiera priorizar ambos, en un caso con igual ponderación ( $a = 0,5$ ), podría tener peores resultados en términos de pérdida social (punto  $C$ ).

## 6. Conclusiones

La crisis generada por la COVID-19 pasará a la historia como una de las peores que el mundo ha sufrido. Cuando la enfermedad se propagó en todo el planeta, las naciones y sus autoridades sanitarias han intentado evitar un rápido aumento en el número de casos y muertes, en una búsqueda de “aplanar la curva de contagios”, que consistió en aplicar políticas de contención, como las cuarentenas o confinamientos, para evitar una propagación rápida de la enfermedad que genere un colapso en los sistemas de salud y mayores muertes.

La decisión de los países de aplicar o no una política de contención como una cuarentena tienen efectos importantes en la actividad económica, tanto por el lado de la oferta como de la demanda. En esa línea, si se aplica una política de contención como una cuarentena, asumida por la mayoría de los países, disminuye el número de casos y muertes, pero se espera para esos países una recesión más profunda y persistente. En cambio, si no se aplica una política de contención, como en Suecia, el número de casos sube con mayores desenlaces letales, pero la recesión y su persistencia podrían ser menores.

Este es el problema que enfrenta el *policy maker* o planificador económico que debe decidir entre reducir la tasa de contagios y mortalidad de la COVID-19 o mitigar los efectos recesivos de esta pandemia. En ese sentido, el objetivo de este documento pionero en la temática —con el uso de instrumental analítico desarrollado para tratar dilemas entre variables económicas— es formalizar el dilema entre actividad económica y mortalidad que enfrenta el planificador económico a partir del planteamiento matemático y gráfico de un problema de minimización de una función de pérdida social. La solución de este problema provee una tasa de mortalidad y producto efectivo que forman parte de un óptimo, así como el valor de

la función de pérdida social resultante, de cuyos determinantes se puede concluir lo siguiente:

- El producto efectivo óptimo será mayor si el planificador decide no implementar una cuarentena estricta, o la pandemia no afecta significativamente al producto potencial, o el planificador pondera más el producto efectivo en la función de pérdida social.
- La tasa de mortalidad óptima será menor si el planificador decide implementar una cuarentena estricta, o la pandemia no afecta significativamente al producto potencial, o el planificador pondera más la tasa de mortalidad en la función de pérdida social.
- La pérdida social resultante del proceso de optimización será menor si el planificador decide no implementar una cuarentena estricta o la pandemia no afecta significativamente al producto potencial.

Con respecto a la ponderación que le asigna el planificador económico a la tasa de mortalidad o producto efectivo, el modelo teórico planteado muestra que un mismo nivel de pérdida social puede ser alcanzado con una ponderación alta o baja de la tasa de mortalidad o la brecha del producto. Por tanto, el planificador elegirá, dejando de lado el costo económico, una mayor ponderación a la tasa de mortalidad para no incurrir en un “costo moral” asociado a mayores decesos. Es lo que se ha evidenciado prácticamente en todos los países en los que la COVID-19 se ha propagado y ha propiciado la aplicación de muchas medidas de confinamiento y cuarentenas por parte de los gobernantes, para evitar la pérdida de vidas humanas.

Finalmente, destacar la formalización teórica-económica pionera en la temática que plantea la presente investigación sobre el dilema que enfrentan las naciones, cuyos resultados son racionales y además orientadores respecto a las mejores decisiones que deben tomarse en un contexto tan particular y crítico como el que impone la pandemia del COVID-19.

## Referencias

- Acharya, K. P. (2020). Resource poor countries ought to focus on early detection and containment of novel corona virus at the point of entry. *Clinical Epidemiology and Global Health*.
- Anderson, R. M., Heesterbeek, H., Klinkenberg, D. y Hollingsworth, T. D. (2020). How will country-based mitigation measures influence the course of the COVID-19 epidemic? *The Lancet*.
- Baldwin, R. y di Mauro, B. W. (2020a). Economics in the Time of COVID-19. *VoxEu. org, CEPR*.
- Baldwin, R. y di Mauro, B. W. (2020b). Mitigating the COVID economic crisis: Act fast and do whatever it takes. *VoxEu. org, CEPR*.
- Barreiro A. (2020). La ética en tiempos de COVID-19. *Revista Cubana de Salud Pública, 46, e2689*.
- Barro, R. y Gordon, D. (1983). Rules, Discretion and Reputation in a Model of Monetary Policy. *Journal of Monetary Economics. Vol 12*.
- Eichenbaum, M. S., Rebelo, S. y Trabandt, M. (2020). The macroeconomics of epidemics. (No. w26882). *National Bureau of Economic Research*.
- Fornaro, L. y Wolf, M. (2020). Covid-19 Coronavirus and Macroeconomic Policy: Some Analytical Notes. *Working Paper*.
- Johnson, H. C., Gossner, C. M., Colzani, E., Kinsman, J., Alexakis, L., Beauté, J. y Ekdahl, K. (2020). Potential scenarios for the progression of a COVID-19 epidemic in the European Union and the European Economic Area. *March 2020. Eurosurveillance, 25(9)*.
- Jorda, O., Singh, S. R. y Taylor, A. M. (2020). Longer-run economic consequences of pandemics. (No. w26934). *National Bureau of Economic Research*.
- Kydland, F. y Prescott, R. (1977). Rules rather than discretion. The inconsistency of optimal plans. *Journal of Political Economy. Vol 85 (3)*.
- Le Page, M. (2020). Is Sweden's coronavirus strategy a cautionary tale or a success story? *New Scientist, August*.

McKibbin, W. J. y Fernando, R. (2020). The global macroeconomic impacts of COVID-19: Seven scenarios. *Asian Economic Papers*, 20(2):1-30.

Zhao, S. y Chen, H. (2020). Modeling the epidemic dynamics and control of COVID-19 outbreak in China. *Quantitative Biology*, 1-9.