# Impacto económico de las intervenciones no farmacéuticas adoptadas por la COVID-19: El caso de Paraguay

Cesar Blanco, Gustavo Rivas

# Apéndice

Las ecuaciones del modelo nos permiten vincular directamente la actividad económica con el avance de la infección. A continuación, resumimos las principales ecuaciones que caracterizan el modelo utilizado en este trabajo[[1]](#footnote-1).

**Bloque epidemiológico:**

El número de nuevos infectados se determina mediante la siguiente ecuación:

$$T\_{t}=π\_{1}\left(S\_{t}C\_{t}^{s}\right)\left(I\_{t}C\_{t}^{i}\right)+π\_{2}\left(S\_{t}N\_{t}^{s}\right)\left(I\_{t}N\_{t}^{i}\right)+π\_{3}S\_{t}I\_{t},$$

donde $T\_{t}$ es el número total de nuevos infectados en el periodo t, $S\_{t}$ es la población susceptible en el periodo $t$, $I\_{t}$ es la población infectada en el periodo $t$. Las variables $C\_{t}^{s}$, $C\_{t}^{i}$, $N\_{t}^{s}$, y $N\_{t}^{i}$ representan el consumo y las horas trabajadas de los individuos susceptibles e infectados, respectivamente. En este modelo, la unidad de tiempo $t$ representa una semana. Los parámetros $π\_{1}$ y $π\_{2}$ indican la probabilidad de que se produzcan nuevos contagios cuando individuos susceptibles e infectados interactúan mediante el consumo ($π\_{1}$) o el trabajo ($π\_{2}$). Es decir, tanto el consumo como el trabajo están asociados a mayor infección porque lo individuos tienen que interactuar para desarrollar estas actividades. Si $π\_{1}=π\_{2}=0$ entonces la dinámica de la infección es igual que en el modelo S-I-R estándar, donde el contagio será mayor dependiendo del parámetro $π\_{3}$.

El número de individuos susceptibles se determina de la siguiente forma:

$$S\_{t+1}=S\_{t}-T\_{t}.$$

El número de individuos infectados, recuperados, fallecidos y la dinámica de la población se determinan por medio de las siguientes ecuaciones:

$$I\_{t+1}=I\_{t}+T\_{t}-\left(π\_{r}+π\_{d}\right)I\_{t},$$

$$R\_{t+1}=R\_{t}+π\_{r}I\_{t},$$

$$D\_{t+1}=D\_{t}+π\_{d}I\_{t},$$

$$Pob\_{t+1}=Pob\_{t}-π\_{d}I\_{t},$$

donde los parámetros $π\_{r}$ y $π\_{d}$ representan la probabilidad de un infectado de recuperarse y de fallecer, respectivamente. $R\_{t}$, $D\_{t}$ y $Pob\_{t}$ representan la población recuperada, fallecida y la población total. Asumimos que en el periodo inicial hay una población inicialmente infectada tal que $I\_{0}=ν$, donde $ν$ es una fracción pequeña de la población. Normalizamos la población inicial a 1, es decir $Pob\_{0}=1$.

**Bloque económico:**

En el modelo hay tres tipos de individuos: susceptibles, infectados y recuperados. Estos individuos deciden cuanto consumir y cuanto trabajar. Los individuos tienen en cuenta que al consumir y trabajar pueden infectarse y esto reduce la utilidad del individuo a lo largo de su vida. Por lo tanto, se asume que la decisión de consumir y trabajar se ve afecta por la probabilidad de contagio.

Los individuos susceptibles deciden cuanto consumir y trabajar, maximizando la siguiente función de utilidad:

$$U\_{t}^{s}=u\left(c\_{t}^{s},n\_{t}^{s}\right)+β\left[\left(1-τ\_{t}\right)U\_{t+1}^{s}+τ\_{t}U\_{t+1}^{i}\right].$$

En esta función de utilidad se tiene en cuenta que un individuo susceptible puede infectarse con probabilidad $τ\_{t}$ en el periodo siguiente, es en base a esta probabilidad que un individuo puede decidir consumir menos (reducir $c\_{t}^{s}$) o trabajar menos (reducir $n\_{t}^{s}$). Si consume menos, se produce un shock de demanda en la economía, si trabaja menos se produce un shock de oferta y las empresas no cuenta con suficiente oferta de trabajo para producir. La probabilidad de que un individuo susceptible se infecte está dada por

$$τ\_{t}=π\_{1}c\_{t}^{s}\left(I\_{t}C\_{t}^{i}\right)+π\_{2}n\_{t}^{s}\left(I\_{t}N\_{t}^{i}\right)+π\_{3}I\_{t}.$$

De acuerdo a esta ecuación, mientras más individuos infectados haya, y mientras mayor sea el consumo y el trabajo de estos, mayor será la probabilidad $τ\_{t}$.

Los individuos infectados deciden cuanto consumir y cuanto trabajar maximizando la siguiente función de utilidad:

$U\_{t}^{i}=u\left(c\_{t}^{i},n\_{t}^{i}\right)+β[\left(1-π\_{r}-π\_{d}\right)U\_{t+1}^{i}+π\_{r}U\_{t+1}^{r}]$.

Los individuos recuperados maximizan la siguiente función de utilidad:

$U\_{t}^{r}=u\left(c\_{t}^{r},n\_{t}^{r}\right)+βU\_{t+1}^{r}$.

La utilidad instantánea, de todos los individuos, está dada por $u\left(c\_{t},n\_{t}\right)=ln c\_{t}-\frac{θ}{2}n\_{t}^{2}$. En todos los casos los individuos maximizan la utilidad con respecto a una restricción presupuestaria dada por $\left(1+μ\_{t}\right)c\_{t}^{j}=w\_{t}n\_{t}^{j}$, donde $c\_{t}^{j}$ y $n\_{t}^{j}$ indican el consumo y el trabajo del individuo j=s,i,r y $w\_{t}$ es el salario[[2]](#footnote-2).

La variable $μ\_{t}$ es un impuesto al consumo que establece el gobierno. Este impuesto es la forma de introducir las medidas de intervención no farmacéuticas establecidas por el gobierno en el modelo. Mientras mayor sea $μ\_{t}$ más restringido estará el consumo y por lo tanto el gobierno podrá mitigar el avance de la infección.

En esta economía, las empresas deciden cuanto trabajo contratar maximizando la función de beneficios dada por $Π\_{t}=AN\_{t}-w\_{t}N\_{t}$, done A indica la productividad laboral agregada y $N\_{t}$ es el trabajo.

En el equilibrio, el consumo de todos los individuos es igual a la producción de las empresas, es decir $S\_{t}C\_{t}^{s}+I\_{t}C\_{t}^{i}+R\_{t}C\_{t}^{r}=AN\_{t}$. Además, el empleo demandado por las empresas es igual al total del empleo ofertado, es decir $S\_{t}N\_{t}^{s}+I\_{t}N\_{t}^{i}+R\_{t}N\_{t}^{r}=N\_{t}$.

La solución a este modelo, que está caracterizada por la maximización de la utilidad y de los beneficios de las empresas sujeta a las restricciones y a las condiciones de vaciado de mercado, nos da un sistema de ecuaciones que describe la dinámica del consumo y trabajo de cada tipo de individuo y además la dinámica de la infección[[3]](#footnote-3).

**Calibración:**

Nos interesa calibrar los parámetros $π\_{1}$, $π\_{2}$ y $π\_{3}$ del modelo. Estos determinan la relación entre infección y actividad económica. Para esto utilizamos información disponible de actividad económica mensual y de transmisibilidad de la infección medida por el $r\_{t}$. El $r\_{t}$, o número de infecciones secundarias generadas a partir de un individuo infectado, se define en el modelo de la siguiente forma:

$$r\_{t}≡\frac{T\_{t}}{I\_{t}}+\left(1-π\_{r}-π\_{d}\right)\frac{T\_{t+1}}{I\_{t+1}}+\left(1-π\_{r}-π\_{d}\right)^{2}\frac{T\_{t+2}}{I\_{t+2}}+…$$

Utilizando las ecuaciones del modelo, podemos vincular la transmisibilidad a la actividad económica de manera directa mediante la siguiente ecuación:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | $$r\_{t}=ω\_{1}+ω\_{2} Y\_{t}^{2},$$ | (1) |

donde $Y\_{t}$ representa la actividad económica, $ω\_{2}=\frac{π\_{1}+π\_{2}}{π\_{r}+π\_{d}}$ y $ω\_{1}=\frac{π\_{3}}{π\_{r}+π\_{d}}$.

Al igual que Eichenbaum, Rebelo y Trabandt (2020), consideramos que un tercio de los contagios ocurren en actividades relacionadas al consumo o al trabajado[[4]](#footnote-4). Por lo tanto, se cumple la siguiente condición:

$$\frac{1}{3}=\frac{π\_{1}C\_{t}^{2}+π\_{2}N\_{t}^{2}}{π\_{1}C\_{t}^{2}+π\_{2}N\_{t}^{2}+π\_{3}},$$

donde el lado derecho de la ecuación indica la probabilidad de que un individuo se contagie en actividades relacionadas a consumo y trabajo. Utilizando la condición de vaciado de mercado $Y\_{t}=C\_{t}$ y normalizando el parámetro $A$ de la función de producción tal que $Y\_{t}=N\_{t}$, obtenemos la siguiente relación:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | $$\frac{1}{3}=\frac{π\_{12}Y\_{t}^{2}}{π\_{12}Y\_{t}^{2}+π\_{3}}.$$ | (2) |

Donde $π\_{12}=π\_{1}+π\_{2}$. Consideramos que $π\_{1}=π\_{2}=π\_{12}/2$, es decir asignamos el mismo peso a la probabilidad de contagiarse en actividades relacionadas al consumo o al trabajo. Además, consideramos una probabilidad de fallecimiento ($π\_{d}$) de 0,008 semanal[[5]](#footnote-5) y una probabilidad de recuperación ($π\_{r}$) de 0,381 semanal[[6]](#footnote-6). Combinado estos valores con las ecuaciones (1) y (2), tenemos un sistema de dos ecuaciones y dos incógnitas ($π\_{12}$ y $π\_{3}$) que dependerá únicamente de la actividad económica y de la transmisibilidad.

Por lo tanto, todo lo que necesitamos para conocer la sensibilidad de la actividad económica a cambios en la infección son las observaciones de la actividad económica y de la transmisibilidad ($r\_{t}$) en Paraguay. Para medir la actividad económica mensual, utilizamos los datos del IMAEP (Banco Central del Paraguay, 2020). Mientras que para medir el $r\_{t}$, utilizamos los datos calculados por el Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social (MSPBS) del Paraguay[[7]](#footnote-7). Utilizando estos datos, observamos que en el mes de setiembre de 2020, que corresponde al último mes con disponibilidad de datos al momento de la elaboración de este artículo, la actividad económica es encuentra en -3% en relación el producto potencial del periodo prepandemia, mientras que las estimaciones de la transmisibilidad indican un $r\_{t}$ promedio de 1.07 durante este mes.

Mediante este procedimiento obtenemos que $π\_{1}=π\_{2}=0.0001841$ y $π\_{3}=0.144392$. Por lo tanto, de esta forma podemos cuantificar, de manera aproximada, la relación entre infección y actividad económica. Es necesario mencionar, que la elección del mes no afecta a la calibración, resultados similares son obtenidos si consideramos los datos de transmisibilidad y actividad económica de meses anteriores a setiembre. Utilizamos información del último mes disponible, en lugar de comienzo de pandemia, ya que las estimaciones de la transmisibilidad son de mejor calidad en periodos más recientes que al inicio de la pandemia.

Teniendo en cuenta que $ω\_{1}>0$ y $ω\_{2}>0$, la ecuación (1) implica que hay una relación positiva entre $r\_{t}$ y actividad económica. Es decir, para bajar el $r\_{t}$ es necesario contraer la actividad económica. Esto se logra mediante medidas como la cuarentena.

Los demás parámetros del modelo son estándar en la literatura, por lo que seguimos a Eichenbaum, Rebelo y Trabandt (2020).

Finalmente, hay que tener en cuenta que las estimaciones de $r\_{t}$ están sujetas a incertidumbre, ya que no conocemos el número real de contagios, solo aquellos casos que fueron obtenidos mediante pruebas (como mencionan Hevia y Neumeyer, 2020). Además, el cálculo del $r\_{t}$ es sensible a la elección del modelo. Teniendo en cuenta esta limitación, utilizamos esta calibración para simular la actividad económica dado un escenario de infección determinado.

# Referencias

1. Eichenbaum, M., Rebelo, S., Trabandt, M. 2020. “The macroeconomics of epidemics.” NBER working paper 26882. DOI 10.3386/w26882.
2. Ferguson, N., Cummings, D., Fraser, C. et al. 2006. “Strategies for Mitigating an Influenza Pandemic.” Nature 442, 448-452. https://doi.org/10.1038/nature04795.
3. Hevia, C., y Neumeyer, A. 2020. “Un marco conceptual para analizar el impacto económico del COVID-19 y sus repercusiones en las políticas”. PNUD LAC C19 PDS No 1.
1. Ver Eichenbaum, Rebelo y Trabandt (2020) para más detalles. [↑](#footnote-ref-1)
2. Las variables en minúsculas representan un individuo, y las variables en mayúsculas representan agregados. Por ejemplo: $c\_{t}^{i}$ es el consume de un solo individuo infectado, $C\_{t}^{i}$ es el consumo de toda la población infectada. [↑](#footnote-ref-2)
3. El modelo se resuelve con Dynare en Matlab, disponible en: www.dynare.org [↑](#footnote-ref-3)
4. Eichenbaum, Rebelo y Trabandt (2020) consideran que un 37% de los contagios se producen en colegios y en el trabajo en base a estudios previos sobre el contagio de la influenza de Ferguson et al. (2006). [↑](#footnote-ref-4)
5. Consideramos una tasa de mortalidad del 2%, que resulta de dividir en número total de fallecidos por el total de infectados registrados en noviembre de 2020 en Paraguay. Si bien el sub-registro genera una sobreestimación de la tasa de mortalidad, este valor es consistente con el modelo que considera el número de casos activos de infectados registrados. Para la calibración consideramos una tasa de fallecimiento semanal: al igual que Eichenbaum et al. (2020), consideramos un periodo de recuperación (o fallecimiento) de 18 días por lo que $π\_{d}$=7\*.02/18=0.008. [↑](#footnote-ref-5)
6. Al igual que en Eichenbaum et al. (2020), consideramos que en promedio un individuo se recupera o fallece luego de 18 días de contraer la infección. Por lo tanto, el valor de $π\_{r}$, en términos semanales, se obtiene de la siguiente ecuación: $π\_{r}$+$π\_{d}$=7/18, donde $π\_{d}$=0.008. [↑](#footnote-ref-6)
7. Para más detalles sobre la estimación de la transmisibilidad, ver el Reporte semanal de COVID-19 en Paraguay: https://dgvs.mspbs.gov.py/webdgvs/files/img/covid19/Reporte\_semana\_49\_2020.html. [↑](#footnote-ref-7)