

## PREPARACIÓN PARA DIRECTIVOS

### Un modelo matemático explica la necesidad de la protección para vencer a la COVID-19

### A mathematical model to explains the need for protection to defeat COVID-19

---

Raúl Guinovart Díaz<sup>1</sup>, <https://orcid.org/0000-0001-7702-6063>

Wilfredo Morales Lezca<sup>1</sup>, <https://orcid.org/0000-0003-1189-6773>

Isidro Abelló Ugalde<sup>2</sup>, <https://orcid.org/0000-0001-6015-4261>

María J. Vidal Ledo<sup>3</sup>, <https://orcid.org/0000-0002-0293-5999>

<sup>1</sup>Universidad de La Habana, Facultad de Matemática y Computación (MATCOM). La Habana, Cuba.

<sup>2</sup>Universidad de La Habana, Centro de Estudios para el Perfeccionamiento de la Educación Superior (CEPES). La Habana, Cuba.

<sup>3</sup> Escuela Nacional de Salud Pública. La Habana, Cuba

---

#### RESUMEN:

Recientemente los autores elaboraron tres escenarios del posible comportamiento de la pandemia en Cuba en los próximos días, estos se diseñaron sobre la base de comparar los parámetros de transmisión y protección de un modelo matemático de compartimentos. El objetivo de esta comunicación es explicar de manera sencilla, como la matemática indica la necesidad de la protección para vencer a la COVID-19.

**Palabras clave:** COVID-19; Modelos matemáticos; Salud Pública

---

#### ABSTRACT

Recently the authors elaborated three scenarios of the possible behavior of the pandemic in Cuba in the coming days, these were designed on the basis of comparing the transmission and protection parameters of a mathematical model of compartments. The objective of this communication is to explain in a simple way, how mathematics indicates the need to protect ourselves to defeat COVID-19.

**Key words:** COVID-19; Mathematical Models, Public Health

---

La pandemia denominada COVID-19, surge por la infección de un nuevo Coronavirus, el SARS-COV-2, que fue detectada por primera vez en China, con muy veloz propagación. Una vez infectada la persona, si no se toman rápidas medidas de protección, el riesgo de contagio es inmediato. De ahí que, se recomienden numerosas medidas de protección individual y colectiva que impida a los susceptibles adquirir la enfermedad; así como también, de haberse infectado, evitar la trasmisión y alcanzar una adecuada recuperación. <sup>(1-3)</sup>

Para predecir el comportamiento de la COVID-19 en Cuba, se han consultado importantes publicaciones que recogen varios modelos dinámicos, fenomenológicos y estocásticos. <sup>(4-9)</sup> Recientemente se ha utilizado un modelo matemático dinámico

reportado por Peng y colaboradores, <sup>(4)</sup> que posee 7 estados o compartimentos. Este es un sistema dinámico no lineal con siete ecuaciones diferenciales que dependen de varios parámetros y al que se le han asociado las correspondientes condiciones iniciales. En el proceso de solución de este problema de valores iniciales, se necesita estimar los parámetros, para poder encontrar las soluciones del mismo que ajusten mejor con los datos reportados y de esta forma predecir el comportamiento futuro de la pandemia.

Para explicar la necesidad de protección se representa en primer orden un gráfico del modelo, simplificado a cinco compartimentos, Fig. 1

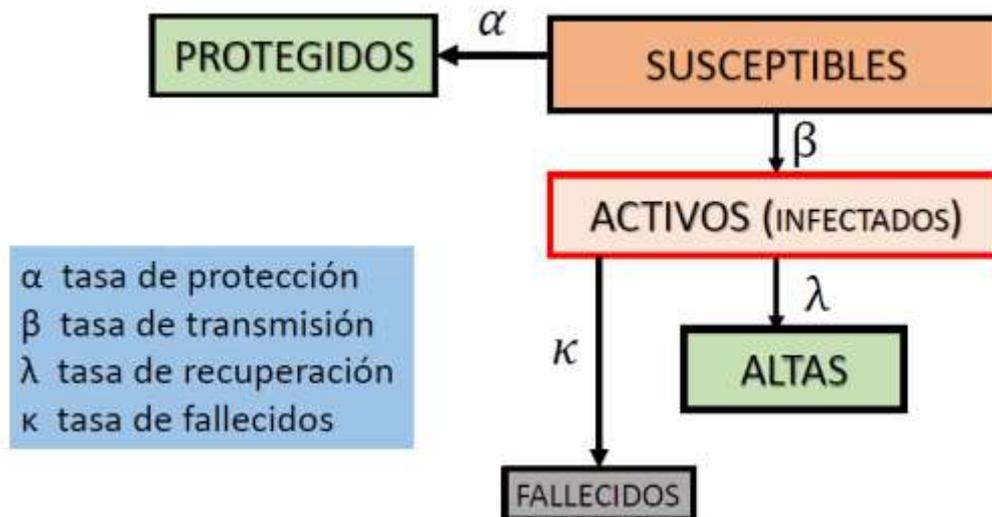


Figura 1. Esquema del modelo matemático de cinco compartimentos

Se ha dividido a la población en cinco compartimentos disjuntos, nombrados en el esquema. Al inicio se considera que toda la población se encuentra en el compartimento de SUSCEPTIBLES y de acuerdo a su comportamiento "se desplaza" en el sentido de las flechas y con una tasa de variación indicada por los parámetros de letras griegas hacia los compartimentos conectados, por ejemplo, los susceptibles solo pueden enfermar o protegerse.

Si un individuo enferma y es hospitalizado, pasa al compartimento de los ACTIVOS y tiene entonces la posibilidad de recuperarse de la enfermedad o fallecer. Pero este trabajo trata de alertar como disminuir la posibilidad de adquirir la COVID-19 y así ayudar a que la misma se extinga del país.

Por lo tanto, es necesario concentrarse en el análisis de dos parámetros  $\alpha$  y  $\beta$  que representan la tasa de protección y de transmisión de la enfermedad respectivamente, de los susceptibles hacia los compartimentos vecinos. El parámetro  $\alpha$  denota la velocidad a que las personas se protegen, cuando el valor de este parámetro es alto (próximo a uno) el compartimento de los PROTEGIDOS aumenta la cantidad de personas y el compartimento de SUSCEPTIBLES se hace más pequeño, esto hace que el virus encuentre menos candidatos para inocularse, por lo que los enfermos disminuyen hasta controlarse la enfermedad. Esto último quedará determinado por el parámetro  $\beta$ , cuando su valor es más pequeño, casi cero, disminuyen los casos contagiados, pero cuando aumenta el valor de este parámetro, la cantidad en el compartimento de los enfermos aumenta y por consiguiente también aumenta el riesgo de pasar a grave, crítico o fallecer.

A continuación, se explica como se han comportado estos parámetros durante el período de la pandemia en Cuba, a través del siguiente gráfico (Figura 2).

La gráfica superpone tres "curvas" que tienen un dominio común, éstas representan los Casos Activos reportados, y los comportamientos en el tiempo de los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$ . El eje horizontal denota los días de pandemia. Como los valores de estas tres funciones son de diferentes órdenes de magnitud, para colocarlas en un mismo gráfico y se noten las variaciones, es necesario utilizar dos escalas de ejes diferentes. El eje vertical izquierdo denota los valores que toma la cantidad de casos activos y el eje vertical derecho los valores de los parámetros adimensionales  $\alpha$  y  $\beta$ .

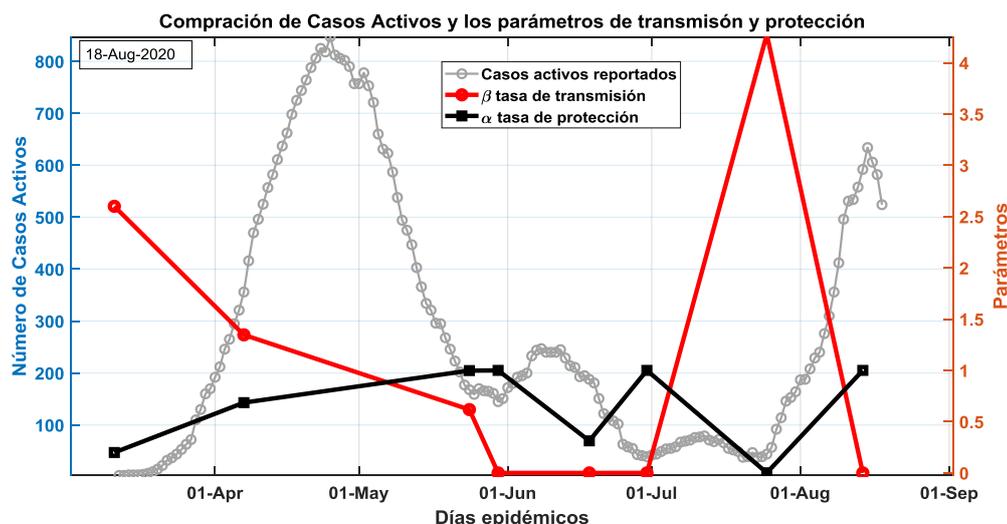


Figura 2: Comparación de los activos y los parámetros de transmisión y protección.

En la Figura 2 se puede observar que durante el período inicial de crecimiento de la curva activa, el valor del parámetro de transmisión de la enfermedad  $\beta$  se mantuvo muy alto en comparación con el valor de protección  $\alpha$ , y no fue hasta principios de mayo que esa situación cambió, llevando a una disminución acelerada de los casos activos, ese control se mantuvo hasta finales de julio. Durante el período del 3 de mayo al 27 de julio, el índice de protección era superior al de transmisión y en verdad parecía que se tenía la situación controlada, ya que solo se tenía en cuenta en la curva de activos, pero después del 27 de julio cambió esa relación y nuevamente se está en presencia de un crecimiento del número de contagiados por esta enfermedad, en este momento el valor del parámetro de transmisión nuevamente supera al de protección y es por esto que la cantidad de los confirmados aumentan.

Se nota que en el período del control de la enfermedad se observó que, el índice de transmisión era casi cero, pero el índice de protección disminuyó mucho, hasta 0.31, lo que se interpreta como una muy baja percepción del riesgo entre todos los susceptibles; ello generó eventos que felizmente pudieron controlarse. Posteriormente, en el verano, al aumentar el contacto entre las personas y descuidar las medidas de protección, el coeficiente de transmisión creció hasta 1.28 contra 0.57 el de protección, trayendo consigo el crecimiento del número de las personas enfermas por este Coronavirus, que es la situación de hoy 15 de agosto.

En la estimación que aparece en la figura 3, se observan los tres escenarios previstos y el comportamiento de los datos reportados hasta hoy (línea de puntos

negros). Ya se sobrepasaron los 600 casos activos y continúan varios eventos abiertos en el país, por lo tanto, prestarle atención a la protección y que las personas tomen conciencia de ello, es de vital importancia.

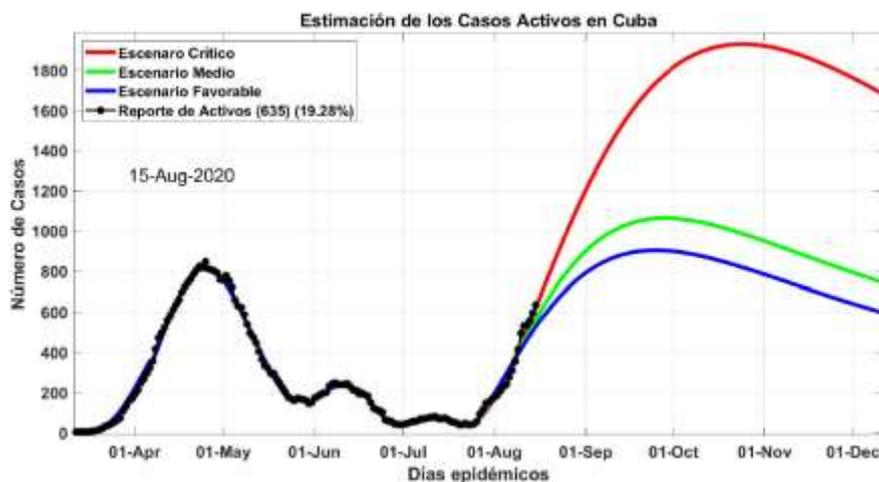


Figura 3. Comportamiento de los casos activos. Se observa un crecimiento sostenido de los confirmados.

La Figura 4, muestra los casos activos después de varios días de retroceder La Habana a la fase de transmisión limitada, provincia que mayor de casos activos presenta; se observa que los parámetros de transmisión y protección han ido cambiando de manera favorable. Si se logra mantener esta relación, la pandemia estará controlada.

El peligro aun acecha y se debe mantener el estricto cumplimiento de las medidas epidemiológicas, para que se mantenga ese cambio logrado. Estos parámetros son la fuente de la prevención, si se logra sostener esta relación en las próximas semanas, la pandemia estará controlada.

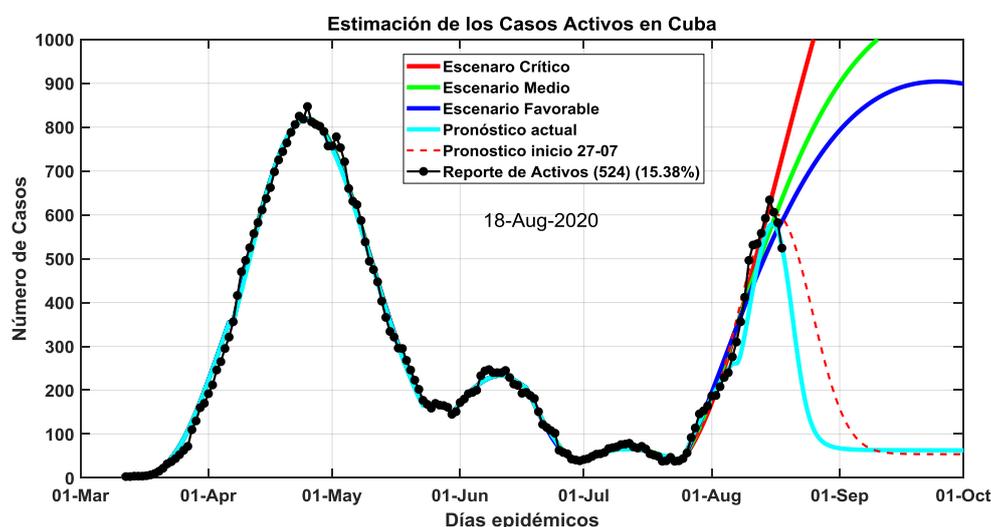


Figura 4. Comportamiento de los casos activos. Se observa que las medidas de aislamiento y protección comienzan a surgir efecto en el control de los casos y detienen el crecimiento sostenido de los confirmados de días anteriores.

De este análisis se puede llegar a tres importantes conclusiones:

- 1) Estar protegidos disminuye la posibilidad de enfermarse y garantiza un control de la pandemia.

- 2) Tener muy pocos casos confirmados o no tener, no es razón para levantar las medidas de protección y las medidas epidemiológicas deben seguir cumpliéndose por un tiempo mayor, ya que el virus aprovecha todos los descuidos para propagarse.
- 3) Lograr la transmisión cero es algo muy difícil de sostener; por tanto, se debe continuar con las medidas eficaces y sencillas de cumplir: Usar correctamente la mascarilla (nasobuco), lavarse las manos y mantener el distanciamiento físico.

Hoy la situación es desfavorable, pero puede ser revertida, ya se logró una vez y ahora se tiene mayor experiencia. Se debe actuar con responsabilidad tanto colectiva como individual, solo así se podrá garantizar una situación epidemiológica favorable y perdurable.

### Referencias Bibliográficas:

- 1) Mas Bermejo P, Vidal Ledo JM, Baldoquin Rodríguez W. Seuc Jo AH, Guinovart Díaz R, Pérez Rodríguez N, Noriega Bravo V. Organización e la investigación epidemiológica para la lucha antiepidémica contra la COVID-19 en Cuba. [Internet] Rev. INFODIR. 2020 [Consultado 11 ago 2020] Disponible en: <http://revinfodir.sld.cu/index.php/infodir/article/download/831/1103>
- 2) Organización Mundial de la Salud. Brote de enfermedad por coronavirus (COVID-19): orientaciones para el público. [Internet] OMS. 2020 [Consultado 11 ago 2020] Disponible en: <https://www.who.int/es/emergencias/diseases/novel-coronavirus-2019/advice-for-public/when-and-how-to-use-masks>
- 3) Infomed. Infecciones por Coronavirus. Medidas preventivas. [Internet] Temas de salud. INFOMED. 2020 [Consultado 11 ago 2020] Disponible en: <https://temas.sld.cu/coronavirus/coronavirus/medidas-preventivas/>
- 4) Peng, L., Yang, W., Zhang, D., Zhuge, C., & Hong, L. Epidemic analysis of COVID-19 in China by dynamical modeling [Internet] *arXiv preprint arXiv:2002.06563*. 2020 [Consultado 11 ago 2020] Disponible en: <https://arxiv.org/abs/2002.06563>
- 5) Wang W. Backward bifurcation of an epidemic model with treatment. [Internet] *Mathematical Biosci.* 2006 [Consultado 11 ago 2020];201(1-2):58-71. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mbs.2005.12.022>
- 6) Martcheva M. An Introduction to Mathematical Epidemiology. [Internet] New York: Representación Springer; 2015 [Consultado 10 jun 2020]. Disponible en: <https://www.link.springer.com/book/10.1007/978-1-4899-7612-3>
- 7) Britton T, Pardoux E. Stochastic Epidemic Models with Inference. [Internet] Switzerland: Representación Springer; 2019. [acceso 10/06/2020]. Disponible en: <https://www.link.springer.com/book/10.1007%2F978-3-030-30900-8>
- 8) Brauer F, Castillo-Chavez C, Feng Z. Mathematical Models in Epidemiology. [Internet] New York: Representación Springer; 2020. doi: <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-9828-9>
- 9) Liu M, Cao J, Liang J, Chen MJ. Epidemic-logistics Modeling: A New Perspective on Operations Research. [Internet] Singapore: Representación Springer; 2020. doi: <https://doi.org/10.1007/978-981-13-9353-2>

**Conflictos de intereses:** Los autores declaran que no existen conflictos de intereses

**Contribución de los autores:**

DrC Raúl Guinovart Díaz. Ideas, formulación de los objetivos, análisis, desarrollo y redacción del trabajo

Wilfredo Morales Lezca, Isidro Abelló Ugalde y María J. Vidal Ledo: Análisis, desarrollo del trabajo, revisión y aprobación del trabajo.

---

**Recibido:** 12/8/2020

**Aprobado:** 15/8/2020

**Contacto de correspondencia:**

DrC Raúl Guinovart Díaz. Facultad de Matemáticas y Comunicaciones.  
Universidad de La Habana, Cuba

Correo electrónico: [guino@matcom.uh.cu](mailto:guino@matcom.uh.cu)