

## Los modelos epidemiológicos y el “Humanware”

Carlos Pantoja Meléndez

Profesor del Departamento de Salud Pública de la Facultad de Medicina, UNAM

### Introducción

Si usted tira un balón de basquetbol en línea recta directo a la canasta, lo más probable es que el balón pase de abajo hacia arriba por el aro. Pero si usted lo tira de tal forma que el balón realice una parábola, tiene mayor probabilidad de que el balón, al iniciar el descenso, logre entrar por arriba del aro.

Cuando realizó el tiro en línea recta, usted no logró anotar el punto, pero cuando usó una parábola acertó. En este caso el tiro en línea recta no sirvió. Sin embargo, si usted lanza un misil con la intención de derribar un avión, usted necesitará ajustar el ángulo para poder interceptar al avión prediciendo en donde estaría, y lanzar el misil en línea recta para alcanzar su objetivo.

Si bien los ejemplos anteriores deben ser entendidos con otras variables, como la fuerza de gravedad, la aceleración, el viento, la densidad, etc., son buenos ejemplos de cuándo utilizar un modelo u otro de predicción.

Ningún modelo es perfecto, pero a su vez todos los modelos son coherentes con los fundamentos matemáticos que los sustentan; por lo que elegir el modelo de acuerdo al objetivo que se plantea, es la verdadera explicación de su acierto o fallo. En otras palabras, el modelo lineal no era el correcto para encestar el balón, pero sí para derribar el avión. De acuerdo a los físicos los modelos no fallan, sino que la falla es atribuible a quien seleccionó el modelo inadecuado para predecir un evento.

Lo anterior sería solo parte de una discusión académica (que paradójicamente es la que guía este escrito), si no fuera porque en el actual contexto de la COVID-19 la predicción es la base para la toma de decisiones, las cuales implican vidas y afectan a la economía, lo que a su vez afectará también la vida de toda sociedad en su conjunto.

Apenas iniciada la pandemia en México, aparecieron varios modelos que vaticinaban escenarios que no se cumplieron. Uno de ellos, el modelo predictivo de Gauss postulaba que, en el mejor de los escenarios, para el 25 de marzo habría entre ocho y 17 mil casos, cuando en México en realidad sólo se habían registrado 405 casos.<sup>1</sup>

Otros modelos que tomaban en cuenta los días transcurridos para la duplicación de los casos, estimaban para el 16 de marzo entre 3,400 y 7,800 casos; sin embargo, en esa fecha había únicamente 82 casos en México.<sup>2</sup>

Otros prefirieron estimar el pico de la pandemia prediciéndolo para finales del mes de marzo de 2020.<sup>3</sup> Otros, para mediados de abril, y actualmente entre el 6 y 13 de mayo de 2020.<sup>4</sup> Y finalmente, otros modelos más recientes han pronosticado que el fin de la epidemia en México (con un 97% de confianza) llegará el 10 de junio, valor que ha venido modificándose semanalmente.<sup>5</sup>

Se podría seguir enumerando otros modelos, pero vale la pena hacer un par de reflexiones. La primera, si con base en esos modelajes se hubieran decidido las medidas de atención, ya habría ocurrido un desastre. La segunda, ¿por qué ha faltado precisión en los modelos?, o dicho de otro modo, ¿por qué se tienen que ajustar las predicciones cada semana, como ha ocurrido en diversos modelos.

Una exposición de los requerimientos de cada modelo tomaría un espacio mucho más amplio e interactivo de lo que disponemos; sin embargo, es posible hacernos las preguntas que nos permitan conocer en qué se basan los modelos que hemos mencionado.

Una pregunta básica: ¿puede haber un número de casos de alguna enfermedad que tienda al infinito? La respuesta es obvia, no. Las poblaciones tienen un número limitado de personas susceptibles de enfermar.

Además, cuando las poblaciones tienen un número considerable de recuperados, terminan haciendo el efecto de una barrera de grupo, motivo por el cual jamás se podrá enfermar toda la población. Entonces ¿a qué se hace referencia cuando se habla de un crecimiento exponencial? Pareciera que el modelo solo considera un número.

Aun suponiendo una exposición común, cada individuo presentará signos y síntomas de acuerdo a su capacidad de lidiar con la enfermedad; entonces ¿por qué se necesita saber cada cuando se duplica el número de casos? Esta duplicación, que implica el aumento en la velocidad de presentación de casos, ¿dependerá del número de susceptibles y de los enfermos que puedan transmitir la enfermedad a estos susceptibles?

Una epidemia, tiende a comportarse semejante a una campana de Gauss, pero no hay que olvidar que la enfermedad no se distribuye aleatoriamente, sino que sigue un patrón de riesgo (en la actual epidemia, por ejemplo, hay un mayor riesgo de morir en las personas mayores de 65 años respecto a los niños).

Pero una epidemia a nivel nacional como la actual, está conformada por una diversidad de brotes, cada uno comportándose de acuerdo a la susceptibilidad de cada población, por lo que es común observar varios ascensos y descensos de la epidemia. Si sabemos esto, ¿por qué se espera que se comporte como una curva normal, como si se tratara de una fuente común, un lugar común y con el mismo número de personas?

Hasta aquí, se han estado utilizado tres términos de forma consistente, “*Susceptibles*”, “*Enfermos*” y “*Recuperados*”. Estos elementos, tomados en conjunto, conforman un modelo.

Este modelo de enfermedad fue descrito Leavell y Clark (1965) e incluye a tres grupos de personas:

- Las personas *sanas* que se encuentran en un periodo prepatogénico-
- Las personas *infectadas*, quienes se encuentran en el periodo patogénico que pueden o no ser sintomáticos, pero tienen capacidad de transmitir (donde se encuentran los *Enfermos*), y también aquellos que están en el periodo post-patogénico.

- Las personas *Recuperadas*, que son aquellas que ya no tienen capacidad de transmitir la enfermedad (también considera a los fallecidos, dado que ya no tienen la capacidad de contagiar).<sup>6</sup>

Entonces, sabemos que la enfermedad es una transición de la salud a la enfermedad, y de la enfermedad a la recuperación. ¿Parece simple no es así?

Hagamos un ejercicio de predicción juntos:

Si se sabe que en un lugar hay **100 personas sanas** y que cada día **enferman 10 personas**, pero a la vez se **recuperan 5** cada día. Al día siguiente habrá **90 sanos**, 5 enfermos y 5 recuperados. Al segundo día habrá, 80 personas sanas, 10 enfermos y 10 recuperados. ¿Parece obvio?

Pregunta 1: ¿Cuáles serán los números al tercer día si el flujo continúa igual?

Sanos = \_\_\_\_\_

Enfermos = \_\_\_\_\_

Recuperados = \_\_\_\_\_

Ahora suponga que, en el segundo día, usted evita que se enfermen 10 personas y cura a otras 5, además de los que se recuperan por sí mismos.

Pregunta 2: ¿Cuántos días tardará en dejar de haber enfermos (que son los que contagian a los sanos)?

Si en la pregunta 1, contestó 70 sanos, 15 enfermos y 15 recuperados, usted acaba de entender el Modelo SIR de predicción de *Sano*, *Enfermo* y *Recuperado*, también conocido como de *Susceptibles*, *Infectados* y *Retirados* del sistema, más conocido por sus siglas en inglés como SIR (Susceptible-Infected-Removed).<sup>7</sup> Este modelo asume además que, si pudo predecir el tercer día, podrá predecir el cuarto, quinto o más días.

Si la respuesta a la segunda pregunta fue “un día”, usted acaba de resolver el concepto de  $R_0$ , el cual muestra el número de replicación, es decir, describe la velocidad con que enferman las personas sanas, versus los enfermos que se recuperan en un lugar (universo).<sup>8</sup>

Ahora se entiende que el modelo que mejor predice una epidemia es el Modelo SIR y lo hace porque coincide con el modelo de enfermedad. Por ello, es uno de los modelos más precisos para predecir cómo se va a comportar la dinámica de la epidemia y el efecto que tienen las intervenciones.

Debido a las razones expuestas, el Departamento de Salud Pública de la Facultad de Medicina lo usa para dar seguimiento a la actual epidemia de COVID-19 en México. Es por eso que más importante que los modelos matemáticos y el software sofisticado para predecir la pandemia, lo medular es entender cuál es el contexto en donde se hacen cálculos y predicciones, es decir, lo importante es el "Humanware".

Finalmente, es importante comentar que aunque el modelo SIR es el más popular, existen otros modelos que asumen que existe un estado más, la *incubación*, como lo hace el modelo SEIR por ejemplo, pero lo hace bajo los mismos principios.

Respuesta a pregunta 2:

Al segundo día, hay 80 susceptibles (sanos), 10 infectados y 10 recuperados.

Dado que usted evitó ese día que enfermaran 10 personas, ya no hay nuevos enfermos. 5 enfermos se recuperan al día y usted logra sanar a otros 5, entonces  $5 + 5 = 10$  recuperados en total, menos los 10 infectados que habían, da un valor = 0 en un día.

## Referencias

1. Grillonautas. Del 20 al 24 de marzo serán los días críticos de contagio de #Coronavirus en México: UDG. You Tube. 20 de marzo, 2020. <https://www.youtube.com/watch?v=Q9ERSchvN2k>
2. Santillán M. Evolución de la epidemia de coronavirus en México en tiempo real. Avance y Perspectiva (CINVESTAV). 17 de marzo, 2020. <https://avanceyperspectiva.cinvestav.mx/evolucion-de-la-epidemia-de-coronavirus-en-mexico-en-tiempo-real/>
3. Páramo O, Medina F. Modelos matemáticos estiman brote infeccioso de coronavirus en México entre el 20 y 30 de marzo. UNAM Global. 11 de marzo, 2020. <http://www.unamglobal.unam.mx/?p=82554>
4. González F. Según la UNAM, lo peor de la Fase 3 en México llegará entre el 6 y 13 de mayo: ¿Qué pasará con la economía? Merca 2.0. 13 de abril, 2020. <https://www.merca20.com/segun-la-unam-lo-peor-de-la-fase-3-en-mexico-llegara-entre-el-6-y-13-de-mayo-que-pasara-con-la-economia/>
5. Data Driven Innovation Lab. Predictive Monitoring of COVID-19: Updated on May 11. <https://ddi.sutd.edu.sg/2020>.
6. Leavell HR, Clark EG. Preventive medicine for the doctor in his community: an epidemiological approach. 3rd ed. ed. New York: McGraw-Hill, 1965.
7. Rodrigues H. Application of SIR epidemiological model: new trends. arxiv.org 2016(11/08). <https://arxiv.org/abs/1611.02565>
8. Para una explicación más detallada de  $R_0$ , véase: Bravo-García E, Ortiz-Pérez H. ¿Qué significa el  $R_0$ ? y su aplicación en la epidemia del COVID-19. Boletín sobre COVID-19: Salud Pública y Epidemiología 2020;1(2):8-9. <http://dsp.facmed.unam.mx/wp-content/uploads/2013/12/>

¡Ahora también ya puedes donar en línea!

**"DONA UN KIT"**  
PROTEGE A UN RESIDENTE

Dona en: [www.funam.mx](http://www.funam.mx)