

Transición explosiva por recursos limitados en control de epidemias

Santiago Lamata-Otín¹, Adriana Reyna-Lara^{1,2} y Jesús Gómez-Gardeñes^{1,2,3}

¹Departamento de Física de la Materia Condensada, Universidad de Zaragoza, E-50018 Zaragoza, España

²GOTHAM Lab-Instituto de Biocomputación y Física de Sistemas Complejos (BIFI),
Universidad de Zaragoza, E-50018 Zaragoza, España

³Centro de Ciencias Sociales Computacionales (CCSS), Universidad de Kobe, 657-8501 Kobe, Japón

La literatura sobre epidemiología ha cubierto extensamente la caracterización del umbral epidémico, donde interviene la transición entre la fase no epidémica y la fase activa. Además, durante los últimos meses, dado el contexto de pandemia global en que nos hemos encontrado, numerosas investigaciones han tratado la implementación de estrategias de detección de infectados.

Sin embargo, en la mayoría de casos no se ha considerado un límite de recursos, a pesar de que podría llevar al colapso del sistema sanitario. Aquí mostramos que las estrategias de detección limitadas pueden ocasionar una transición adicional dentro de la fase activa de la epidemia, hacia dicha situación de colapso. Además, la nueva transición puede ser de primer orden, significando que las medidas de control tomadas han sido en vano.

Partimos de un modelo compartimental *SEPIaIsDR* [1] ideado para modelizar la propagación y detección del COVID-19 como dos dinámicas markovianas competitivas en redes de contacto (N individuos). Previamente el mecanismo de rastreo consideraba solo la detección mediante aplicación móvil (P^{DCT}), y aquí se incluye también la manera manual (P^{MCT}) en función del número de contactos que recuerda el individuo detectado. Así, la probabilidad de detección por rastreo (P^{CT}) es la unión de ambas, y sigue siendo desencadenada por la detección de personas sintomáticas. Esto amplía la aplicabilidad del modelo inicial, ya que ambas estrategias de rastreo comparten comportamiento microscópico (pronta eliminación de los superpropagadores), y por tanto rol en la detección.

Nuestra manera de considerar que estas estrategias están limitadas por escasez de recursos es mediante una función puerta $g(t)$, que modula tanto la detección por síntomas (que pasa a tener directamente ese valor), como la detección por rastreo $P^{CT} \rightarrow g(t)P^{CT}$. Esta función puerta dada por la Ec. (1) pretende capturar la saturación del sistema sanitario a modo de límite inferior, y para ello se considera la población de sintomáticos $I_S(t)$ como una cantidad suficientemente representativa. De esta manera, todos los efectos de colapso observados serían aún más claros teniendo en cuenta al resto de agentes necesitados de atención sanitaria.

$$g(t) = g_0 \quad \text{si} \quad I_S(t) \leq N\theta,$$

$$g(t) = g_r + (g_0 - g_r)e^{-\lambda(I_S(t) - N\theta)} \quad \text{si} \quad I_S(t) > N\theta, \quad (1)$$

Más allá de los posibles ratio basal $g_r \leq g_0$ y limitación del flujo en ausencia de saturación $g_0 \leq 1$, la función puerta viene descrita por los parámetros de colapso θ y λ . Consideramos que los flujos hacia el compartimento de detección ocurren con normalidad mientras la población de agentes sintomáticos es menor que cierto límite de recursos θ , pero una vez sobrepasado las transiciones se ven reducidas de acuerdo a un decaimiento exponencial regulado por la constante λ , que se puede relacionar con las características del

sistema sanitario en cuanto a la optimización de recursos, además de servir como parámetro de ajuste.

El efecto en la evolución de la epidemia es que cuando se llega al límite de recursos, la población infectada crece de manera más pronunciada, tanto por el resentimiento en la propia detección como por las infecciones que siguen generando los no detectados. Esta situación apunta a que, si en algún instante se agotan los recursos, el sistema acaba con mayor fracción de la población habiendo superado la epidemia (R^∞). Es decir, parece existir otro punto crítico.

Para estudiar el efecto global de la epidemia con recursos limitados interesa conocer qué ocurre con el número total de recuperados en función de la infectividad del patógeno β_A (Fig. 1).

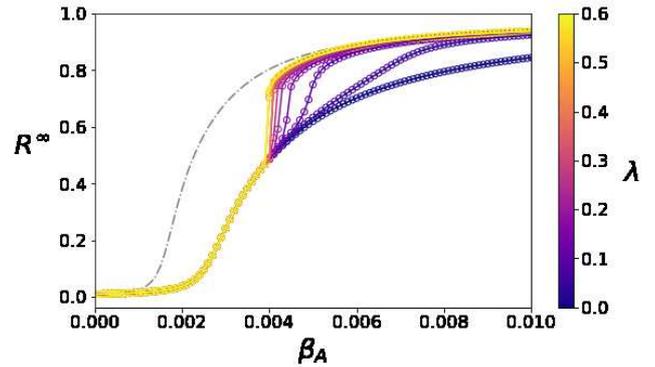


Fig. 1. Aparición de la doble transición de fase. La segunda, desencadenada por el límite de recursos, puede ser de primer orden.

Se aprecia como, además de la esperada transición en el umbral epidémico, para cierto valor β^* (determinado por el límite de recursos θ), la curva se despegan de la de total detección, saltando hacia la curva de libre propagación. Es decir, aparece una segunda transición ya dentro de la fase activa de la epidemia debida a la limitación de recursos.

Esta transición, dependiendo de las condiciones del sistema (λ), puede pasar de segundo a primer orden. Es decir, la limitación de recursos puede llevar a una transición abrupta, implicando que en el momento en que el sistema satura, todos los esfuerzos previos por contener la epidemia habrán sido en vano.

Por último, es conveniente remarcar que, a diferencia de otras transiciones explosivas, esta no surge por un retraso en el umbral epidémico, sino que está asociada a otro punto crítico diferente.

[1] A. Reyna-Lara, D. Soriano-Paños, S. Gómez, C. Granell, J.T. Matamalas, B. Steinegger, A. Arenas y J. Gómez-Gardeñes, *Virus spread versus contact tracing: Two competing contagion processes*, Phys. Rev. Research 3 (2021).