

Modelización Epidemiológica del Covid-19 para España

1 de Abril de 2020

1. Introducción

El objetivo principal de este informe es arrojar luz sobre cómo es la evolución de la infección por COVID-19 en la población española. Para ello utilizamos los datos que publica diariamente el Ministerio de Sanidad sobre la población afectada por este virus junto con un modelo poblacional que hemos construido.

El modelo utilizado consiste en el siguiente sistema de ecuaciones en diferencias:

$$\begin{aligned}
 S(t+1) &= S(t) - \beta S(t) \frac{I(t)}{P_T} - \delta S(t) + \tau Q(t), \\
 Q(t+1) &= Q(t) + \delta S(t) - \tau Q(t), \\
 L(t+1) &= L(t) + \beta S(t) \frac{I(t)}{P_T} - \gamma_1 L(t), \\
 I(t+1) &= I(t) + \gamma_1 L(t) - (\gamma_2 + \alpha_1) I(t), \\
 H(t+1) &= H(t) + \gamma_2 I(t) - (d_1 + \alpha_2 + \gamma_3) H(t), \\
 U(t+1) &= U(t) + \gamma_3 H(t) - (d_2 + \alpha_3) U(t), \\
 HU(t+1) &= HU(t) + \alpha_3 U(t) - \eta HU(t), \\
 R(t+1) &= R(t) + \alpha_1 I(t) + \alpha_2 H(t) + \eta HU(t), \\
 F(t+1) &= F(t) + d_1 H(t) + d_2 U(t),
 \end{aligned} \tag{1}$$

donde para cada instante de tiempo t , los estados del modelo son: $S(t)$, el número de individuos susceptibles en el día t ; $Q(t)$, el número de individuos en cuarentena en el día t ; $L(t)$, el número de individuos latentes en el día t ; $I(t)$, el número de individuos infecciosos en el día t ; $H(t)$, el número de individuos hospitalizados en el día t ; $U(t)$, el número de individuos en la UCI (Unidad de Cuidados Intensivos) en el día t ; $HU(t)$ denota el número de individuos en planta tras salir de la UCI en el día t ; $R(t)$, el número de individuos recuperados acumulados en el día t ; $F(t)$, el número de individuos fallecidos acumulados en el día t .

β , δ , τ , γ_1 , γ_2 , γ_3 , α_1 , α_2 , α_3 , η , d_1 y d_2 son los parámetros del modelo que determinan cómo transitan las personas entre los estados de la infección.

En la figura 1 se describen gráficamente las transiciones de personas entre estados mediante un diagrama de flujo.

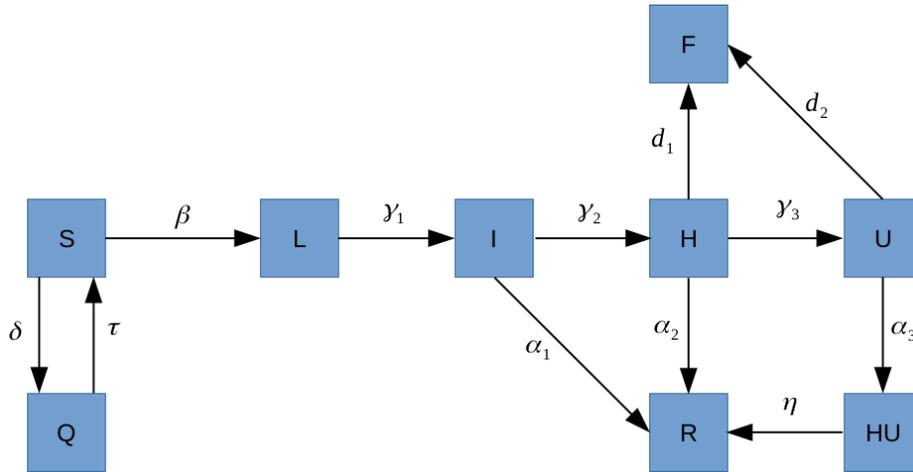


Figura 1: Diagrama de flujo del modelo.

2. Calibrado

Una vez tenemos el modelo establecido, el primer paso es calibrarlo, esto es, buscar valores de los parámetros que hagan que el modelo reproduzca lo mejor posible los datos publicados por el Ministerio. En particular, los datos de hospitalizados acumulados, los de ingresados en UCI acumulados y los fallecidos acumulados.

En la figura 2 mostramos el calibrado para hospitalizados, UCI y fallecidos acumulados. Los puntos rojos representan los datos proporcionados por el Ministerio y la línea negra los resultados que proporciona el modelo.

Como puede verse, el modelo se ajusta bastante bien. Si acaso, en la gráfica de UCI acumulados, el final no se recoge muy bien, quizás porque ya haya situaciones de saturación de la UCIs de algunos hospitales.

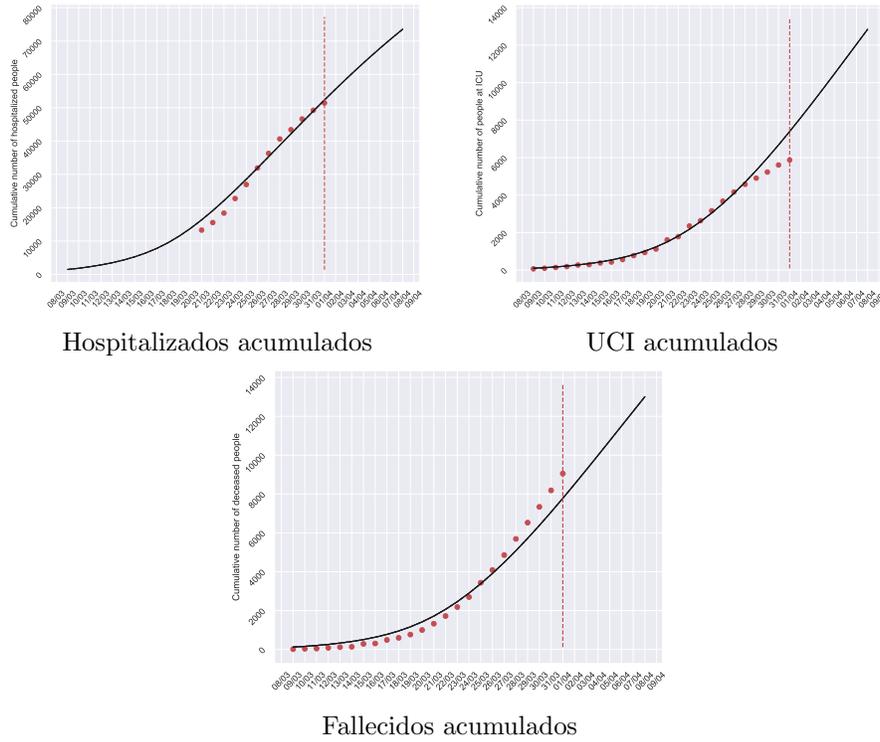


Figura 2: Calibrado del modelo.

3. Predicción a largo plazo

A la vista de los resultados en la calibración mostrados en la figura 2, si el modelo explica la situación actual fielmente, cabe esperar que nos pueda dar buenas predicciones.

En la gráfica 3 podemos ver la predicción del modelo a largo plazo (hasta el 13 de noviembre de 2020). La línea vertical indica el día de hoy.

Como se puede ver, el pico de infectados ya ha pasado y estamos sobre el de hospitalizados. Luego hay una bajada pronunciada en todas las gráficas.

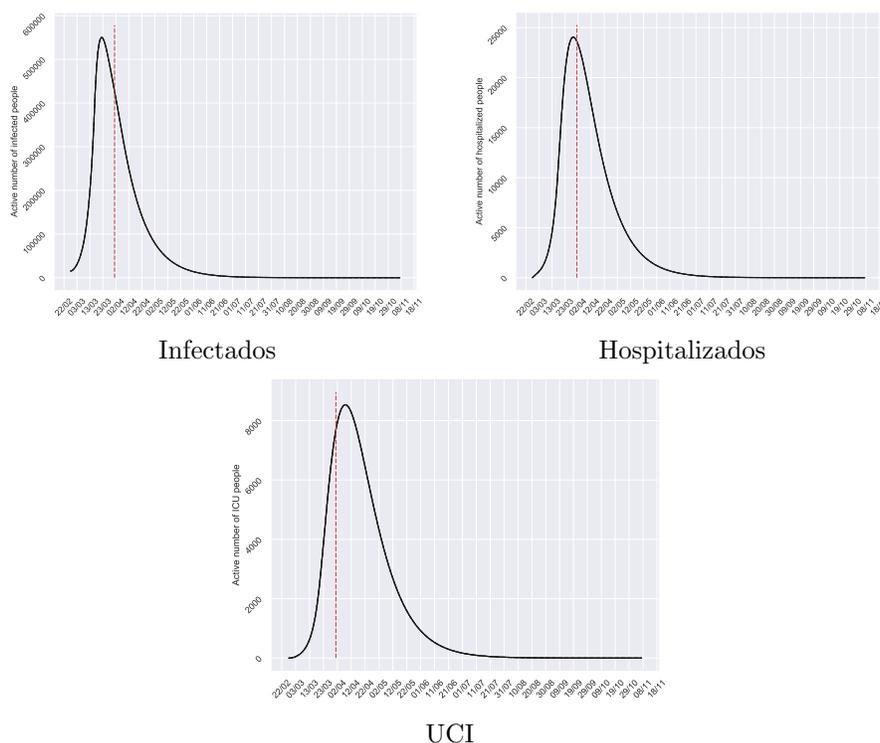


Figura 3: Predicción a largo plazo de número de infectados, hospitalizados, UCI y fallecidos. La línea roja vertical indica el día de hoy.

4. ¿Cuándo podremos salir de casa?

Uno de los aspectos que más preocupan en estos momentos, es tener una idea de cuándo vamos a poder salir de casa. A continuación, vamos a mostrar dos escenarios posibles.

Asumiremos en ambos que la salida es escalonada del 25% de las personas en cuarentena cada 7 días desde el 1 de mayo de 2020, esto es, el 1, 8, 15 y 22 de mayo. Asimismo, asumimos que seguimos tomando precauciones para evitar contagios.

La diferencia es que en un escenario que vamos a llamar desfavorable, ya sea debido a que las personas no mantienen su comportamiento de distanciamiento social o el buen tiempo no afecta a la propagación de la enfermedad. El escenario favorable, por contra, considera que el buen tiempo y el mantenimiento del distanciamiento social, que suponemos que empieza el 15 de mayo, reduce la capacidad de contagio en $1/3$.

En la figura 4 podemos ver el resultado de las simulaciones. En el caso desfa-

vorable hay un repunte importante de personas infectadas a partir del fin de la cuarentena. Mientras, en el caso favorable, la salida de la cuarentena apenas cambia la tendencia de bajada de infectados.

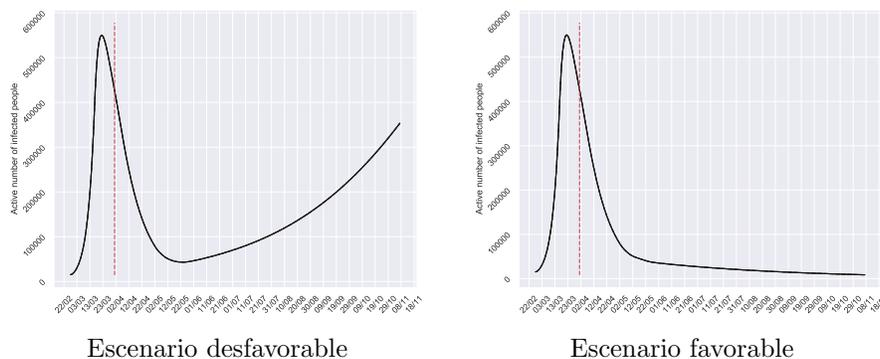


Figura 4: Simulación de escenarios futuros tras el fin de la cuarentena.

5. Comentario final

Como hemos visto, ya hemos superado el pico de infectados. Es mérito de todos nosotros, quedándonos en casa. Por otra parte, el pico de hospitalizados fue ayer (31 de marzo) y el pico de pacientes en UCI se espera para el 9 de abril.

Debemos decir que hemos tardado tanto en volver a sacar este informe porque el modelo es muy sensible a los parámetros, y como consecuencia, a pesar de los resultados que mostramos, la realidad es que hay mucha incertidumbre sobre lo que está pasando y va a pasar. Como se ha visto en los escenarios de la sección anterior, asumir un pequeño cambio atribuible al posible efecto del buen tiempo sobre la transmisión del virus produce un cambio sustancial en la predicción.

A nuestro juicio, aunque los datos que se proporcionan todos los días son de mucha utilidad, hay otros que precisan los modelos y cuyo desconocimiento son parte de la incertidumbre. Por ejemplo, sería deseable conocer el porcentaje de personas hospitalizadas que acaban en la UCI y las que se recuperan. O el porcentaje de personas que pasan por la UCI y finalmente se recuperan. O qué porcentaje de infectados acaba hospitalizándose. Esto enlaza con tener una idea del número real de infectados que hay, incluso de los asintomáticos, que todavía no se conoce.

El conocimiento de, al menos, algunos de los datos mencionados, nos permitiría reducir la incertidumbre y hacer predicciones más robustas.

A partir de ahora, seguiremos trabajando en mejorar el modelo. Todavía hay margen de mejora. Así, la publicación de estos informes será intermitente y lo realizaremos cuando podamos ofrecer una predicción más precisa o haya una mejora sustancial del modelo. Tenemos intención de publicar un informe técnico

*im*²



en donde se explica todo el proceso matemático más detalladamente.

Este informe ha sido realizado por el equipo de investigación MUNQU del Instituto Universitario de Matemática Multidisciplinar de la Universitat Politècnica de València.

Este equipo está formado por Clara Burgos Simón, Juan Carlos Cortés López, Elena López Navarro, David Martínez Rodríguez, Pablo Martínez Rodríguez, Raúl S. Julián y Rafael Jacinto Villanueva Micó.

Queremos agradecer al Dr. Javier Díez-Domingo @javierdiezd, al Dr. Rubén Moreno Palanques, a Dra. Noemí García Medina y nuestra Dra. estadística de guardia por sus sugerencias, ayuda, soporte y asesoramiento.