Metodología para determinar impacto de COVID-19 en el sistema hospitalario costarricense

Modelo SIR

Partimos de un [modelo SIR básico](#), comenzando la simulación el 1ro de marzo y terminandola 6 meses después. En esta fecha asumimos, que habían 22 infectados, valor que determinamos retroactivamente para reflejar las cifras reales de muertes y casos graves observadas hasta el 22 de marzo. Creemos que empezar con más de 1 infectado además refleja el hecho que los primeros casos que vimos en Costa Rica fueron separados y no por infección comunitaria. Como población susceptible inicial, tomamos la población de Costa Rica según el INEC (5.111.221) menos los 22 casos infectados.

Con esas condiciones iniciales simulamos la propagación del virus, utilizando una discretización en intervalos diarios las siguientes ecuaciones diferenciales:

- $S'(t) = - \frac{\beta I(t)S(t)}{N}$
- $R'(t) = \frac{\beta I(t - D)S(t - D)}{N}$
- $I'(t) = \frac{\beta}{N} [I(t)S(t) - I(t - D)S(t - D)]$

Donde S , I , R corresponden a la población susceptible, infectada, y recuperada respectivamente. N es la población de Costa Rica. D corresponde a la duración de la infección (en este caso 10 días, [según Ali Khan del University of Nebraska Medical Center](#)), y β es el número promedio de contactos por persona por tiempo. Notablemente, $R_0 = \beta D$. Aquí cabe recalcar que hemos modificado la dinámica de R . En el modelo SIR básico, $\frac{dR}{dt}$ es una función lineal de I . Sin embargo, creemos que esta suposición no refleja la realidad y termina por reducir la duración de las infecciones simuladas por debajo de su valor real. Por este motivo, elegimos modificar $\frac{dR}{dt}$ suponiendo que las recuperaciones suceden D días después de la infección (que es lo que captura la segunda ecuación arriba), suposición que se adapta mejor a la realidad. También, definimos $I(t) = 0$ para $t < 0$, que implica que $R'(t) = 0$ para $t < D$, de acuerdo a la segunda ecuación. Como condición inicial tenemos que $S(0) + I(0) + R(0) = N$. Sumando las tres ecuaciones obtenemos que $\frac{dI}{dt} + \frac{dS}{dt} + \frac{dR}{dt} = 0$, lo que implica que $S(t) + I(t) + R(t) = N$ para todo t , preservando el número total de personas.

Para generar curvas de S , I y R en los diferentes escenarios, utilizamos los siguientes valores de R_0 y por consiguiente de β :

- Escenario de inacción: R_0 se mantiene constante en su nivel base asumido de 2,4.
- Escenario de mitigación: R_0 es 2,4 previo al 15 de marzo (fecha en la que se cerraron todos los bares, discotecas y casinos, y se ordenó a los restaurantes a operar a media capacidad), y se reduce 30% a 1,7 del 16 ahí en adelante.
- Escenario de supresión: R_0 es 2,4 del 1 de marzo hasta el 14 de marzo, 1,7 del 15 de marzo al 16 de abril, y 0,96 posteriormente (reducción del 60% sobre el R_0 base).

Calculando la capacidad máxima.

Para calcular la capacidad máxima de nuestro sistema, primero tenemos que calcular el número de personas que requieren atención crítica, dentro de un escenario de infección total de la población.

Para esto, primero asumimos que solo $\frac{2}{3}$ de los infectados van a presentar síntomas (Ferguson et al.), luego utilizamos los porcentajes estimados de hospitalización de personas con síntomas (basado en Ferguson et al.) y estos los cruzamos con los números de la población costarricense (INEC, 2020), según los rangos de edad.

Luego de hacer las multiplicaciones correspondientes para cada grupo de edad, usamos los porcentajes estimados de personas hospitalizadas que requieren atención crítica (basado en Ferguson et al.) – y por tanto ventiladores – para determinar el número total de personas que va a requerir atención crítica.

Es así como obtenemos que un total de 49.186 personas requieren de una hospitalización crítica.

Por último, dividimos el total de personas que requieren atención crítica, por la población costarricense, y obtenemos que un 0,962% de la población infectada requeriría de atención crítica.

En la siguiente página adjuntamos las tablas correspondientes a los cálculos descritos.

Población costarricense según edades.

	Total	0-9	10-19	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	70 - 74	75 y más
Total Nacional	5,111,221	737,467	755,933	861,845	865,731	653,101	558,112	396,134	112,997	169,901

Datos tomado del INEC. Población proyectada para el 2020.

Estimaciones del Imperial College

Grupo de edad	% casos con síntomas que requieren hospitalización	% casos hospitalizados que requieren atención crítica
0-9	0.001	0.05
10-19	0.003	0.05
20-29	0.012	0.05
30-39	0.032	0.05
40-49	0.049	0.063
50-59	0.102	0.122
60-69	0.166	0.274
70-79	0.243	0.432
80+	0.273	0.709

Número de casos con síntomas que requieren hospitalización en Costa Rica										
	0-9	10-19	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	70 - 74	75 y más	Total
Costa Rica	491.645	1511.866	6894.760	18468.928	21334.633	37951.616	43838.829	18305.514	30921.982	179719.773

Número de casos hospitalizados que requieren atención crítica en Costa Rica										
	0-9	10-19	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	70 - 74	75 y más	Total
Costa Rica	24.582	75.593	344.738	923.446	1344.082	4630.097	12011.839	7907.982	21923.685	49186.045

Por último, habiendo determinado el porcentaje de casos que requieren atención crítica y habiendo simulado las curvas de S , I y R , calculamos el número de ventiladores utilizados cada día de los 6 meses de simulación para cada escenario. Para hacer esto asumimos, al igual que Ferguson et al., que:

- El periodo de incubación es de 5,1 días.
- El periodo entre los primeros síntomas y la hospitalización es de 5 días para los casos que lo requieren.
- Los casos que requieren atención crítica duran en promedio 10 días en cuidados intensivos (durante los cuales necesitan de un ventilador).