

COVID-19 en Cuba: Estimación del número de camas diarias que se requieren durante un período de la epidemia

COVID-19 en Cuba: Estimating the number of beds needed per day during a period of the COVID-19 outbreak

Sira M. Allende Alonso^{1*}, Gemayqzel Bouza Allende¹, William L. Sariol-Nuñez¹

Resumen En este trabajo se presenta un procedimiento para estimar la cantidad de camas que serán necesarias durante un período de la epidemia de COVID-19 en Cuba. Para ello se precisan datos como la proporción de personas que resultan positivas, entre los hospitalizados por sospecha y la proporción, entre los confirmados, de aquellos que ya estaban aislados en hospitales como sospechosos. Tomando, para cada día del período, los pronósticos de la cantidad de infectados en activo y de ellos cuántos infectados son nuevos, se obtiene el número de camas necesarias para sospechosos y para infectados. Dentro de estas últimas se determinará cuántas corresponden a camas en salas de cuidado y cuántas en unidades de terapia intensiva a partir del estudio de la evolución de los pacientes en un período de la epidemia previo al que se considera. Se muestra un ejemplo en que se ilustran estos cálculos.

Abstract The present work proposes an estimation of the number of beds needed during a certain period of the COVID-19 outbreak in Cuba. As input data the approach uses the number of active infected people per day, the number of new infections per day, the rate of patients positive to the COVID-19 over the suspicious hospitalized cases and the rate of infected people hospitalized as suspects over the set of detected infected people. Then, for each day of the period, the amount of beds needed for suspicious hospitalized cases and for infected persons is computed. Using the medical evolution of the disease in the patients before the studied period, we obtain how many beds are needed at therapy units and how many for non-special care patients. An illustrative example is presented.

Palabras Clave

estimación, logística, número de camas

Keywords

estimation, logistics, number of beds

¹Departamento de Matemática Aplicada, Universidad de La Habana, Cuba, sira.gema, wiliam.sariol@matcom.uh.cu.

*Autor para Correspondencia, Corresponding Author

Introducción

Los modelos de pronóstico elaborados para representar la transmisión de la epidemia COVID-19 prevén el número de infectados. Para garantizar la atención de los pacientes es importante disponer previamente de los insumos y personal necesarios. El sistema de salud cubano establece la hospitalización de toda persona con síntoma de COVID-19 considerada, por ello, sospechosa de haber sido contagiada por el virus. Transcurridos tres o cinco días después del inicio de los síntomas, se aplica al sospechoso la prueba diagnóstica. Si se confirma el contagio por el virus, el paciente es hospitalizado

según sea su estado (de cuidado, grave o crítico) en sala o unidades de terapia especializada. Cada uno de estos tipos de servicios tiene diferentes requerimientos de equipamiento y personal médico, según establece el reglamento de la Organización Mundial de la Salud. Por ello, es conveniente contar con un estimado del número de camas que se requieren diferenciando el lugar en que se encuentren ingresados, a saber sospechosos (se refiere al aislamiento hospitalario de personas que presentan síntomas), sala de cuidado o terapia.

Los modelos dinámicos de pronóstico, ver [1], [2], [3], ofrecen, para cada día, el número estimado de personas infectadas. Se tiene, en particular, los días en que se espera que un

mayor número de personas requiera de servicios médicos (*pico de la epidemia*). Considerando los valores que brindan los modelos de pronóstico, es importante determinar la cantidad de camas necesarias para la hospitalización diferenciada en salas de sospechosos, de cuidado y de terapia en el período crítico de la epidemia. De esta forma se podrán organizar, con anticipación, los recursos necesarios.

En la literatura se reportan trabajos sobre la aplicación de modelos matemáticos para determinar necesidades hospitalarias, ver [4], [5], [6]. En la primera referencia se muestran algunos de los problemas logísticos que, como la distribución de recursos médicos y la ubicación de servicios, se presentan ante el brote de una epidemia. Profesores de la Universidad de Navarra han desarrollado un simulador para la toma óptima de decisiones en el sistema hospitalario ante la COVID-19, como se reporta en [5]. En [6] se propone un modelo que usa como datos de entrada el tiempo en que se espera se duplique la cantidad de ingresos, los tiempos medios de estancia, la cantidad de casos hasta el día de hoy, la proporción de casos que se espera necesiten cuidados especiales, etcétera. La herramienta se puede encontrar en surfcovid19.shinyapps.io/pop_prod. La evaluación de tales parámetros puede resultar difícil dado lo reciente de esta enfermedad, las posibles diferencias en su comportamiento de un país a otro y las peculiaridades de los protocolos de atención e intervención en cada país.

El objetivo de este trabajo es brindar una estimación del número de camas que se ocuparían en los distintos tipos de salas de acuerdo al protocolo de actuación que se sigue en Cuba. Se asume se dispone el estado diario de un cierto número de pacientes durante un determinado período previo a la etapa que se desea analizar. Los modelos de pronóstico, brindarán la cantidad de nuevos enfermos que se detectarán en cada día de dicha etapa. La estimación de las camas necesarias en salas de sospechosos, de cuidado y terapia requiere solo de estos dos datos y de la cantidad de días a estimar.

En la sección siguiente se introducen las notaciones necesarias y la modelación matemática del problema. En sendas subsecciones se discuten la estimación del número de camas requeridas para la hospitalización de sospechosos y de confirmados, estas últimas, según el tipo de servicio que requieran. Luego se ilustra la aplicación de la propuesta en un ejemplo.

Cabe destacar que los resultados dependen fuertemente de la precisión de los pronósticos utilizados. Se consideran los modelos de predicción propuestos en [1], [2] para estimar la cantidad de camas necesarias para sospechosos. El cálculo del número de camas de cada tipo para pacientes confirmados, se ilustra mediante la construcción de la trayectoria hospitalaria de 50 pacientes ficticios.

1. Modelo matemático

1.1 Los datos:

Se asume un modelo de pronóstico con la información sobre los infectados activos que se pronostican en cada día t de epidemia ($I(t)$) y los nuevos infectados que se detectan cada día ($IN(t)$). Se requiere la información sobre los pacientes

confirmados en N días de epidemia anteriores al período de interés. De estos pacientes es necesario conocer la fecha de ingreso, la fecha en que se confirma como contagiado y su estado en cada día de su estadía en el hospital, es decir, su evolución. Los posibles estados en un día t son:

- Sano: persona cuya fecha de primeros síntomas o ingreso es posterior al día t .
- Aislado: persona aislada como sospechoso en un hospital.
- Cuidado: persona ya confirmada con evolución valorada como de cuidado.
- En Terapia: persona cuya prueba dio positiva y se encuentra en salas de terapia.
- Alta: persona con alta médica.
- Fallecido.

Se diferencia las camas según corresponda a persona sospechosa, paciente de cuidado o en terapia. Para representar la salida del sistema se incluyen como salas artificiales *alta* y *fallecidos*. La variable a estudiar es:

$z_k(t)$: número de pacientes en sala k el día t ,

$$k = 2, \dots, 5, t = N + 1, \dots, N + M.$$

1.2 Estimación del número de personas ingresadas como sospechosas el día t

Se asume que el test se aplica a la persona sospechosa y se tiene el resultado en el día $\Delta \in \{5, 6, 7\}$ después de su ingreso. Si resulta positivo, la persona pasa a ser paciente y queda disponible su cama en la clase *aislado sospechoso*, pasa a la sala de confirmados y genera un conjunto de nuevos sospechosos: los contactos que declara, de los cuales una parte queda hospitalizada de acuerdo a los criterios establecidos. Si resulta negativo, asumimos que la persona queda en su domicilio bajo vigilancia.

Para estimar el número de pacientes ingresados como sospechosos en el día t , $t > N$, será necesario un estudio estadístico de los siguientes datos en los días $1, \dots, N$:

- El tiempo en que se realiza a cada paciente el test para confirmarlo o no como caso positivo.
- La cantidad de pacientes ingresados como sospechosos que resultó positivo.
- El número de contactos de cada paciente confirmado que se aíslan.
- El número de ingresos en condición de sospechosos.

Con tales datos se podría estimar la dinámica de los ingresos en las salas de sospechosos. Nótese que se reporta diariamente el número de casos estudiados. Este reporte incluye las pruebas realizadas a personas en riesgo que no ocupan camas en

centros hospitalarios (personas en hogares de ancianos o bajo vigilancia médica en su domicilio, por ejemplo). A partir de este análisis, se propone realizar la estimación del número de camas usando las siguientes informaciones:

- Δ : tiempo estimado en que se realiza el test para confirmar o no un caso positivo.
- p : porciento de confirmados que estaban hospitalizados como sospechosos con respecto al total de confirmados.
- δ : porciento de confirmados que estaban hospitalizados como sospechosos con respecto al total de hospitalizados en la sala de sospechosos.
- $IN(t)$: estimación de la cantidad de nuevos infectados por día.

A continuación se ilustra una forma de tomar los parámetros tomando como referencia los primeros cuarenta días de evolución de la epidemia en Cuba.

En cuanto al parámetro Δ , los dos escenarios extremos son:

Optimista la aplicación del test en el tercer día de hospitalización y su procesamiento en 24 horas.

Pesimista la aplicación del test en el quinto día de hospitalización y su procesamiento en 72 horas.

El primer escenario, a diferencia del segundo ofrece un menor tiempo de hospitalización y por tanto se requerirá un menor número de camas.

Se ha informado que alrededor de un 4% de las pruebas son positivas. Este número debe variar si se toma el porciento de pruebas positivas entre personas hospitalizadas como sospechosas y no en la población en general. Sin embargo, brinda un posible valor de δ . Teniendo en cuenta que alrededor de un 45% son pacientes asintomáticos en el momento de la prueba, es de esperar que no estarían en su mayoría hospitalizados. Puede tomarse 55% como una aproximación de p

Con esos datos e hipótesis operativas, resulta claro que de las personas que ingresan el día t como sospechosos, denotado como $P(t)$, una δ parte resulta confirmado. Como el $p\%$ de $IN(t + \Delta)$ proviene de esa sala resulta que

$$P(t)\delta = IN(t + \Delta)p.$$

Teniendo en cuenta la necesidad de permanecer en la sala de sospechosos Δ días, las personas que ingresan hoy hay que tenerlas en cuenta los días $t + \sigma$, $\sigma = 0, \dots, \Delta - 1$. De ahí que

$$z_2(t) = \sum_{\sigma=0}^{\Delta-1} P(t + \sigma).$$

Luego la cantidad de camas ocupadas que se pronostica es:

$$z_2(t) = \frac{p}{\delta} \sum_{\sigma=1}^{\Delta} IN(t + \sigma).$$

1.3 Estimación del número de camas necesarias para pacientes confirmados, según el estado de los mismos.

Para estimar la cantidad de camas necesarias en salas de cuidado y de terapia, se ha de tener en cuenta cuántos nuevos ingresos, traslados y altas se esperan por día. Para cada día, el número de infectados activos es un resultado directo de los modelos de pronóstico. Teniendo en cuenta los estados relacionados con personas ya infectadas (cuidado, terapia, alta y fallecido) y la evolución de la enfermedad, son posibles las siguientes transiciones.

- Estar de cuidado y ser dados de alta.
- Estar de cuidado y pasar a terapia.
- Permanecer en el estado de cuidado.
- Estar en terapia y fallecer.
- Estar en terapia y pasar a cuidado.
- Permanecer en el estado de terapia.

Se asume que una persona que fallece necesitó previamente de tratamientos especiales. Luego, es de esperar que precise pasar unas horas en una sala de terapia. De ahí que el día de su muerte se considera se encuentra ubicado en este servicio. Así mismo, un paciente de terapia, luego de pasar la gravedad, se supone vuelve a la sala, con lo cual no se recibiría el alta desde terapia.

El tiempo que un paciente lleva en un estado k tiene una influencia en su posible cambio al estado k' . Es por esto que, en cada día t de la epidemia, es importante saber cuántos pacientes llevan 1, 2, ... D días consecutivos en la sala en que se encuentra y pronosticar cuántos de ellos cambian al estado k' . Para ello una cierta proporción del total de personas que llevan d días en el estado k cambiará al estado k' . Esta proporción se interpreta como la probabilidad de que un paciente cambie su estado de k a k' luego de d días. Para poder estimar este valor se hace necesario recopilar la información de cómo se ha comportado la evolución de la enfermedad en un conjunto de pacientes en los días previos al período que se quiere analizar.

Con este objetivo, primero se re-organizó la información recibida con el formato que se muestra en la Tabla 1. A cada paciente le corresponde una fila. Su código puede ser un identificador encriptado. FIS, FI y FC corresponden a la fecha de inicio de síntomas, de ingreso y de confirmación respectivamente. El campo Evolución día t corresponde al estado del paciente en el día t de la epidemia. En cada día se colocará uno y solo uno de los siguientes estados:

- Sano: en los días que sean anteriores a su fecha de ingreso en cuidado.
- De cuidado.
- En Terapia.

Tabla 1. Datos

Código	FIS	FI	FC	Evolución día 1	Evolución día 2	...	Evolución día N	FS
Paciente 1								
Paciente 2								
⋮								

- Alta
- Fallecido.

El campo FS corresponde a la fecha de salida del hospital ya sea por alta o por fallecimiento.

Se define, para $d \leq N$:

$x_{d,k}(t)$: número de personas que el día t de la epidemia llevan d días seguidos ingresados en estado k .

Para ilustrar su definición, sea un paciente que entra a sala de cuidado el día $t = 4$ de la epidemia, permanece en ella por dos días, pasa por una estadia de tres días en terapia y finalmente se traslada nuevamente a sala. Tributa a las variables $x_{1,cuidado}(4)$, $x_{2,cuidado}(5)$, $x_{1,terapia}(6)$, $x_{2,terapia}(7)$, $x_{1,terapia}(8)$, $x_{1,cuidado}(9)$.

Las probabilidades de transición se denotan como:

$\pi_{d,k,k'}$: proporción de personas que, luego de $d - 1$ días seguidos en estado k , al día siguiente pasan al estado k' , respecto al número de personas que por al menos $d - 1$ días consecutivos están en el estado k .

En las personas que, luego de $d - 1$ días seguidos en estado cuidado en el día d reciben alta, se incluyen a todos los pacientes en esta situación independientemente de en que día t de la epidemia esto haya sucedido y si los $d - 1$ días de cuidado ocurrieron luego de que el individuo en cuestión haya pasado por otros servicios. Esta cantidad corresponde al numerador de la proporción. El denominador es la cantidad de pacientes que han permanecido al menos $d - 1$ días en el estado de cuidado. En este hecho no influye el momento de inicio del período ni los cambios de estado que pudo tener con anterioridad.

El total de camas necesarias para el estado k en el día t de la epidemia es:

$$z_k(t) = \sum_d x_{d,k}(t),$$

donde:

$$\begin{aligned} x_{d,k}(t) &= x_{d-1,k}(t-1) - \sum_{k'} \pi_{d,k,k'} x_{d-1,k}(t-1), \\ & \quad d > 1. \\ x_{1k}(t) &= IN(t)\pi_{0,sano,k} + \sum_{k'} \pi_{d,k',k} x_{d-1,k'}(t-1), \\ & \quad k = \text{cuidado, terapia}. \end{aligned} \tag{1}$$

Acá $\pi_{0,sano,k}$ representa la proporción de nuevos infectados que ingresan en el estado k . Dado que todos se hospitalizan $\pi_{0,sano,cuidado} + \pi_{0,sano,terapia} = 1$.

El número total de camas necesarias en el día t de la epidemia es

$$NC(t) = \sum_k z_k(t).$$

Los cálculos asociados a este procedimiento se desarrollaron en una tabla EXCEL, por ser un ambiente familiar para potenciales usuarios. Para inicializar la fórmula recurrente (1), es necesario calcular los valores $x_{d,k}(40)$ y $\pi_{d,k,k'}$. Se parte de la información recopilada en la Tabla 1. Esta fue el resultado de depurar, completar y reorganizar los datos brindados sobre la evolución hospitalaria de 1125 pacientes durante los primeros 40 días de la epidemia¹. Nótese que los valores $x_{d,k}(t)$ y el numerador y el denominador de $\pi_{d,k,k'}$ se calculan recorriendo y contabilizando los datos necesarios en la Tabla 1.

El decisor debe introducir los siguientes datos:

- \mathcal{D} : la cantidad de días a partir del día 41 de la epidemia en que se quiere pronosticar la cantidad de camas.
- $IN(41), \dots, IN(41 + \mathcal{D})$: los valores de nuevos infectados que se espera haya en cada uno de esos días.

Partiendo de $(x_{1,cuidado}(40), x_{2,cuidado}(40), \dots, x_{D,cuidado}(40), x_{1,terapia}(40), x_{2,terapia}(40), \dots, x_{D,terapia}(40))$, usando la relación de recurrencia (1) y la cantidad pronosticada de nuevos contagios $IN(41)$, se halla $(x_{1,cuidado}(41), x_{2,cuidado}(41), \dots, x_{D,cuidado}(41), x_{1,terapia}(41), x_{2,terapia}(41), \dots, x_{D,terapia}(41))$ y así, sucesivamente, se halla el resto de los valores.

Como salida se tendrá una tabla que, para cada día, $t = 41, \dots, 41 + \mathcal{D}$, muestra la cantidad de camas necesarias en salas de cuidado y en unidades de terapia. Se da la opción de acceder a una tabla que contiene el vector $(x_{1,cuidado}(t), x_{2,cuidado}(t), \dots, x_{D,cuidado}(t), x_{1,terapia}(t), x_{2,terapia}(t), \dots, x_{D,terapia}(t))$, para cada uno de los \mathcal{D} días a pronosticar.

Dado que las cantidades subsiguientes no tienen que ser enteras, en la respuesta estas se redondean por exceso, para evitar que, por una subestimación de la cantidad de casos, no haya recursos planificados.

2. Ejemplos ilustrativos

En esta parte del trabajo se ilustra cómo se realizan los cálculos. Para estimar la cantidad de sospechosos e infectados ingresados se utilizan las estimaciones que, de la cantidad de los infectados ingresados y de los nuevos confirmados, ofrecen cuatro modelos de pronóstico. Estos modelos son

¹El día 40 de la epidemia en Cuba corresponde al 19 de abril de 2020

- QLG: ajuste del error mínimo cuadrático de aproximar la cantidad de infectados activos durante los primeros 24 días de la epidemia, por la curva resultante de adicionar el efecto de los tratamientos propuesto por [2] al modelo presentado en [3]. Los parámetros obtenidos fueron la tasa de exposición luego del contacto entre susceptibles e infectados igual a 1; 0,0276 como probabilidad de no desarrollar el virus luego de una exposición al virus; 0,0527, la recuperación de los infectados relacionada con el tratamiento y 6/233 como tasa de personas que se aíslan del grupo de susceptible y de enfermos que fallecen.
- La adaptación de los modelos SEIR propuesta en [1] con $\alpha = .84, .775, .64$, que mide el impacto gubernamental, denotados respectivamente como A.84, A.775 y A.64, respectivamente. Esta propuesta subdivide la clase de infectados en los hospitalizados, los asintomáticos y los sintomáticos no detectados.

Primeramente se analizó la diferencia entre los valores pronosticados y los valores reales para la cantidad de nuevos infectados, IN y los activos, I . Se obtuvieron los resultados que se muestran en la Tabla 2 donde se observa que el modelo QLG muestra las menores diferencias.

En el siguiente ejemplo se ilustra el número de camas para hospitalizados (sospechosos e infectados) necesarias en los días pronosticados, considerando los modelos anteriores.

Ejemplo 1 Estimación del número de camas para infectados, para sospechosos y en total. $\delta=4\%$, $p=55\%$.

A partir de la estimación brindada por los modelos antes descritos, en la Figura 1 se muestran para ellos los valores de $I(t)$, que corresponde a la cantidad de camas de infectados. La cantidad de sospechosos y el total de camas en el tiempo, $z_2(t)$ y $I(t) + z_2(t)$, se grafican en las Figuras 2 y 3, respectivamente.

El modelo QLG pronostica que el pico de la epidemia tendrá lugar alrededor del día 45 con menos de 950 infectados activos. En cuanto a las camas de sospechosos, su máximo se alcanza algunos días antes con alrededor de 1500 camas. En total se espera un máximo de 2500 unidades ocupadas. La peor situación aparece con el modelo A.64. En este caso el máximo de infectados activos se obtiene después, cerca del día 60 de la epidemia. □

A continuación se ilustra cómo estimar el número de personas infectadas que están en la sala de cuidado y de terapia, diferenciando entre los estados grave y crítico. También son posibles transiciones como de cuidado a fallecido o de terapia a alta. Esto prueba que, de tener los datos correspondientes, se puede extender este procedimiento al caso en que se tengan más estados. Aunque en la aplicación se calculan las probabilidades con respecto a los primeros 40 días, acá se toman las correspondientes al ejemplo tomado.

Ejemplo 2 Se generan los estados diarios de 50 pacientes ficticios en los primeros 14 días de abril. Se asume que en

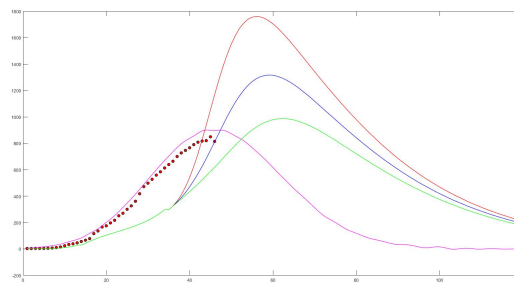


Figura 1. Cantidad de infectados en activo. Valor real \cdot , QLG, A.84, A.775, A.64.

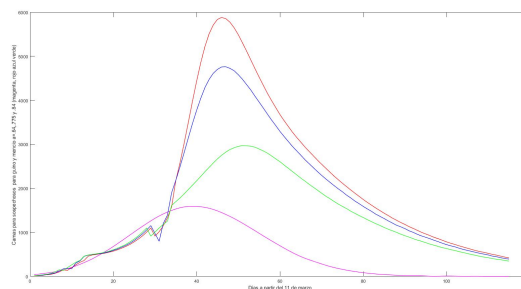


Figura 2. Cantidad de camas para sospechosos hospitalizados QLG, A.84, A.775, A.64

algunos casos, la fecha de confirmación de la infección es anterior al primer día analizado y que todos los pacientes inician su período infeccioso en estado de cuidado. Los datos referentes a los pacientes que no han transitado por terapias ni han fallecido, se muestran en las Tablas 3 y 4.

En cuanto a personas que han estado en terapias o han fallecido, se tiene que hay un paciente con cada una de las siguientes historias clínicas:

- 11 días de cuidado, 9 crítico y alta.
- 6 días de cuidado, 9 crítico y alta.
- 10 días de cuidado y fallece.
- 9 días de cuidado y fallece.
- 7 días de cuidado, 6 crítico y fallece.
- 4 días de cuidado, 7 grave y 6 crítico.

La situación en el día 14 de abril se describe en las Tablas 5 y 6.

Los resultados correspondientes al día 15 de abril, se encuentran en las Tablas 7, 8 y 9.

3. Conclusiones y observaciones finales

En este trabajo se propone un modelo para pronosticar el número de camas requeridas, diferenciando los tipos de servicios según el estado del paciente. El modelo representa el

Tabla 2. Estadísticos

Modelos	IN-QL	I-QL	IN-A.84	I-A.84	IN-A.775	I-A.775	I-A.64	I-A.64
Media	4.79	38.35	7.17	153.26	14.39	-136.07	22.117	-103.13
Desviación	11.47	23.33	21.39	135.25	35.797	127.36	57.97	151.42
mediana	1.72	33.8	1	-122.5	1	97.5	0	-71.5
Cuartil 1	-1.52	28.79	-3	-2.98	-3	-374.5	-4.5	-240.25
Cuartil 3	11.47	58.41	13	-18.5	17.25	-16.25	17.25	-4.57
Min	-23.42	2.85	-40	-349	-40	-345	-48	-342
Max	37.52	83.64	78	0	133	0	217	354

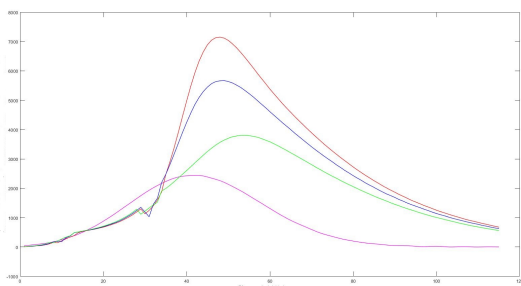


Figura 3. Cantidad total de camas QLG, A.84, A.775, A.64

Tabla 3. Cantidad de pacientes que solo han transitado por estado de cuidado y aún no han salido de alta y sus días de estadía.

Días en <i>de cuidado</i>	15	16	17	18
Cantidad de pacientes	3	10	4	0

protocolo seguido en Cuba para el tratamiento de los pacientes. Ha sido concebido en correspondencia con la información disponible.

Re-organizando los datos recibidos de la forma propuesta en la Tabla 1, se puede obtener la siguiente información fácilmente:

Tabla 4. Cantidad de pacientes que solo han transitado por estado de cuidado y están de alta luego de d días en cuidado

Días en <i>de cuidado</i>	11	12	13	14	15	16	17	19
Cantidad de pacientes	6	1	2	2	9	6	0	1

Tabla 5. Cantidad de camas en estado de cuidado en el día 14 de abril

Días en <i>de cuidado</i>	15	16	17	18	Total
Cantidad de pacientes día t	3	10	4	0	17

Tabla 6. Cantidad de camas en estado grave y crítico en el día 14 de abril

En estado grave no se encuentra ningún paciente.

Días en estado crítico	6
Cantidad de pacientes día 14	1

Tabla 7. Probabilidades a utilizar para transiciones desde el estado de cuidado.

Días de estadía	16	17	18
Probabilidad de permanecer en cuidado	33/35	21/30	5/11
Probabilidad de irse de alta	2/35	9/30	6/11

Tabla 8. Pacientes y altas en estado de cuidado, día 15 de abril

Cantidad de / día	16	17	18	Total
pacientes día 15	3	7	2	12
altas en día 15	0	3	2	5

Tabla 9. Resultados, día 15 de abril, estado crítico

Probabilidad de permanecer en esta sala	2/3
Probabilidad de fallecer	1/3
Cantidad de paciente el día 15	1

- tiempo de hospitalización de cada paciente de alta (diferencia entre alta y fecha de confirmación)
- tiempo de hospitalización de cada paciente fallecido (diferencia entre fecha de fallecimiento y fecha de confirmación).
- la media de los tiempos de hospitalización de los fallecidos.
- el tiempo de hospitalización más frecuente entre pacientes fallecidos.

- el tiempo medio de hospitalización del paciente en cada estado.

Además, para cada estado (cuidado, terapia) se estimó:

- el número de pacientes que en un día dado de la epidemia viven el día d de su estancia hospitalaria en un cierto estado.
- la frecuencia con que ocurre la transición de un estado a otro para un paciente que se encuentra en el día d de su estancia hospitalaria

Con las estimaciones anteriores y los valores de infectados activos ofrecidos por los modelos dinámicos se pronostica:

- El número de camas de tipo k (cuidado o terapia) requeridas para cada día t , $t = N + 1, \dots, N + M$.
- El número total de camas para confirmados requeridas en cada día t , $t = N + 1, \dots, N + M$.
- El número total de camas requeridas en cada día t , $t = N + 1, \dots, N + M$. (suma del total de camas para confirmados y para sospechosos).

La aplicación puede introducir otras opciones como la actualización de las probabilidades con los nuevos datos. También mostró cómo la metodología utilizada permite incluir más estados sin que esto represente mayor dificultad. De esta manera se podría diferenciar la terapia en los estados grave y crítico en vez de englobarlo en un estado común como se realizó. Se proyecta elaborar una herramienta que permita automatizar este cálculo y realizar la entrada y la salida de datos en un ambiente amigable.

Los datos sobre la evolución de cada paciente debe ser lo más precisa posible, ya que es fundamental para la validez

de las estimaciones. Cabe destacar que por lo novedoso de la enfermedad, estos pronósticos son solo válidos a corto plazo. Además, continuamente se ajustan las medidas de control, lo que provoca cambios sustanciales en el comportamiento de la enfermedad y, por ende, en el pronóstico de la cantidad de infectados.

Referencias

- [1] G. Bayolo, A. Marrero, and D. Menció. Modelos para la estimación de infectados activos de la covid con diferenciación entre detectados y no detectados. *COVID-19, Cuba, comunicación personal*, 2020.
- [2] R. Guinovart and *et al.* Modelo para la estimación de infectados activos de la covid. *COVID-19, Cuba, comunicación personal*, 2020.
- [3] Q. Lin and *et al.* A conceptual model for the coronavirus disease 2019 (COVID-19) outbreak in wuhan, china with individual reaction and governmental action. *Int. J. Infectious Diseases*, 93:211–216, 2020.
- [4] M. Liu, J. Cao, J. Liang, and M. J. Chen. *Epidemiological modeling: a new perspective on Operations Research*. Springer, 2020.
- [5] F. Mallor and D. García. *Previsión de camashospitalarias y camas en UCI necesarias para pacientes con COVID-19*. amp.20minutos.es/noticia/4254144/0/, 1993.
- [6] K. McFarlane, T. Zhang *et al.*, and D. Scheinker. A model to estimate bed demand for covid-19 related hospitalization. mdxriv.org/content/10.1101/2020.03.2420042762v1, 2020.