



## METODOLOGÍA PARA PROYECCIÓN DE OCUPACIÓN HOSPITALARIA PARA ATENCIÓN DE COVID-19

Clara Fernanda Flórez-Rojas <sup>1</sup>

Enlace ORCID: / 0000-0002-0690-3118

Diego Rafael Roberto Cabrera-Moya \* <sup>2</sup>

Enlace ORCID: /0000-0001-7530-3768

Jorge Aurelio Herrera-Cuartas <sup>3</sup>

Enlace ORCID: /0000-0003-0273-4043

Fecha de Recepción: Febrero 2 de 2022

Fecha de Aprobación: Mayo 27 de 2022

### Resumen:

Este artículo propone una metodología de simulación para proyectar contagios de COVID -19 en Colombia de acuerdo con la dinámica del virus en el país, con el fin de determinar en qué momento el número de pacientes infectados de

---

\* Corresponding author

<sup>1</sup> Magíster en Ingeniería de la Gestión, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Especialista en Gerencia de Proyectos, Universidad El Bosque. Ingeniero Industrial, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Director de Diseño Organizacional, Keralty, Bogotá, Colombia. Correo electrónico: [claraf.florezr@utadeo.edu.co](mailto:claraf.florezr@utadeo.edu.co). ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0690-3118>

<sup>2</sup> Doctor en Ciencias de la Dirección, Universidad del Rosario. Magíster en Dirección, Universidad del Rosario. Magíster en Administración, Universidad de la Salle. Ingeniero Industrial, Pontificia Universidad Javeriana. Profesor Asociado II Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, Colombia  
Correo electrónico: [diegor.cabreram@utadeo.edu.co](mailto:diegor.cabreram@utadeo.edu.co). ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7530-3768>

<sup>3</sup> Doctor en Informática Industrial, Universidad Autónoma de Barcelona. Magíster en Informática Industrial, Universidad Autónoma de Barcelona. Ingeniero electrónico, Universidad del Quindío. Decano, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, Colombia. Correo electrónico: [jorgea.herrera@utadeo.edu.co](mailto:jorgea.herrera@utadeo.edu.co). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0273-4043>

los servicios de hospitalización y UCI podría sobrepasar la capacidad del sistema de salud. Se desarrolló esta metodología con la aplicación de un modelo de simulación (ISC-19) que permite realizar una proyección de casos infectados con COVID-19 en los servicios de UCI y Hospitalización. Como resultado de la proyección, se evaluó la posible saturación del sistema de salud, de acuerdo con la capacidad instalada en número de camas. Con la aplicación de esta metodología se puede alertar a los tomadores de decisiones para que definan estrategias que deberían ser tomadas en el corto plazo, ya sea para minimizar la demanda de pacientes o para evitar un posible colapso del sistema.

## **METHODOLOGY FOR PROJECTION OF HOSPITAL OCCUPANCY FOR COVID-19**

### **Abstract:**

This article develops a simulation methodology to project COVID-19 infections in Colombia. According to the current dynamics of the virus in this country, the number of infected patients in hospitalization and ICU services will exceed the health system's capacity. This methodology is developed by applying a simulation model (ISC-19) that allows a projection of cases infected with COVID-19 in the ICU and Hospitalization services. As a projection result, the health system saturation is evaluated according to the installed capacity in the number of beds. With the application of this methodology, decision-makers can be alerted to define strategies that should be taken in the short term, either to minimize patient demand or to avoid a possible collapse of the system.

## **METODOLOGIA PARA PROJEÇÃO DE OCUPAÇÃO HOSPITALAR PARA ATENDIMENTO COVID-19**

### **Resumo:**

Este artigo consiste no desenvolvimento de uma metodologia de simulação para projetar as infecções por COVID-19 na Colômbia de acordo com a dinâmica atual do vírus neste país, para determinar quando o número de pacientes infectados em internações e serviços de UTI ultrapassará a capacidade do sistema de saúde. Esta metodologia é desenvolvida com a aplicação de um modelo de simulação (ISC-19) que permite a projeção dos casos infectados pelo COVID-19 em UTI e serviços de Internação. Como resultado da projeção, avalia-se a saturação do sistema de saúde, de acordo com a capacidade instalada em número de leitos. Com a aplicação dessa metodologia, os tomadores de decisão podem ser alertados para definir estratégias que devem ser tomadas em curto prazo, seja para minimizar a demanda do paciente ou para evitar um possível colapso do sistema.

## 1. INTRODUCCIÓN:

El virus COVID-19 fue declarado Pandemia por la OMS el 11 de marzo de 2020, luego de triplicar en tres meses el número de países afectados con la infección; para esa fecha se reportaban 118.000 casos en 114 países, y 4.291 defunciones (World Health Organization, 2020). Para finales del mes de septiembre de 2020, el mundo ya contaba con 43.363.298 casos confirmados en 189 países y 1.157.126 fallecidos (Johns Hopkins University, 2020). Esta pandemia ha tenido impactos económicos en los países como el desempleo y pérdida del PIB (Deb et al., 2021; Pindyck, 2020), en la salud y estilos de vida como ninguna otra en los últimos 100 años (James, 2020); hasta el momento, se han desarrollado diferentes vacunas y tratamientos para la infección (World Health Organization, 2020) (Ghanbari, 2020).

En el 2020 existían alrededor de 170 candidatas a vacunas en desarrollo, de las cuales 24 ya se encontraban en fases de experimentación clínica en fase 2 y en otros casos, iniciaron estudios de fase 3 (Ministerio de Salud y Protección Social, 2020); después de los ensayos en humanos, se esperaba que una o más de estas vacunas candidatas pudieran ser seguras y costo efectivas para responder a la pandemia (Organización Mundial de la Salud, 2020). Actualmente existen estudios comprobados en personal médico de Estados Unidos, que reportan que la eficacia (VE) de dos vacunas tipo mRNA (Pfizer-BioNTech y Moderna) fue del 82% después de la primera dosis y del 94% después de la segunda dosis con un intervalo de confianza del 95% con ajustes por edad, etnicidad y condiciones médicas (Pilishvili et al., 2021).

Sin embargo, muchos de los esfuerzos a nivel mundial para reducir al máximo los contagios entre seres humanos, ha llevado a países a la implementación de políticas económicas (Schiozer & Yoshida, 2020), políticas públicas en el área social (Franzese, 2020) y al desarrollo de diferentes estrategias no farmacológicas adoptadas gradualmente para disminuir la pandemia (Khoshnaw Sarbaz, 2020) (Marc Saez, 2020), tales como cierres de fronteras y transportes de pasajeros entre ciudades (Marc Saez, 2020), medidas de distanciamiento social (Pindyck, 2020) (Marc Saez, 2020) y uso de máscaras faciales (James, 2020), suspensión de actividades sociales y económicas no esenciales (Zegarra Manuel, 2020),

hasta cuarentenas (Ghanbari, 2020) (Marc Saez, 2020) y cierre de instituciones académicas (Currie Christine, 2020) (Marc Saez, 2020); aun así, existe incertidumbre de la efectividad de las medidas adoptadas para reducir la propagación (Acuti Martellucci Cecilia, 2020). Estas medidas resultado de la definición de políticas públicas en cada país, han tenido a su vez resultados diferenciales asociados a la dinámica evolutiva en cada caso, razón por la cual se hace importante contar con metodologías que permitan proyectar la ocupación hospitalaria y su disponibilidad para atender los casos que se presenten.

En torno a esto, diversas metodologías y modelos se han diseñado para investigar la epidemia de COVID-19 a nivel mundial (Rabiolo et al., 2021; Wang, 2020). Los modelos matemáticos con simulaciones computacionales son herramientas que parecen ser efectivas y ayudan a los esfuerzos globales para estimar los parámetros clave de transmisión y futuras medidas de control de la enfermedad (Khoshnaw Sarbaz, 2020).

La revisión científica de artículos similares en la materia, exponen modelos epidemiológicos enfocados en la predicción de la transmisión de la enfermedad (Currie Christine, 2020; Ghanbari, 2020; Tian-Mu Chen, 2020); algunos de los modelos han desarrollado modificaciones de los convencionales modelo SEIR y SLIAR (Portet, 2020), y concluyen que las estrictas medidas de intervención son necesarias para impedir brotes en los países (Wang, 2020).

En otros casos, los modelos establecen una transición estocástica para evaluar la transmisión del virus y también enfatizan en la necesidad de intervenciones como distanciamiento social, aislamientos y cuarentenas (Tian-Mu Chen, 2020), sin embargo, existe un posible vacío con dichos modelos con el impacto de la epidemia en la capacidad del sistema de salud (Currie Christine, 2020).

Dicho esto y aunque las naciones ya cuentan con un aprendizaje de 2 años de la emergencia social, económica y de salud, la nueva Covid – 19 continúa siendo un desafío para los sistemas de salud de los países e inclusive para las naciones económicamente más avanzadas (Khalil et al., 2022; Wood, 2020); la gravedad de síntomas de los infectados y el incremento de casos reportados a nivel mundial evidencia esta necesidad.

En Colombia, el primer caso confirmado se presentó el 06 de marzo de 2020, lo cual activó una fase de contención del virus en el territorio Nacional previendo el crecimiento de casos en el país (Ministerio de Salud

y Protección Social, 2020); el 17 del mismo mes, decreta Estado de Emergencia en todo el territorio y 7 días después se da inicio a una cuarentena Nacional (Presidencia de la República de Colombia, 2020).

Para finales del mes de octubre de 2020, el país ya reportaba más de 1.015.000 contagios confirmados, más de 915.000 casos recuperados y 30.154 fallecidos (Instituto Nacional de Salud, 2020).

Las medidas gubernamentales de prevención en Colombia se enfocaron en aislamientos preventivos obligatorios y en el distanciamiento social, enmarcados en tres objetivos: evitar fallecimientos, mantener la capacidad del sistema de salud y reducir el impacto social y económico de las medidas (Ministerio de Salud y Protección Social, 2020). Durante el 2021 y el 2022 algunas medidas adoptadas fueron reemplazadas por otras menos restrictivas, basadas en los niveles del esquema completo de vacunación logrados en el país. En este sentido, este artículo presenta la aplicación de una metodología que consiste en el monitoreo de datos de casos positivos reportados por fuentes oficiales de salud del país para el período comprendido entre marzo y septiembre de 2020 y la utilización de un modelo de simulación para proyectar el incremento de casos y la ocupación de camas hospitalarias en los servicios de Hospitalización y UCI para los meses de octubre a diciembre del mismo año, permitiendo la comparación de estos resultados con la evolución real de la pandemia.

Esta comparación entre la evolución proyectada por medio del modelo y la situación real se convierte en una herramienta de evaluación y predicción acerca del momento en que la capacidad instalada del sistema de salud puede saturarse con base en datos históricos y orientará a quienes toman decisiones en la materia, en la consecuencia de sus acciones.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **Descripción de la situación colombiana**

Las medidas de emergencia sanitaria en Colombia se implementaron el 12 de Marzo de 2020, 6 días después de confirmar el primer caso de contagio en el país. Desde el inicio, se decretó una cuarentena, la cual inició a las dos semanas del primer caso confirmado y duró dos meses. Posteriormente se dio inicio a un desescalamiento gradual del aislamiento social, de acuerdo con los parámetros establecidos por el National Bureau of Economic Research (Ministerio de Salud y Protección Social, 2020).

Las medidas adoptadas por el Gobierno colombiano han tenido diferentes etapas de implementación, con la finalidad de reducir el impacto de la propagación del virus y preparar al país en recursos hospitalarios para la atención de pacientes en los picos más altos de contagio. Dicho esto, se pueden observar las principales acciones para enfrentar el virus en la Figura 1, la cual presenta la línea de tiempo de las medidas y disposiciones tomadas por el Gobierno Nacional de Colombia en los últimos 6 meses.

Adicionalmente, se planteó como estrategia de atención de pacientes COVID, la expansión hospitalaria en camas de UCI a nivel Nacional, la cual consistió en la liberación de camas en una fase temprana y la expansión de camas adicionales para 4 fases posteriores. Durante estas fases, se mantiene constante una capacidad de 2.696 camas de UCI para atención de pacientes con otras patologías diferentes a COVID-19; se liberan 2.650 camas para atención de pacientes contagiados y se proyecta una expansión de 7.176 camas adicionales (Ministerio de Salud y Protección Social, 2020).

Como resultados de las acciones tomadas por el Gobierno Nacional, se evidencia que a pesar de que Colombia en la actualidad está dentro de los 10 países más afectados por la Pandemia (Johns Hopkins University and Medicine, 2020) el país está por debajo de la curva de contagios de países Latinoamericanos como Brasil, México y Perú.

No obstante, la situación dentro del país es preocupante en materia económica y de salud. Para el segundo trimestre del 2020 la contracción económica reportó un descenso en la capacidad productiva que afectó directamente la industria nacional en -15,7% del PIB y una tasa de desempleo del 19,8% (Departamento Nacional de Estadísticas, 2020).

Por otra parte, se han incrementado los fallecimientos y la ocupación de UCI's a nivel Nacional (Ministerio de Salud y Protección Social, 2020), siendo esto último, un indicador crítico para tomar decisiones sobre las medidas a tomar para disminuir los contagios; de acuerdo con el Ministerio de Salud de Colombia, la ocupación de camas de UCI en algunos lugares se acerca a límites preocupantes como lo son Bolívar, Atlántico y Bogotá, aún cuando ya se ha incrementado la capacidad Nacional en camas adicionales (Ministerio de Salud y Protección Social, 2020). Ruíz, (2020), evidencia la importancia de auditorías en los contextos mencionados.

### 3. METODOLOGÍA

#### Modelo de proyección propuesto

La metodología desarrollada en este caso de estudio, parte de la revisión de información del comportamiento del virus en el contexto colombiano y recopilación de datos e información cuantitativa, extraídos de fuentes primarias como data sets de casos reportados por el Instituto Nacional de Salud de este país, y secundarias como boletines de prensa, reportes y tableros de control publicados por el Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia; para posteriormente realizar proyecciones de casos de infectados en servicios de UCI y Hospitalización.

La recopilación de datos de casos infectados por Fechas de Inicio de Síntomas y reportes diarios de casos en Hospitalización y UCI a nivel nacional, se realizó durante el período comprendido entre el 12 de marzo y el 26 septiembre de 2020.

A continuación, se presenta la descripción de las etapas de la metodología desarrollada.

**1. Identificación del problema:** se realiza la exploración de la información de la pandemia y el entendimiento de y la situación del virus en Colombia, así como la búsqueda de información de las acciones a desarrollar por el Gobierno Nacional.

**2. Observación, recopilación y análisis de información:** posteriormente, se realiza la identificación de información relevante para la investigación. Se identifican las fuentes de información oficiales para reportes de infectados, capacidad instalada en servicios de UCI y Hospitalización y planes de expansión de éstos, y se realiza una recopilación diaria de casos de infectados.

**3. Aplicación del modelo de proyección de datos:** en esta etapa se realiza la revisión del modelo de simulación para realizar la proyección de casos de infectados en Colombia. Seguido de esto, se identifican los porcentajes de pacientes infectados diarios en servicios de UCI y Hospitalización, para realizar la proyección de pacientes infectados en servicios de UCI y Hospitalización de acuerdo con % históricos.

**4. Resultados y conclusiones de la proyección de datos:** finalmente se analizan de resultados y se generan conclusiones y discusiones de las

proyecciones de datos y aplicación del modelo para Colombia.

#### Formulación del Modelo

La herramienta a emplear en la presente investigación, consiste en un algoritmo de predicción basado en un sistema de tercer orden, como se presenta en la ecuación (1):

$$G_c(s) = \frac{ge^{-ds}}{(\tau_1s+1)(\tau_2s+1)(\tau_3s+1)} = \frac{Y(s)}{U(s)} \quad (1)$$

en donde Y(s) es el número de infectados; U(s) es una entrada de paso virtual (la cual está relacionada con el primer caso detectado); g es la ganancia del sistema; d el retraso  $T_1$ ,  $T_2$  y  $T_3$  son las constantes de tiempo del modelo.

Esta herramienta identifica los retrasos del sistema y los parámetros del comportamiento del modelo en una región, país o zona específica y pronostica a corto plazo el proceso de transmisión de la infección.

ISC - 19 es una estructura simple basada en un esquema multi modelo conformado por elementos como el tiempo de variación de los modelos, una función objetivo la cual evalúa el comportamiento potencial de cada modelo planteado y un algoritmo de estimación de parámetros, el cual coordina los diferentes componentes del esquema y estima los parámetros nominales.

Se resalta que ISC-19 es el modelo empleado en la metodología de esta investigación, puesto que permite predecir los cambios propios de la dinámica de la enfermedad y brinda estabilidad frente a modificaciones en las acciones implementadas para mitigar la propagación del virus; no obstante, se pueden implementar diferentes modelos de proyección de contagios.

#### Caso de estudio Sistema de Salud en Colombia

En esta sección, se presenta la implementación de la metodología y la aplicación del modelo ISC – 19 al caso colombiano. El modelo que representa el comportamiento de los casos infectados en Colombia se expone en la ecuación (2):

$$G_{Colombia}(s) = \frac{13248000e^{-54s}}{(356.7s+1)(356.7s+1)(4.2s+1)} \quad (2)$$

El ajuste del modelo presenta una desviación de los datos de ISC-19 de 4% respecto a los datos reales de infectados.

Con los datos obtenidos de la herramienta se realiza una predicción de casos infectados, casos hospitalizados y hospitalizados en UCI a nivel nacional, los cuales se comparan tanto con la capacidad instalada de camas en servicios de hospitalización y UCI en el país como con la cantidad real en estas categorías, para posteriormente determinar la saturación teórica y real del sistema de salud colombiano en estas estancias hospitalarias.

Los datos de la población infectada, se han obtenido del Instituto Nacional de Salud de Colombia a través de la consulta de datasets históricos, información en línea y actualización diaria de casos confirmados disponibles en la página de Boletines de Casos COVID 19 en Colombia (Instituto Nacional de Salud, 2020, 2022). Los históricos de información por fecha de inicio de síntomas se presentan en la Gráfica 1.

En la Gráfica 2 se presenta el panorama en capacidad instalada para el período de análisis (capacidad disponible y capacidad de expansión) de camas de UCI, UCIN y Hospitalización en el territorio Nacional. Dada la situación de emergencia de esa época, la ampliación hospitalaria era una de las mayores prioridades para el plan de acción de desarrollado por el Gobierno Nacional (Ministerio de Salud y Protección Social, 2020).

La Gráfica 3, presenta el comportamiento de pacientes infectados en los servicios de UCI y de Hospitalización a nivel nacional, durante los primeros 6 meses de la pandemia en el país. Como se observa, la ocupación de estos servicios hospitalarios aún no sobrepasó la capacidad instalada total. No obstante, en algunas ciudades como en el caso de Bogotá, la capacidad de los servicios de salud se acercó al 90% de ocupación (Observatorio de Salud de Bogotá, 2020).

El porcentaje de pacientes COVID que requirieron servicios de UCI durante el 2020 fue en promedio el 0,3% del total de infectados en Colombia. A nivel mundial, se presentan a modo comparativo la proporción de casos hospitalizados en UCI para diferentes países tales como Singapur (0,117%); China (0,260%); Italia (0,88%) y Estados Unidos (0,71%) (Affan Shoukat, 2020; MIDAS Coordination Center University of Pittsburgh, 2020).

Como se aprecia con los datos de los países mencionados previamente, el porcentaje de infectados que requieren servicios de UCI en Colombia, se

encuentra por debajo de los valores reportados para países como Italia y Estados Unidos.

#### **4. RESULTADOS:**

Los datos de la proyección de casos infectados, se presentan en la Gráfica 4. En ésta se presenta el histórico de casos acumulados reportados, con las políticas gubernamentales implementadas y la proyección de casos a 31 de diciembre de 2020, de acuerdo al modelo propuesto. La proyección de casos con esta metodología se realizó con las condiciones reales de la epidemia en Colombia.

Se debe tener en cuenta que el comportamiento de la enfermedad cambia dependiendo de la implementación de las estrategias de contención y mitigación de propagación del virus adoptadas por las entidades gubernamentales en Colombia. Esta es la principal conclusión de la comparación de resultados del modelo con los datos reales, donde el desfase está explicado por la efectividad positiva o negativa de las medidas adoptadas.

En este sentido, el modelo propuesto se presenta como una herramienta de apoyo a la política pública y es el principal aporte de este artículo.

En este sentido y tal como se presentó en la Figura 1, el Gobierno Nacional adoptó diferentes medidas para la prevención y mitigación de la infección en diferentes momentos del 2020. Sin embargo se puede inferir que dentro de las medidas adoptadas, la liberación progresiva de sectores económicos impactó la propagación de la infección y el aumento de casos reportados desde finales del mes de mayo.

De manera complementaria se puede inferir que los avances en los niveles de vacunación impactaron de manera positiva los esfuerzos de contención en la propagación y contagio del virus.

Por otra parte, se resalta que para inicios de junio de 2020, Colombia ya triplicaba la capacidad de procesamiento de pruebas comparado con países de la región (Ministerio de Salud y Protección Social, 2020), lo cual ha permitido una mayor identificación de casos infectados.

Con los datos reportados por el Instituto Nacional de Salud, se realizó la proyección de casos de pacientes infectados que requerirán servicios de UCI y servicios de Hospitalización; para esto, de acuerdo con los datos de pacientes COVID -19 en UCI y Hospitalización

reportados diariamente, se calculó el porcentaje de casos en estas instancias hospitalarias sobre el total de casos infectados. Se toman los valores de referencia para el último mes.

Por otra parte, se realizó una exploración de la data disponible de capacidad instalada en camas de UCI y Hospitalización, en el Registro Especial de Prestadores de Salud – REPS y en la página de Coronavirus del Ministerio de Salud de Colombia.

El resultado de proyecciones de pacientes con COVID-19 en los Servicios de Hospitalización y UCI se presentan en la Gráfica 5. A su vez, se presenta el comportamiento de los casos en estas estancias hospitalarias con la capacidad instalada de los servicios a la fecha de análisis de los datos.

Como se observa para el servicio de hospitalización, si las condiciones del país se mantienen constantes la capacidad de camas se saturaría con pacientes COVID-19 a finales del mes de noviembre; posterior a esto los servicios de hospitalización no tendrían capacidad para atención de pacientes con esta patología. Sin embargo, se puede observar que la proyección de datos, no se ajusta en la última semana de septiembre, en donde el comportamiento de las hospitalizaciones está disminuyendo; esto se debe a las diferentes variables macroeconómicas, sociales y culturales son complejas para modelar con ISC-19.

Por otra parte, el panorama es distinto para los servicios de UCI. Con la proyección estimada de casos en esta estancia hospitalaria, en el horizonte de proyecciones a diciembre de 2020, la capacidad de camas en todo el país no se saturará.

5. Es importante aclarar que en el escenario propuesto, no se realiza una diferenciación entre la ocupación de camas de UCI y de servicios de hospitalización con pacientes COVID-19 y la ocupación con pacientes con otras patologías, así como tampoco se discrimina la información por ciudades o regiones. Para efectos de este análisis y debido a las limitaciones en el detalle de alguna información necesaria, se hace uso de la información total de la capacidad instalada en Colombia para estos servicios.

## **6. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES**

Es Como se menciona a lo largo del artículo, se resalta que la propuesta del modelo se presenta como una herramienta de apoyo a la política pública y es el

principal aporte de este artículo. Como se recordará a lo largo del texto se resaltó como principal conclusión de la propuesta el hecho de que el comportamiento de la enfermedad cambia dependiendo de la implementación de las estrategias de contención y mitigación de propagación del virus adoptadas por las entidades gubernamentales en Colombia.

Es por esta razón que como decisión metodológica utilizar datos reales desde el 1 de abril de 2020 hasta el 26 de septiembre de 2020 para alimentar el modelo, utilizar el modelo para proyectar la posible evolución hasta el 31 de diciembre de 2020 y contar también con las cifras reales el comportamiento del virus en ese período a para poder plantear también la comparación sobre el ajuste del modelo.

De esta manera se hace posible analizar las cifras teóricas de nuevos casos, de pacientes hospitalizados y de pacientes en UCI obtenidas al alimentar el modelo con datos reales, con las cifras reales de casos en esas categorías que se presentaron en Colombia hasta el 31 de diciembre de 2020.

La diferencia de cantidades en estas categorías permitirá evaluar la efectividad e incidencia de cada una de las políticas tomadas por el Gobierno Nacional en el primer año de la pandemia.

Por lo anterior, la presente propuesta debe leerse y analizarse bajo esta óptica, destacándose su aporte como herramienta de aporte ajustable que puede ir evolucionando en la medida en que se alimenta con información actualizada y por esta razón, permite la toma de decisiones informada en cada momento.

Los resultados obtenidos en el modelo presentan diferencias con las cifras reales de Colombia. Sin embargo esta divergencia está explicada al entender que el modelo ajustado presenta resultados de acuerdo a cifras históricas y se ve condicionado con los cambios sociales que se afrontan en situaciones como la analizada, a pesar de que esta diferencias están suavizadas en el modelo gracias a la característica de sensibilidad y ajuste progresivo. En este sentido y dado que el Gobierno Nacional adoptó diferentes medidas para la prevención y mitigación de la infección en diferentes momentos del 2020, es posible que la liberación progresiva de sectores económicos haya posibilitado el aumento de casos reportados y que los avances en los niveles de vacunación hayan posibilitado la disminución de los niveles en la propagación y contagio del virus.

Lo anteriormente descrito permite también concluir que el modelo propuesto es totalmente sensible a los cambios no parametrizados en la dinámica social y de las políticas públicas adoptadas.

La metodología desarrollada, permite proyectar el comportamiento de casos infectados en el corto plazo, a partir de la información de los casos diarios reportados. Por esta razón se hace necesario el permanente monitoreo y actualización de la información de acuerdo con el comportamiento diario y acumulado de casos y la ocupación diaria de camas en UCI y Hospitalización, así como la implementación de planes de expansión de capacidad hospitalaria para el país. En la medida que el modelo sea actualizado con información real de manera continua, su nivel de ajuste será mayor y permitirá la evaluación del futuro inmediato con un mayor nivel de ajuste.

A diferencia de algunos modelos epidemiológicos, el presentado en este artículo es sensible a algunas dinámicas de la enfermedad y a los cambios generados por las acciones tomadas por el Gobierno de Colombia para la mitigación de la expansión y los efectos del virus, permitiendo generar alertas en el corto plazo para evitar la ocupación de los servicios de salud. No obstante, se considera pertinente integrar diferentes modelos de proyección de datos en esta metodología para integrar diversas variables económicas y sociales, logrando de esta manera ajustar las proyecciones al comportamiento en fases cortas de la enfermedad. Esto se considerará para futuras acciones que den continuidad a esta investigación.

Por otra parte, se plantea como una acción a futuro generar la proyección de casos a partir de la información de pacientes diarios reportados en los servicios de Hospitalización y UCI. Se debe tener en cuenta que los datos tomados en esta investigación parten de la información de infectados diarios reportados por el resultado de pruebas positivas de PCR – COVID 19 y dependen de la cobertura, capacidad de toma y procesamiento de muestras de los laboratorios habilitados a nivel Nacional.

Como resultado de la proyección de casos infectados en los servicios de UCI y Hospitalización con esta metodología, se pudo observar que el sistema de salud en general, para el período de análisis no se encontraba colapsado. Sin embargo, la aplicación de

esta metodología es una herramienta útil para realizar un monitoreo constante de la ocupación de los servicios de salud durante el desarrollo de la pandemia en el país o en regiones focalizadas, en donde se requiera tomar medidas en el corto plazo para asegurar la atención hospitalaria de pacientes COVID.

Así mismo, es importante precisar que la metodología y los resultados obtenidos permiten prever que en caso de que la dinámica de contagios en el país se mantiene constante, el sistema de salud colombiano podría colapsar a finales de noviembre para el servicio de hospitalización.

En la medida en que se logre la obtención de información que discrimine los datos de pacientes infectados totales y por estancias hospitalarias para regiones o ciudades y que a su vez se pueda evidenciar la saturación del sistema de salud, el modelo propuesto encontrará mayores niveles de ajuste y la información resultante será de mayor utilidad.

En consecuencia con lo anterior, se recomienda al Gobierno colombiano, disponer de herramientas de libre acceso y consulta para que tanto los investigadores como la academia puedan monitorear la información de seguimiento de ampliación de camas de UCI y Hospitalización planteadas dentro de las estrategias de contención del virus, así como acceso al reporte histórico de pacientes COVID en Unidades de Cuidado Intensivo y Hospitalizaciones discriminados por regiones. Esto permitirá un aporte a la identificación en el corto plazo de la saturación del servicio de salud en camas pediátricas y de adultos en cada lugar o ciudad del país.

## 7. REFERENCIAS:

- 
- Acuti Martellucci Cecilia, F. M. (2020). SARS - COV 2 Pandemic: An overview. *Advances in Biological Regulation*, 77-88.
- Affan Shoukat, C. W. (2020). Projecting demand for critical care beds during COVID-19 outbreaks in Canada. *Research Health Services*, 489-496.
- Alban Andres, C. S. (2020). ICU Capacity Management During the COVID -19 Pandemic Using a Stochastic Process Simulation. *INSEAD- The Business School for the World*, 20-32.

- Currie Christine, F. J. (2020). How simulation modelling can help reduce the impact of COVID-19. *Journal of Simulation*, 2-15.
- Deb, P., Furceri, D., Ostry, J. D., & Tawk, N. (2021). The economic effects of Covid-19 containment measures. *Open Economies Review*, 1-32.
- Departamento Nacional de Estadísticas. (14 de 08 de 2020). *DANE Información para todos*. Obtenido de Indicadores económicos: <https://www.dane.gov.co/index.php/indicador-es-economicos>
- Ghanbari, S. D. (2020). Coronavirus pandemic: a predictive analysis of the peak outbreak epidemic in South Afrika, Turkey and Brazil. *Chaos, Solitons and Fractals*, 138-147.
- Instituto Nacional de Salud. (01 de 07 de 2020). *Boletines Casos COVID 19 Colombia*. Obtenido de <https://urlzs.com/YGhFe>
- Instituto Nacional de Salud (25 de febrero de 2022). *Módulo de datos COVID 19 Colombia*. Obtenido de <https://www.ins.gov.co/Direcciones/ONS/mo-delos-covid-19>
- James, A. S. (2020). Where are we with understanding of COVID-19? *Advances in Biological Regulation*, 78-83.
- Jhons Hopkins University and Medicine. (5 de Julio de 2020). Obtenido de New Cases of COVID-19 In World Countries: <https://coronavirus.jhu.edu/data/new-cases>
- Johns Hopkins University. (26 de Octubre de 2020). *Coronavirus Resource Center*. Obtenido de <https://coronavirus.jhu.edu/map.html>
- Franzese, C. (2020). Estados e municípios no combate á COVID-19. *RAE-Revista de Administração de Empresas*, 51.
- Khoshnaw Sarbaz, S. M. (2020). A quantitative and qualitative analysis of the COVID-19 pandemic model. *Chaos, Solitons and Fractals*, 138-148.
- Marc Saez, A. T. (2020). Effectiveness of the measures to flatten the epidemic curve of COVID-19. The case of Spain. *Science of the Total Environment*, 727-134.
- MIDAS Coordination Center University of Pittsburgh. (07 de 2020). Obtenido de MIDAS Online Portal for COVID-19 Modeling Research: [https://github.com/midas-network/COVID-19/tree/master/parameter\\_estimates/2019\\_novel\\_coronavirus#proportion-of-hospitalized-cases-admitted-to-icu](https://github.com/midas-network/COVID-19/tree/master/parameter_estimates/2019_novel_coronavirus#proportion-of-hospitalized-cases-admitted-to-icu)
- Ministerio de Salud y Protección Social. (18 de junio de 2021). Obtenido de Ministerio de Salud y Protección Social: <https://www.minsalud.gov.co/Paginas/Se-define-valores-de-referencia-a-pagar-por-servicios-UCI-de-covid-19.aspx>
- Ministerio de Salud y Protección Social. (05 de octubre de 2021). *Colombia adquirió 2.817 respiradores y avanza en el proceso de expansión hospitalaria*. Obtenido de <https://www.minsalud.gov.co/Paginas/Colombia-adquirio-2817-respiradores-y-avanza-en-el-proceso-de-expansion-hospitalaria.aspx>
- Ministerio de Salud y Protección Social. (06 de julio de 2021). *Ministerio de Salud y Protección Social*. Obtenido de <https://www.minsalud.gov.co/Paginas/Colombia-aumenta-capacidad-de-UCI-y-capacita-a-los-profesionales-del-sector-salud-.aspx>
- Ministerio de Salud y Protección Social. (marzo de 2020). *Ministerio de Salud y Protección Social*. Obtenido de Expansión hospitalaria una estrategia para atención de la COVID -19: <https://www.minsalud.gov.co/Paginas/Expansion-hospitalaria-una-estrategia-para-atencion-de-la-covid-19-.aspx>
- Ministerio de Salud y Protección Social. (21 de mayo de 2020). *Ministerio de Salud y Protección Social - República de Colombia*. Obtenido de <https://www.minsalud.gov.co/Paginas/Los-tres-objetivos-de-la-estrategia-de-mitigaci%C3%B3n-de-covid-19-en-Colombia.aspx>

- Ministerio de Salud y Protección Social. (05 de junio de 2020). *Nuevo Coronavirus COVID - 19*. Obtenido de Colombia triplica la capacidad de hacer pruebas de covid-19 con países similares en la región: <https://www.minsalud.gov.co/Paginas/Colombia-triplica-la-capacidad-de-hacer-pruebas-de-covid-19-con-paises-similares-en-la-region.aspx>
- Ministerio de Salud y Protección Social. (24 de julio de 2020). *Nuevo Coronavirus COVID-19*. Obtenido de Así van los avances para hallar una vacuna contra el COVID-19: <https://www.minsalud.gov.co/Paginas/Asi-van-los-avances-para-hallar-una-vacuna-contra-el-covid-19-.aspx>
- Ministerio de Salud y Protección Social. (julio de 2020). *REPS*. Obtenido de <https://prestadores.minsalud.gov.co/habilitacion/work.aspx?tOut=true>
- Observatorio de Salud de Bogotá. (17 de julio de 2021). *SALUDATA - Observatorio de Salud de Bogotá*. Obtenido de Enfermedades Transmisibles- Porcentaje de Ocupación de unidades de cuidado intensivo para la ocupación de COVID-19 en Bogotá D.C.: <http://saludata.saludcapital.gov.co/osb/index.php/datos-de-salud/enfermedades-trasmisibles/ocupacion-ucis/>
- Organización Mundial de la Salud. (02 de mayo de 2020). *Boletín de la Organización Mundial de la Salud*. Obtenido de Intensificar la producción de vacunas: <https://www.who.int/bulletin/volumes/98/5/20-020520/es/>
- Our World in Data. (12 de julio de 2020). *Coronavirus Source Data*. Obtenido de <https://ourworldindata.org/coronavirus-source-data>
- Pilishvili, T., Fleming-Dutra, K. E., Farrar, J. L., Gierke, R., Mohr, N. M., Talan, D. A. & Vaccine Effectiveness Among Healthcare Personnel Study Team. (2021). Interim estimates of vaccine effectiveness of Pfizer-BioNTech and Moderna COVID-19 vaccines among health care personnel—33 US sites, January–March 2021. *Morbidity and Mortality Weekly Report*, 70(20), 753.
- Pindyck, R. (2020). COVID-19 and the Welfare Effects of Reducing Contagion. *National Bureau of Economic Research*.
- Portet, J. A. (2020). A simple model for COVID -19. *Infectious Disease Modelling*, 309-315.
- Presidencia de la República de Colombia. (marzo de 2020). *Acciones para prevenir el Coronavirus*. Obtenido de <https://id.presidencia.gov.co/especiales/200317-medidas-enfrentar-coronavirus/index.html>
- Presidencia de la República de Colombia. (2020). *Noticias - Medidas del Aislamiento Preventivo Obligatorio*. Obtenido de <https://id.presidencia.gov.co/especiales/200323-Aislamiento-Preventivo-Obligatorio/noticias.html>
- Rabiolo, A., Alladio, E., Morales, E., McNaught, A. I., Bandello, F., Afifi, A. A., & Marchese, A. (2021). Forecasting the COVID-19 epidemic by integrating symptom search behavior into predictive models: Infeveillance study. *Journal of medical Internet research*, 23(8), e28876.
- Ruíz, E. S. R. (2020). Las organizaciones, el control y la auditoría interna. *Gestión y Desarrollo Libre*, 3(5). Obtenido de <http://biblos.unilibrecucuta.edu.co/ojs/index.php/gestionyd/article/view/382>

Schiozer, R., & Yoshida, V. (2020). Achatando a curva da inadimplencia. *RAE-Revista de Administração de Empresas*, 20-23.

SISPRO - Ministerio de Salud y Protección Social. (Julio de 2020). *Capacidad Instalada para la prestación de Servicios de Salud - SISPRO*. Obtenido de <https://minsalud.maps.arcgis.com/apps/opsd/ashboard/index.html#/1de89936b24449edb77e162d485ed5d9>

Tian-Mu Chen, J. R.-P.-Y.-A. (2020). A mathematical model for simulating the phase-based transmissibility of a novel coronavirus. *Infectious Diseases of Poverty*, 9-24.

Wang, T. S. (2020). Modeling COVID-19 epidemic in Heilongjiang province, China. *Chaos, Solitons and Fractals*, 138-143.

Wood, R. (2020). Modelling the impact of COVID-19 on elective waiting times. *Journal of Simulation*.

World Health Organization. (29 de June de 2020). *Health Topics / Coronavirus*. Obtenido de [https://www.who.int/health-topics/coronavirus#tab=tab\\_1](https://www.who.int/health-topics/coronavirus#tab=tab_1)

World Health Organization. (11 de Marzo de 2020). *World Health Organization*. Obtenido de <https://www.who.int/es/dg/speeches/detail/who-director-general-s-opening-remarks-at-the-media-briefing-on-covid-19---11-march-2020>

World Health Organization. (11 de Junio de 2020). *World Health Organization*. Obtenido de <https://www.who.int/es/dg/speeches/detail/who-director-general-s-opening-remarks-at-the-member-state-briefing-on-covid-19---11-june-2020>

Zegarra Manuel, S. C. (2020). Modeling behavioral change and COVID-19 containment in Mexico: A trade-off between lockdown and compliance. *Mathematical Biosciences*, 325-334.

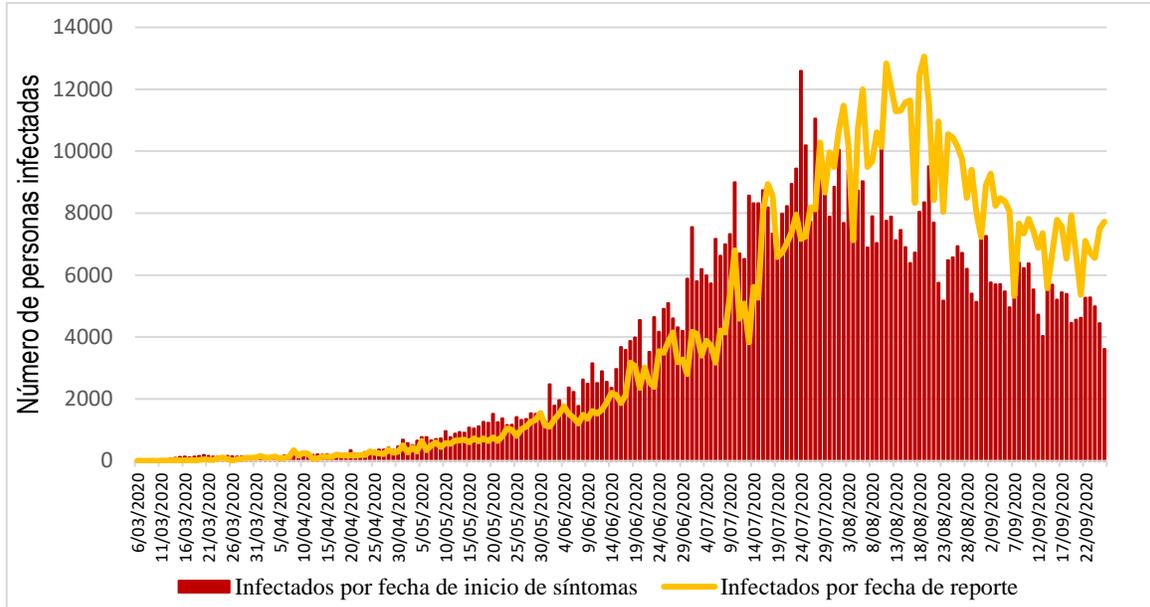
Clara Fernanda Flórez-Rojas, Diego Rafael Roberto Cabrera-Moya, Jorge Aurelio Herrera-Cuartas

FIGURAS Y GRÁFICAS

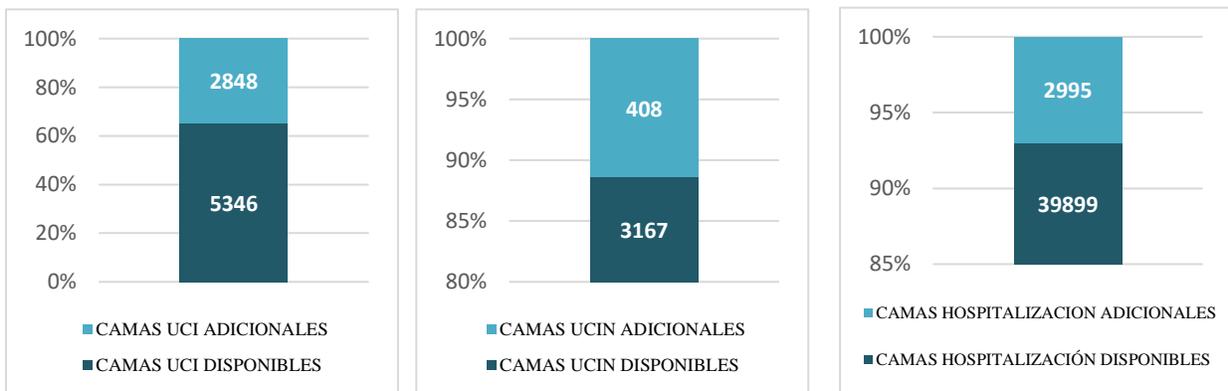
Figura 1. Principales acciones tomadas por el Gobierno para afrontar el virus en Colombia.



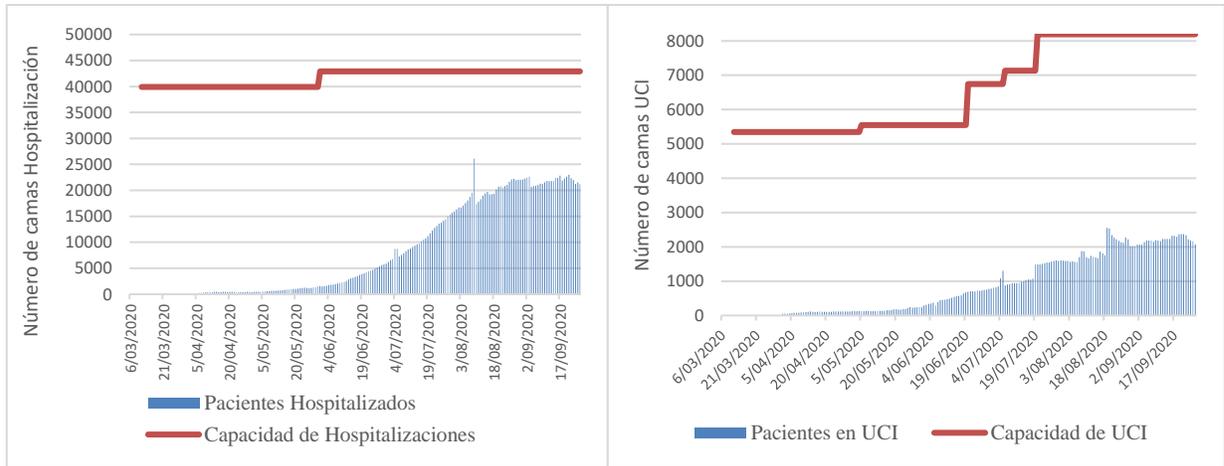
Gráfica 1. Reporte diario de casos infectados en Colombia a septiembre 26.



Gráfica 2. Expansión de camas de UCI, UCIN y Hospitalización durante Emergencia Sanitaria en Colombia para atención de pacientes COVID-19, Julio.



Gráfica 3. Ocupación de camas hospitalarias con pacientes COVID-19 para servicios de Hospitalización y UCI.



Gráfica 4. Proyección de casos infectados en Colombia.

