

Planificación y Gestión Integral de la Pandemia COVID-19 en Paraguay. Una integración de herramientas analíticas epidemiológicas, económicas y sociales

PINV20-271

Análisis epidemiológico de la pandemia del COVID-19 en Paraguay

Oscar González Frutos
Instituto Desarrollo (ID)
Asunción, Paraguay

Jorge Chamorro
Instituto Desarrollo (ID)
Asunción, Paraguay

Gustavo Rivas
Instituto Desarrollo (ID)
Asunción, Paraguay

Febrero – 2021

Introducción

A partir de los tres días después de la detección del primer caso de COVID-19 en el Paraguay, desde el 10 de marzo de 2020, el gobierno nacional ha implementado medidas para controlar la propagación del virus en el país. Las autoridades sanitarias se centraron en el establecimiento de una cuarentena restrictiva con el fin de controlar el número de infectados mientras incrementaba su capacidad para tratar casos que requieran internación. Ante esta situación, el impacto de las decisiones del Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social (MSPBS) se extendió a otras áreas como la economía, la educación y las relaciones sociales. Muchas de las cuales tuvo que afrontar se dieron bajo condiciones de incertidumbre, ya que, al inicio de la pandemia, la información a nivel mundial era insuficiente o inexistente. Asimismo, diversas metodologías que permitan una mejor toma de decisiones en este contexto se estaban aún desarrollando.

Actualmente, la disponibilidad de información y herramientas de análisis para la toma de decisiones en el contexto de la pandemia ha mejorado sustancialmente. Por otro lado, la inminente llegada de vacunas contra el COVID-19 al país hace suponer que la pandemia se encuentra controlada. Sin embargo, aún quedan difíciles decisiones a ser tomadas en ese lapso. Para esta labor, los nuevos conocimientos disponibles pueden ser aprovechados. El propósito de este trabajo es simular posibles escenarios del COVID-19 en Paraguay para el primer trimestre del 2021 utilizando modelos epidemiológicos versátiles. Las proyecciones realizadas, en conjunto con otras herramientas multidisciplinarias, tienen como finalidad desarrollar reglas de decisión que contribuyan a fortalecer la toma de decisiones en el contexto de la pandemia.

El trabajo se encuentra estructurado en seis secciones. Primeramente, se presenta la revisión de la literatura referente a modelos epidemiológicos de la pandemia del COVID-19. En segundo lugar, se analiza el efecto de las medidas de confinamiento en la movilidad de la población. En tercer lugar, se describe la evolución de la pandemia del COVID-19 en Paraguay a través de la curva epidémica y el nivel de infectividad. En cuarto lugar, se estima el número reproductivo básico (R_t) del COVID-19 para el caso paraguayo. Seguidamente, se presenta una proyección del número de muertes suponiendo que los parámetros actuales se mantienen constantes. Por último, se plantean dos posibles escenarios para el primer trimestre del 2021 a partir de la variación del número reproductivo básico.

Objetivos

General

Simular posibles escenarios del COVID-19 en Paraguay para el primer trimestre del 2021 utilizando modelos epidemiológicos.

Específicos

- Identificar el efecto de las medidas de confinamiento implementadas en la movilidad de la población.
- Describir la evolución de la pandemia del COVID-19 en Paraguay.
- Estimar el número reproductivo básico (R_t) durante la pandemia del COVID-19 en Paraguay.
- Realizar proyecciones de parámetros epidemiológicos relevantes de la pandemia del COVID-19 en Paraguay.

1. Revisión de la literatura

El impacto global del COVID-19 ha sido profundo. La amenaza que el COVID-19 representa para la salud pública es la más grave que se haya visto en un virus respiratorio desde la pandemia de la influenza H1N1 de 1918. Sin embargo, el impacto hubiera sido aún mayor si no se adoptaban medidas de mitigación no farmacéuticas para contener la pandemia. Walker et al. (2020) estimaron que, en ausencia de intervenciones de parte de los gobiernos, se habrían producido 7.000 millones de infecciones y 40 millones de muertes a nivel mundial en el año 2020 a causa del COVID-19. Las estrategias de mitigación utilizadas se centraron en ralentizar, pero no interrumpir la transmisión del virus por medio de la reducción de los contactos sociales. Se estima que estas medidas redujeron el número de muertes a la mitad, salvando 20 millones de vidas. No obstante, se predijo que, incluso en este escenario, los sistemas de salud en todos los países se verían rápidamente abrumados.

Se requiere de una combinación de múltiples intervenciones para tener un impacto sustancial en la transmisión del COVID-19. De acuerdo con Walker et al. (2020), la efectividad de cualquier intervención aislada resulta limitada. En su estudio, los autores presentaron los resultados del modelo epidemiológico que ha informado la formulación de políticas en el Reino Unido y otros países en el inicio de la pandemia. En ausencia de una vacuna contra el COVID-19, evaluaron el papel potencial de una serie de medidas de salud pública llamadas intervenciones no farmacéuticas. Estas intervenciones están destinadas a reducir las tasas de contacto en la población y así reducir la transmisión del virus. Para el análisis, aplicaron un modelo de micro

simulación previamente publicado en dos países: Gran Bretaña y en los EE. UU.

Existen diversas intervenciones que pueden ser implementadas para reducir el impacto de la pandemia del COVID-19. Ferguson et al. (2020), recomiendan dos estrategias fundamentales. La primera es la mitigación, que se centra en ralentizar, pero no necesariamente detener la propagación de la epidemia, reduciendo la demanda máxima de atención médica mientras se protege a quienes corren mayor riesgo de contraer una enfermedad grave a causa de la infección. En segundo lugar, recomiendan la supresión, que tiene como objetivo revertir el crecimiento de la epidemia, reduciendo el número de casos a niveles bajos y manteniendo esa situación indefinidamente. Los autores sostienen que cada política tiene grandes desafíos. Las políticas de mitigación óptimas, que combinan el aislamiento domiciliario de los casos sospechosos, la cuarentena domiciliaria de quienes viven en el mismo hogar que los casos sospechosos y el distanciamiento social de los ancianos y otras personas con mayor riesgo de enfermedad grave, podrían reducir la demanda máxima de atención médica en dos tercios y muertes a la mitad.

En una investigación centrada en el contexto del Reino Unido y E.E.U.U., Ferguson et al. (2020) demostraron que la supresión requiere de una combinación de distanciamiento social de toda la población, aislamiento domiciliario de los infectados y cuarentena domiciliaria de los miembros de su familia. Además, los autores plantearon la necesidad de complementar las medidas mencionadas con cierres de escuelas y universidades. El principal desafío de la supresión es que este tipo de paquete de intervención intensiva, o algo equivalentemente efectivo para reducir la transmisión, deberá mantenerse hasta que esté disponible una vacuna dado que predicen que la transmisión se recuperará rápidamente si las intervenciones son relajadas. El distanciamiento social intermitente, desencadenado por las tendencias en la vigilancia de enfermedades, puede permitir que las intervenciones se relajen temporalmente en ventanas de tiempo relativamente cortas, pero las medidas deberán reintroducirse si el número de casos repunta. Por último, la experiencia en China y en Corea del Sur muestra que la represión es posible a corto plazo. Sin embargo, aún no se puede afirmar que sea posible a largo plazo y que los costos sociales y económicos asociados a las intervenciones adoptadas pueda reducirse.

A principios del siglo pasado, Kermack and McKendrick (1927) refirieron que una de las características más llamativas del estudio de las epidemias es la dificultad de encontrar un factor causal que parezca adecuado para explicar la magnitud de las frecuentes epidemias de enfermedades que afectan a casi todas las poblaciones. Los autores afirman que el problema se puede resumir de la siguiente manera: personas infectadas se introducen en una comunidad de individuos, más o menos susceptibles a la enfermedad en cuestión. La enfermedad se transmite de los afectados a los no afectados por la infección por contacto. Cada persona infectada atraviesa el curso de su enfermedad, y finalmente se elimina del número de enfermos, por recuperación o

por muerte. Las posibilidades de recuperación o muerte varían de un día a otro durante el curso de su enfermedad. Las posibilidades de que el afectado pueda transmitir la infección a los no afectados también dependen de la etapa de la enfermedad. A medida que la epidemia se propaga, el número de miembros de la comunidad no afectados se reduce. Dado que el curso de una epidemia es corto en comparación con la vida de un individuo, se puede considerar que la población permanece constante, excepto en la medida en que se modifique por las muertes debidas a la propia enfermedad epidémica. Con el transcurso del tiempo, la epidemia puede llegar a su fin.

Uno de los problemas más importantes en epidemiología es determinar cuándo una epidemia termina. El final de la epidemia podría ocurrir solo cuando no quedan individuos susceptibles. Por otro lado, la interacción de los diversos factores de infectividad, recuperación y mortalidad puede resultar en la terminación, mientras que muchos individuos susceptibles todavía están presentes en la población no afectada. En su investigación, Kermack and McKendrick (1927) se limitan al caso en el que todos los miembros de la comunidad sean inicialmente igualmente susceptibles a la enfermedad, y se suponen además que una sola infección confiere inmunidad completa. Estos supuestos limitan la aplicabilidad de estos modelos a la pandemia actual del COVID-19. Además, resulta muy incierto predecir el fin de una epidemia debido a los escenarios cambiantes que son propios de propagación de una nueva enfermedad. Esta incertidumbre ocasiona que las investigaciones epidemiológicas se centren en otros parámetros que ayuden a estimar el comportamiento de una epidemia.

En una pandemia, varias características del virus pueden ser de interés para la salud pública y las autoridades gubernamentales. En los últimos años, la estimación del número reproductivo básico R_t ha centrado el interés de los investigadores. El R_t es el número promedio de casos nuevos que genera un caso dado a lo largo de un período infeccioso. La cantidad de publicaciones en distintas áreas, y mayormente en revistas científicas de epidemiología, va en aumento (Ridenhour et al., 2015). A partir de la pandemia ocasionada por la Influenza A (H1N1) en el año 2009, varios especialistas en modelización se concentraron en la estimación del R_t . Este parámetro es capaz de proveer información de la velocidad de propagación del virus. Los estudios publicados obtuvieron estimaciones oportunas de la tasa de reproducción para decidir sobre las intervenciones de salud pública (Boelle et al. , 2009).

La presente investigación se centra en estimar parámetros relevantes de la pandemia del COVID-19 en Paraguay a fin de entender su comportamiento y realizar proyecciones. De igual manera, busca identificar los efectos que tuvieron las medidas de mitigación implementadas en las distintas fases.

2. Movilidad

Para describir el efecto de las medidas implementadas en Paraguay a raíz de la pandemia del COVID-19 en la movilidad de la población, se analizaron datos sobre el cambio porcentual en las visitas a lugares de interés que Google¹ pone a disposición del público. Los datos muestran variaciones en cuanto a visitas a lugares categorizados como comercios minoristas, lugares de recreación, paradas de buses, terminales de buses y lugares de trabajo. Los cambios de movilidad se expresan como porcentajes. Este porcentaje se obtiene al comparar el movimiento de un día de la semana con el día de referencia. La línea de base es el valor mediano, para el día de la semana correspondiente, durante el período de 5 semanas del 3 de enero al 6 de febrero de 2020. Los datos representan gráficamente las tendencias de desplazamiento de la población a lo largo del tiempo. Estos datos de movilidad comunitaria tienen como objetivo proporcionar información acerca de la respuesta o acatamiento de la población a las políticas destinadas a combatir el COVID-19.

En Paraguay, las medidas de aislamiento fueron implementadas a partir del martes 10 de marzo de 2020, tres días después de la confirmación del primer caso de COVID-19 en el país. En ese momento, se tomó la decisión de suspender todas las actividades de carácter público, privado y académico por un periodo de 15 días. El 20 de marzo de 2020, a raíz de la confirmación de circulación comunitaria del virus, se decretó la Cuarentena Total que restringió totalmente la libre circulación, salvo excepciones puntuales. Estas restricciones estuvieron en rigor hasta el 3 de mayo de 2020. Posteriormente, el gobierno implementó una Cuarentena Inteligente, la cual consistió en habilitar sectores laborales en distintas fases. Esta liberación paulatina se dio en 4 fases, culminando el 4 de octubre de 2020. La fase posterior se denominó Nueva Normalidad, en la cual solo existen restricciones puntuales. Esta fase entró en vigor el 05 de octubre de 2020.

Las distintas fases y medidas implementadas durante la pandemia del COVID-19 tuvieron un notable efecto en la movilidad de la población paraguaya. En la Figura 1 se observan los cambios porcentuales en la movilidad de la población a nivel país durante la pandemia. La figura muestra la tendencia en el desplazamiento de la población durante el periodo febrero 2020 – enero 2021. Durante la Cuarentena Total, representado como el periodo entre la línea vertical del 10/03/20 y la línea que marca el inicio de la Fase 1, se observa un marcado descenso de la movilidad. En este periodo, exceptuando fines de semana, la movilidad se encontró a un nivel de entre el 30% y el 60 % comparando con la pre-pandemia o pre-cuarentena. Esto indica que existió un alto nivel de acatamiento de las medidas durante este periodo.

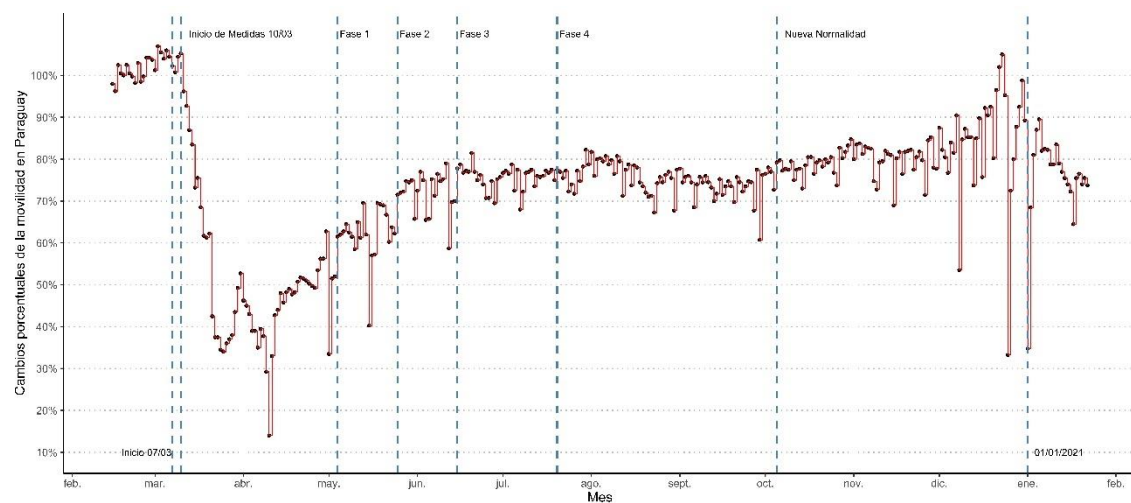
Además, en la Figura 1 también se puede apreciar que la movilidad de las personas

¹ Datos disponibles en el siguiente enlace: <https://www.google.com/covid19/mobility/>

va aumentando a medida que las restricciones son más flexibles. Entre la línea vertical que marca el inicio de la Fase 1 y la línea que marca el inicio de la Fase 3 se muestra un paulatino aumento en la movilidad. Por otro lado, no existe una diferencia muy marcada a partir de la Fase 3. El movimiento se mantiene entre el 70 % y el 80 % aproximadamente hasta fines del noviembre de 2020, a partir del mes de diciembre, el movimiento se incrementa de manera progresiva llegando incluso a sobrepasar el 100 % del movimiento normal de la población. Estos picos de movilidad corresponden a los días 22 y 23 de diciembre, durante la semana de Navidad de manera similar, se observa un alto nivel de movilidad en los últimos días del 2020.

En el mes de enero 2021 podemos ver que la movilidad fue retornando gradualmente al nivel previo a las fiestas, situándose en alrededor del 75%. Esto indica que el alto nivel de circulación observado a fines del 2020 fue consecuencia de un relajamiento presentado durante las fiestas, pero no así un cambio de tendencia en cuanto a la movilidad de la población.

Figura 1: Cambios porcentuales de la movilidad en Paraguay desde el inicio de la Pandemia COVID-19



Fuente: Elaboración propia con datos de Google – Informes de Movilidad Comunitaria

Existe una alta concentración de casos en los departamentos más poblados del país. Al 22 de enero del 2021, el 82 % de los infectados detectados se encuentran en Asunción, Central, Caaguazú y Alto Paraná. Se comparó la movilidad entre estas zonas, de manera a detectar posibles diferencias que puedan ayudar a entender el ritmo de los contagios o bien detectar zonas que se acatan en menor medida a las restricciones de movilidad. La movilidad durante las distintas fases de la cuarentena muestra tendencias muy similares en todas las regiones analizadas.

3. Curva epidémica y nivel de infectividad

En esta sección, se presentan dos elementos que describen la evolución de la pandemia del COVID-19 en Paraguay: la curva epidémica y el nivel de infectividad. La curva epidémica representa la cantidad de casos diarios confirmados según el MSPBS. Esta curva inicia el 07 de marzo de 2020, día en el cual se detectó el primer caso del COVID-19 en Paraguay. Por otro lado, la infectividad es una medida relativa de la fuerza de infección actual o la infectividad de un brote. El nivel de infectividad fue calculado utilizando el paquete *EpiEstim* del software estadístico R (Cori et al., 2013; R Core Team, 2020). En la Ecuación (1), se presenta la fórmula para el cálculo de la infectividad λ_t . En términos matemáticos λ_t se expresa:

$$\lambda_t = \sum_{s=1}^{t-1} R_s y_s w(t-s) \quad (1)$$

dónde:

- $w()$ es la función de masa de probabilidad del intervalo serial. El intervalo serial promedio utilizado es de 4.8 días y una desviación estándar de 2.3. (Liu, Funk y Flasche, 2020; Nishiura, Linton y Akhmetzhanov, 2020; Peak et al., 2020).
- y_s es la incidencia (por fecha de inicio) en el momento s .
- R_s es el número de reproducción efectivo (número promedio de casos secundarios por caso infectado) en el momento s .

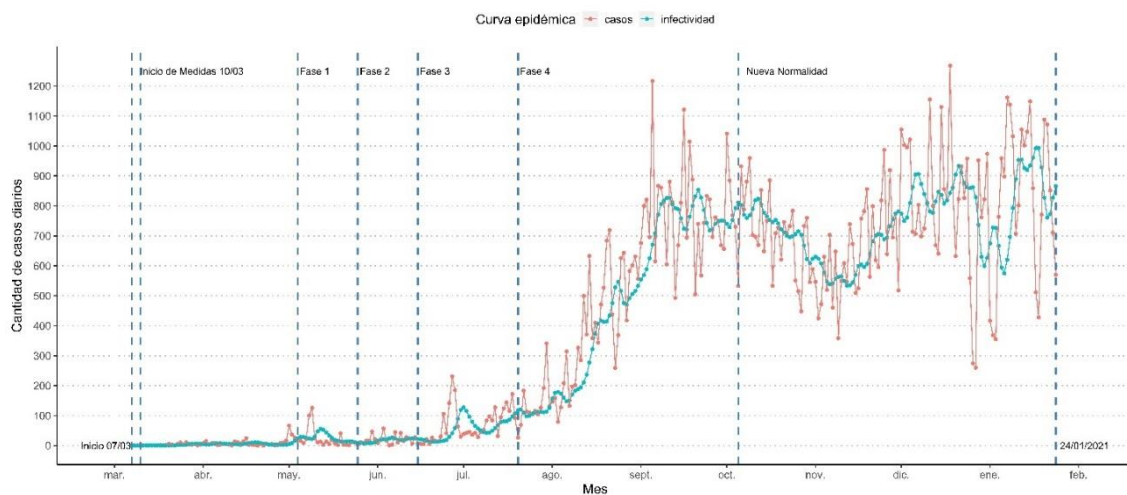
Los datos de casos diarios de COVID-19 se obtuvieron a partir de los reportes de casos confirmados publicados en la página web del MSPBS². Es importante destacar que las infecciones registradas difícilmente incluyan los casos asintomáticos y leves que no necesariamente se identificarían mediante la vigilancia. La curva epidémica y la infectividad se presentan en la Figura 2. Se puede observar un constante pero lento aumento del número de casos diarios detectados desde el inicio de la pandemia hasta el fin de la Fase 3. A partir de la Fase 4, se observa un rápido incremento en el número de casos detectados. Posteriormente, el número de casos diarios detectados se mantuvo en una meseta entre los meses de septiembre y octubre. Durante las primeras semanas de noviembre, el número de casos diarios detectados se redujo nuevamente hasta un mínimo de aproximadamente 550 casos diarios. A partir de la segunda quincena de noviembre, el número de casos detectados vuelve a subir hasta alcanzar un pico de más de 1100 casos detectados. Luego de este periodo, el número

² Datos disponibles en el siguiente enlace: <https://www.mspbs.gov.py/reporte-covid19.html>

de casos de reduce nuevamente a fines de diciembre.

Durante la primera quincena de enero del 2021, el número diario de caso detectados presentó una pequeña reducción alcanzando un mínimo de menos de 300 confirmados. Posteriormente, el número de casos vuelve a subir hasta cerca de 1.100 por día. Esta variabilidad presentada entre diciembre 2020 y enero 2021 podría ser explicado por el aumento de la movilidad de la población en el mismo periodo. Durante diciembre del 2020 se presentaron picos de circulación de personas (ver Figura 1). Estos incrementos en la movilidad se presentaron en días puntuales, como el 22 y 23 de diciembre. Posteriormente, la movilidad se reduce nuevamente. Este mismo patrón se observa en la curva epidémica, pero con un rezago de 2 semanas respecto a la movilidad. Esto nos da la pauta de que el monitoreo del nivel de movilidad puede ser una herramienta importante para predecir un aumento del número de casos.

Figura 2: Curva epidémica y la Infektividad actual del COVID-19 en Paraguay



Fuente: Elaboración propia con datos del MSBBS

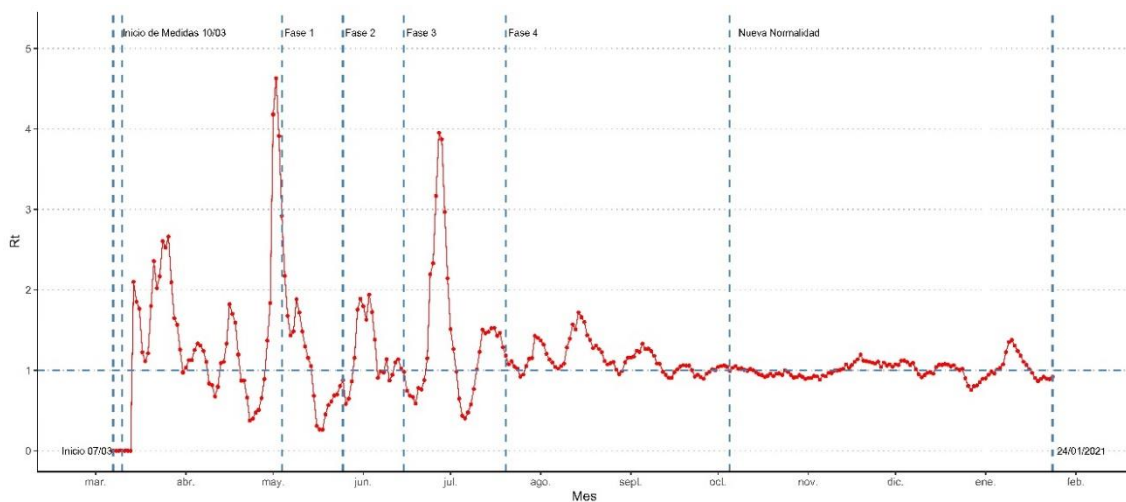
4. Cálculo del número reproductivo básico (R_t)

El monitoreo y cuantificación de la transmisibilidad durante las epidemias es fundamental para diseñar y ajustar las respuestas de salud pública. La transmisibilidad se puede medir por el número reproductivo básico (R_t). El número reproductivo básico es una métrica utilizada para seguir el ritmo del virus. Este número estima a cuántas personas contagia, en promedio, cada infectado activo. Si su valor es menor que 1, en promedio, cada infectado contagia a menos de una persona, entonces el brote entra en remisión y acaba desapareciendo, al menos temporalmente.

La R_t fue calculado utilizando el paquete EpiEstim del software estadístico R (Cori et al., 2013; R Core Team, 2020). Se utilizaron datos correspondientes a casos diarios

confirmados del MSPBS. Además, se utilizó un intervalo de serie esperado promedio de 4.8 días con una desviación estándar de 2.3 días (Liu, Funk y Flasche, 2020; Nishiura, Linton y Akhmetzhanov, 2020; Peak et al., 2020). En términos prácticos, el intervalo serial es el tiempo promedio entre el inicio de la enfermedad en el caso primario y el inicio de la enfermedad en el caso secundario: cuanto mayor sea el intervalo serial, más tiempo se dispone para actuar sobre el problema, implementar las medidas de prevención y control y, por tanto, más posibilidades de contener la epidemia. Cuanto más corto sea el tiempo de generación, más difícil será controlar el brote.

Figura 3: Estimaciones de R_t en el tiempo.



Fuente: Elaboración propia con datos del MSBBS³

En la Figura 3 se observan las estimaciones de R_t en el tiempo para el caso de Paraguay. Durante la primera mitad de la pandemia, entre los meses de marzo y setiembre 2020, se observa una gran variación en el R_t . Esta alta variabilidad en el periodo inicial puede ser explicado por la variación en el número de muestras realizadas al principio. A medida que aumenta el número de toma de muestras, el R_t puede ser calculado con mayor precisión. A partir del mes de setiembre 2020 el R_t se mantuvo en torno o ligeramente por encima de 1. Se observan pequeñas variaciones, de entre el 10 % y el 20 %. Estos porcentajes pueden parecer despreciables. Sin embargo, un ligero aumento en el R_t puede ocasionar un fuerte aumento del número de caso y, en consecuencia, en el número de muertes en las semanas posteriores

Además, se destaca el aumento de R_t durante la primera quincena de enero del 2021. Este pequeño salto podría estar explicado, en parte, por el alto nivel de circulación presentado durante las fiestas de fin de año (ver Figura 1). Esto indica que resulta importante monitorear la movilidad de la población de manera a detectar

³ Datos disponibles en el siguiente enlace: <https://www.mspbs.gov.py/reporte-covid19.html>

picos de circulación que puedan afectar el rumbo de la pandemia. Los efectos de una variación en la movilidad de la población y del R_t en el número de muertes y ocupación de camas a causa del COVID-19 son analizados en las siguientes secciones.

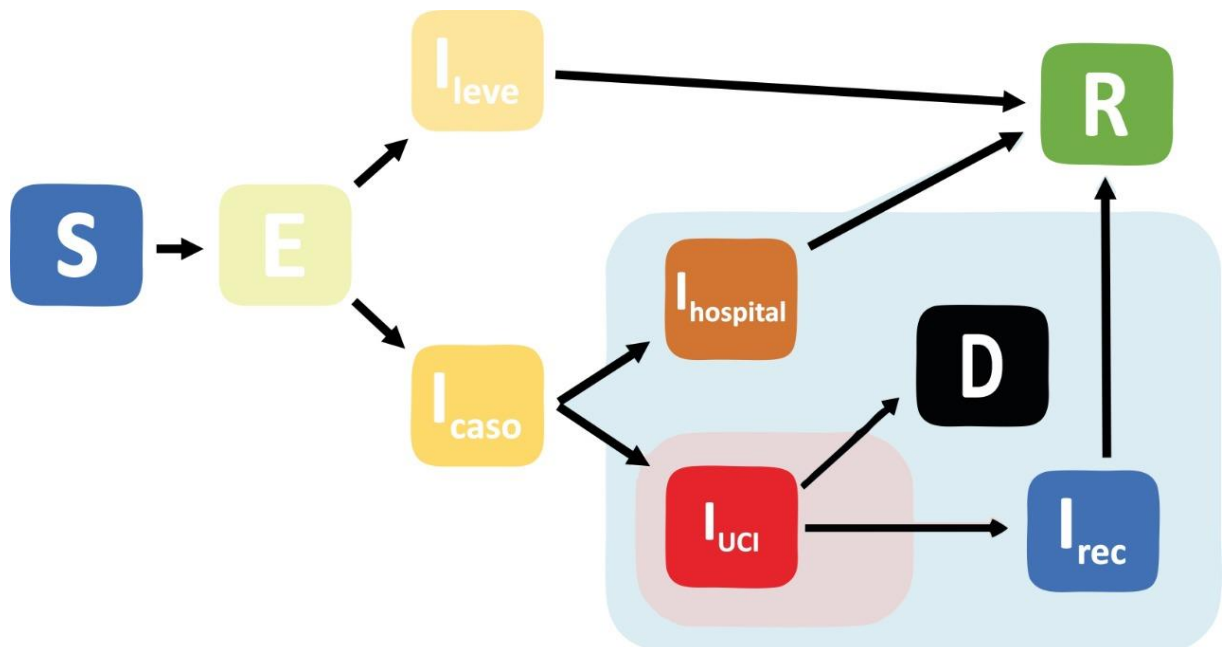
5. Simulaciones y Proyecciones

La simulación de los escenarios epidemiológicos se realizó teniendo en cuenta los datos disponibles reportados por el MSPBS del Paraguay⁴. Los parámetros fueron tomados de acuerdo con la literatura científica existente.

Las simulaciones se realizaron utilizando el software R Core Team (2020). Específicamente, se utilizó el paquete *squire* (Watson et al., 2020). Este paquete que permite simular modelos de epidemias de COVID-19, utilizando un modelo SEIR estructurado por edad, con la clase infecciosa dividida en diferentes etapas que reflejan la progresión a través de diferentes vías de gravedad de la enfermedad. Además, también se considera la capacidad de atención médica y la gravedad de la enfermedad. Esta herramienta permite realizar proyecciones de la prevalencia de las infecciones día a día, proporcionan los números esperados de personas que requerirán hospitalizaciones y de Unidad de Cuidados Intensivos (UCI).

En los diferentes escenarios se puede comparar la capacidad del sistema de salud (número máximo de camas para hospitalización y camas para cuidados intensivos disponible) con la necesidad real. Por otro lado, también se puede detectar el pico de la epidemia y el total de muertes proyectadas hasta una fecha establecida.

Figura 3: Estructura general del modelo SEIR



Fuente: Watson et al. (2020). Paquete *squire*. Recuperado de: <https://mrc-ide.github.io/squire/>

⁴ Datos disponibles en el siguiente enlace: <https://www.mspbs.gov.py/reporte-covid19.html>

Donde:

- S = Susceptibles.
- E = Expuesto (Infección latente)
- I_{Leve} = Infecciones que no requieren hospitalización, incluida la infección asintomática.
- I_{Caso} = Infecciones que requieren hospitalización.
- $I_{Hospital}$ = Hospitalizado (requiere cama de hospital)
- I_{UCI} = Infección hospitalizada en Unidades de Cuidados Intensivos (UCI).
- I_{Rec} = Recuperado de UCI (Requiere cama de hospital)
- R = Recuperado
- D = Muerto

El modelo SEIR sigue la siguiente lógica. En una población de tamaño fijo, los individuos pueden encontrarse en uno de los cuatro estados considerados: Susceptible (S), Expuesto (E), Infectado (I) o Recuperado (R). Los individuos susceptibles (S) son aquellos que aún no se han enfermado. Al entrar en contacto con el virus, una persona pasa al grupo de expuestos (E), portando la enfermedad en periodo de incubación. Estos individuos podrían no presentar síntomas y no estar en condición de infectar a otros. Una vez contagiada, la persona podría no requerir hospitalización (I_{Leve}) o requerirla (I_{Caso}). El grupo de infectados leves (I_{Leve}) incluye a los casos asintomáticos. La persona hospitalizada puede requerir internación en cama normal ($I_{Hospital}$) o en cuidados intensivos (I_{UCI}). Las probabilidades de muerte son mayores en el grupo de hospitalizados en cuidados intensivos. Las personas hospitalizadas podrían recuperarse (R) o fallecer (D) a causa del COVID-19. El paciente recuperado de la unidad de cuidados intensivos se denomina I_{rec} . Estas personas son consideradas en un grupo diferente debido a que, generalmente, aún ocupan camas normales luego de abandonar la terapia intensiva.

El modelo fue calibrado utilizando los datos de muertes registradas. Estos datos tienen el inconveniente de que llegan con retraso. Las muertes tardan en producirse dos o tres semanas desde el contagio. Son datos que, en cierto sentido, nos hablan del pasado de la epidemia. Pero su ventaja es que, aunque no sean datos perfectos, son registros más precisos que los casos confirmados. Debemos recordar que estamos midiendo dos fenómenos al mismo tiempo: el aumento real de infectados y la capacidad de detectarlos por parte de las autoridades. Sabemos que la cantidad de infectados detectados son solo una fracción del total. Por lo tanto, el número de muertes resulta una variable más confiable para realizar proyecciones.

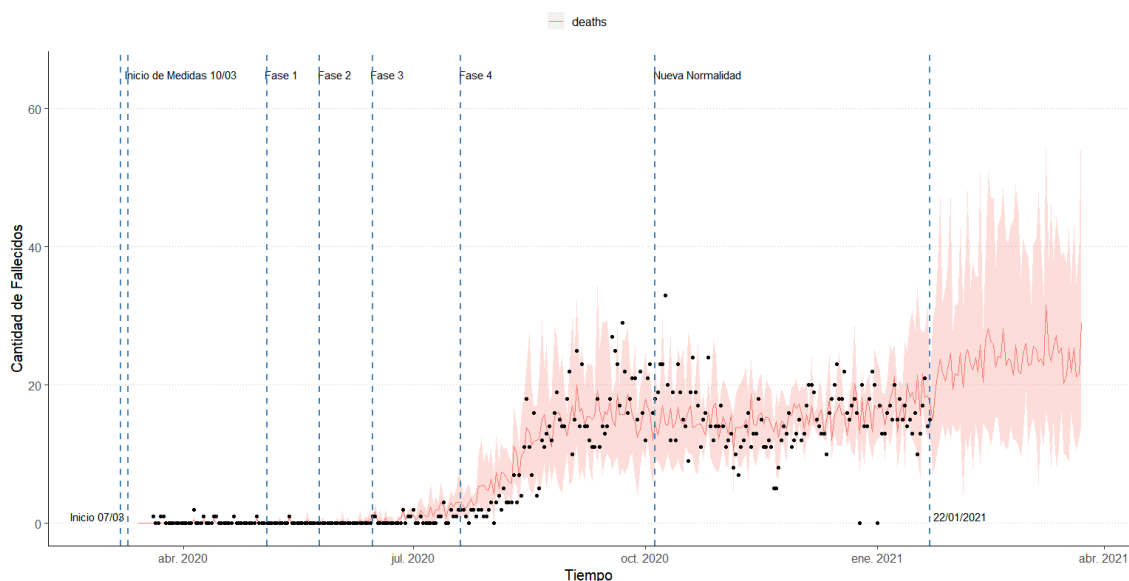
5.1. Calibración del modelo a los datos de muertes observadas

El modelo se calibra con series de tiempo de muertes reportadas, teniendo en cuenta los datos desde el principio de la pandemia hasta el 22 de enero de 2021. La calibración se produce utilizando un rango de posibles valores de R_t y fechas de inicio. Para esta simulación se utilizaron valores muy próximos a los que registran en Paraguay durante el desarrollo de la pandemia del COVID-19, tomando como valor mínimo $R_t = 1$ y como valor máximo de $R_t = 2$. Otra medida que se incorpora al modelo son los datos de movilidad anteriormente presentados. Los datos de movilidad resultan importantes debido a que Paraguay ha implementado medidas desde el comienzo de la pandemia.

Para la simulación se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros:

- $R_{t \min} = 1$,
- $R_{t \max} = 2$
- Datos de defunciones desde el primer caso (20 de marzo de 2020) hasta 22 de enero de 2021.
- Datos de movilidad de Google⁵
- Otros parámetros por defecto⁶: población estructurada por edad de Paraguay, matriz de contacto, capacidad de camas de hospital, etc.

Figura 4: Estimación del número de muertes a causa del COVID-19 en Paraguay



⁵ Datos disponibles en el siguiente enlace: <https://www.google.com/covid19/mobility/>

⁶ Parámetros disponibles en el anexo del trabajo.

Fuente: *Elaboración propia con datos del MSByBS*⁷

En la Figura 4, los puntos negros representan las muertes registradas hasta el 22 de enero de 2021. En ese periodo, la línea roja corresponde al ajuste del modelo. Se observa como el modelo captura el comportamiento de la cantidad de muertes. A partir de la línea vertical que marca el 22 de enero de 2021, la línea roja representa una proyección del número de muertes para los meses de febrero y marzo 2021. Esto permite anticipar un posible escenario de cantidad de muertes si se mantiene el nivel actual de infecciones.

De acuerdo con el modelo ajustado, se presentarían entre 20 a 30 muertes diarias a causa del COVID-19 en el país durante el primer trimestre del 2021. Esta proyección toma el supuesto de que la movilidad de la población se mantenga constante, en alrededor del 75% en comparación con el periodo pre-pandemia. Bajo estas condiciones, no se proyecta un aumento descontrolado en el número de muertes sino una meseta durante los primeros meses del 2021. No obstante, una variación en la movilidad y el número reproductivo básico podría llegar a duplicar la cantidad esperada de muertes en un corto periodo. Además, debemos considerar la posible saturación del sistema de salud nacional. La falta de atención médica aumentaría las probabilidades de muerte de los casos que requieren hospitalización. Por este motivo, en las siguientes secciones se simula la ocupación de camas para los meses de febrero y marzo 2021.

6. Resultados principales y Conclusiones

- El modelo presentado puede ser recalibrado automáticamente por el MSPBS.
- A nivel general, los datos muestran que la población acató las medidas de aislamiento y respondió rápidamente a las liberalizaciones paulatinas. Esto demuestra que las distintas fases implementadas tuvieron el efecto deseado en cuanto a la reducción de la movilidad a fin de evitar los contactos.
- La población en las diferentes zonas del país se comportó de manera similar durante las distintas fases de la cuarentena. Por lo tanto, no se puede afirmar que existan regiones “más cumplidoras” o “menos cumplidoras” sino un comportamiento uniforme a nivel país y que los contagios son proporcionales a los tamaños de la población susceptible.

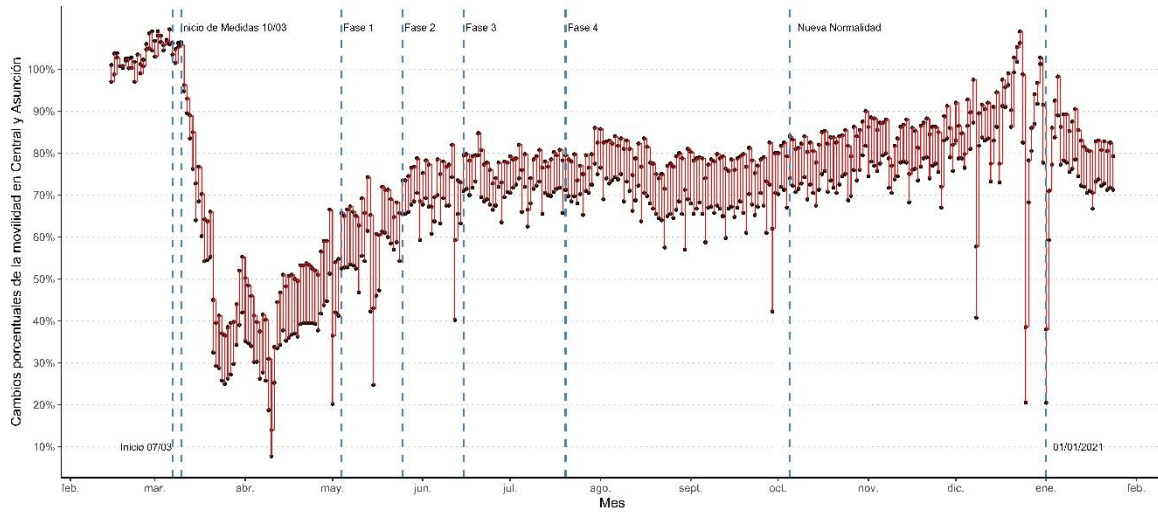
⁷ Datos disponibles en el siguiente enlace: <https://www.mspbs.gov.py/reporte-covid19.html>

REFERENCIAS

- Boelle, P., Bernillon, P., and Desenclos, J. (2009). A preliminary estimation of the reproduction ratio for new influenza a (h1n1) from the outbreak in mexico, march-april 2009. *Eurosurveillance*, 14(19):19205.
- Cori, A., Ferguson, N. M., Fraser, C., and Cauchemez, S. (2013). A New Framework and Software to Estimate Time-Varying Reproduction Numbers During Epidemics. *American Journal of Epidemiology*, 178(9):1505–1512.
- Ferguson, N., Laydon, D., Nedjati Gilani, G., Imai, N., Ainslie, K., Baguelin, M., Bhatia, S., Boonyasiri, A., Cucunuba Perez, Z., Cuomo-Dannenburg, G., et al. (2020). Report 9: Impact of non-pharmaceutical interventions (npis) to reduce covid19 mortality and healthcare demand.
- Kermack, W. O. and McKendrick, A. G. (1927). A contribution to the mathematical theory of epi- demics. *Proceedings of the royal society of london. Series A, Containing papers of a mathematical and physical character*, 115(772):700–721.
- R Core Team (2020). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Ridenhour, B., Kowalik, J. M., and Shay, D. K. (2015). El número reproductivo básico (r_0): consideraciones para su aplicación en la salud pública. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 38:167–176.
- Walker, P., Whittaker, C., Watson, O., Baguelin, M., Ainslie, K., Bhatia, S., Bhatt, S., Boonyasiri, A., Boyd, O., Cattarino, L., et al. (2020). Report 12: The global impact of covid-19 and strategies for mitigation and suppression.
- Watson, O., Winskill, P., Brazeau, N., Fitzjohn, R., Walker, P., and Hereñú, D. (2020). mrc- ide/squire: v0. 4.34.

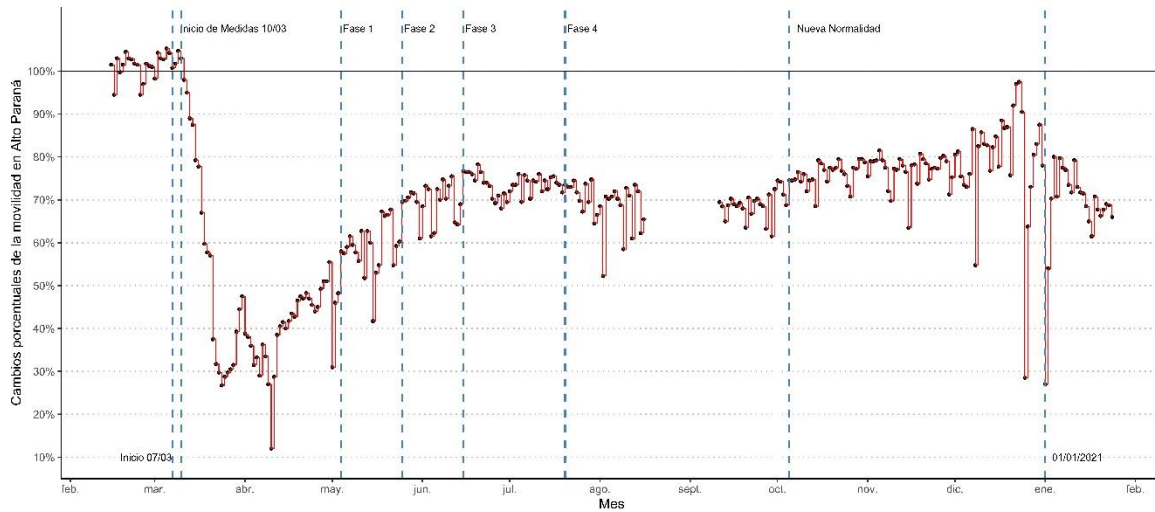
ANEXOS

Figura 11: Cambios porcentuales de la movilidad en Asunción y el Departamento Central desde el inicio de la Pandemia COVID-19



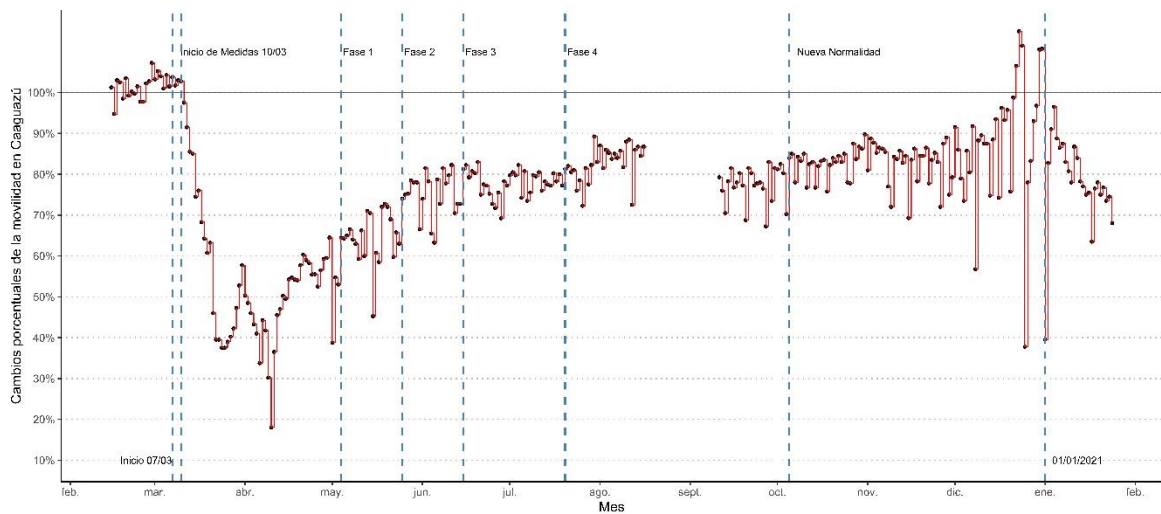
Fuente: Elaboración propia con datos de Google – Informes de Movilidad Comunitaria

Figura 12: Cambios porcentuales de la movilidad en Alto Paraná desde el inicio de la Pandemia COVID-19



Fuente: Elaboración propia con datos de Google – Informes de Movilidad Comunitaria

Figura 13: Cambios porcentuales de la movilidad en Caaguazú desde el inicio de la Pandemia COVID-19



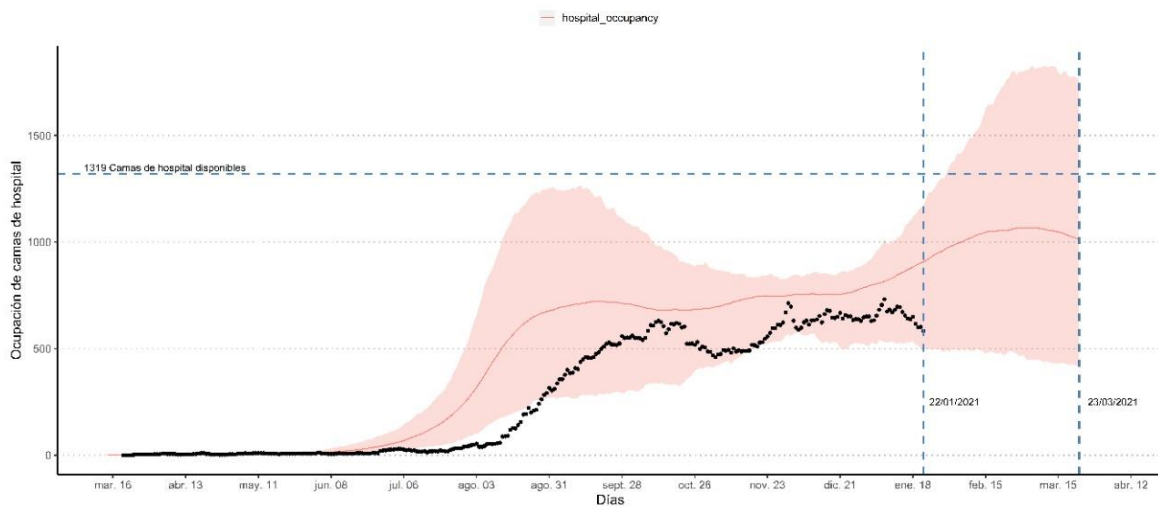
Fuente: Elaboración propia con datos de Google – Informes de Movilidad Comunitaria

Tabla 1: Población de Paraguay, cantidad de infectados detectados, cantidad de fallecidos y el porcentaje de fallecidos de acuerdo a la cantidad de infectados clasificados por grupos de edad.

Grupo etáreo	Población	Infectados	Fallecidos	Porcentaje de Fallecidos
0-4	701092	705	2	0.28 %
5-9	320704	982	1	0.10 %
10-14	682819	1476	1	0.07 %
15-19	676926	4306	1	0.02 %
20-24	659352	11207	13	0.12 %
25-29	677788	14970	12	0.08 %
30-34	643255	14429	32	0.22 %
35-39	595068	12626	48	0.38 %
40-44	514058	8930	59	0.66 %
45-49	406934	6772	74	1.09 %
50-54	290815	6339	124	1.96 %
55-59	257549	5442	180	3.31 %
60-64	220376	4274	263	6.15 %
65-69	181786	2974	295	9.92 %
70-74	127510	1975	287	14.53 %
75-79	86215	1395	276	19.78 %
80+	90283	1810	435	24.03 %

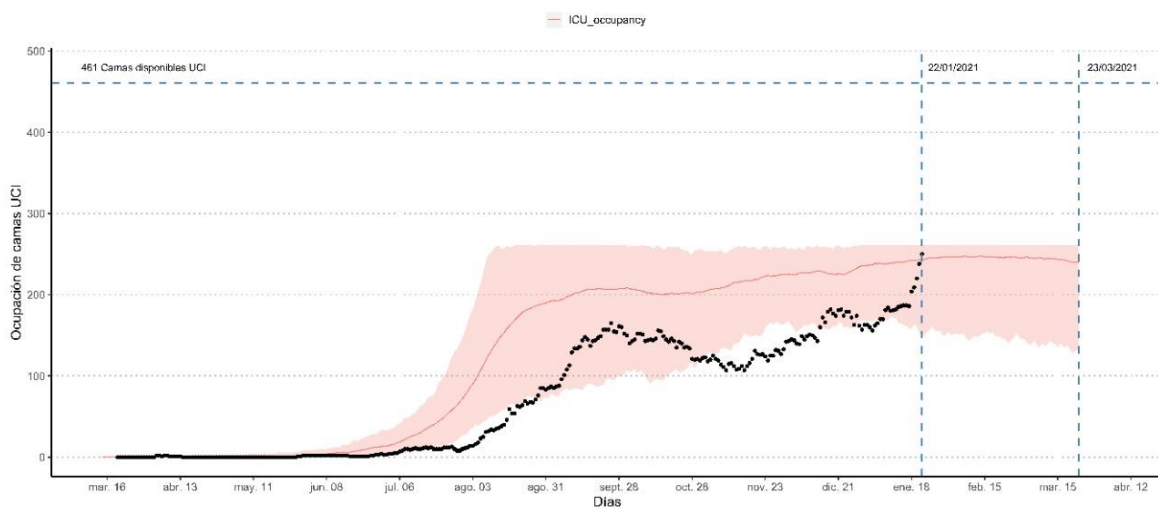
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del MSPyBS.

Figura 14: Estimación de ocupación de camas normales a causa del COVID-19 en Paraguay



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del MSPyBS.

Figura 15: Estimación de ocupación de camas UCI a causa del COVID-19 en Paraguay



Paraguay

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del MSPyBS.