



Universidad Nacional
de San Juan



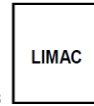
CONICET



UNC
Universidad
Nacional
de Córdoba



FCEfyn
Facultad de
Ciencias Exactas
Físicas y Naturales



LIMAC
Laboratorio de
Investigación Matemática
Aplicada a Control

Evolución Dinámica del Coronavirus en San Juan

Un enfoque matemático de Observación y Mitigación

14 de diciembre de 2020

*Dr. Ing. H. Daniel Patiño y Dr. Ing. Santiago Tosetti
Instituto de Automática, Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional de San Juan
Av. Lib. San Martín, 1109 (O), 5400 San Juan*

*Dr. Ing. Julián Pucheta
LIMAC, FCEfyn
Universidad Nacional de Córdoba*

*Dr. Ing. Cristian Rodríguez Rivero
Wiskunde en Informatica
Universiteit van Amsterdam
Amsterdam, The Netherlands*

En este breve reporte, el cuarto, se presenta cómo se observa en esta etapa de la evolución de la dinámica y propagación del SARS-Cov2, que produce la enfermedad del Covid-19, en la provincia de San Juan.

En la primera parte se dan las diferentes fuentes de datos empleados para el registro estadístico y la construcción de los modelos matemáticos, siguiendo los estándares internacionales recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la comunidad científica. En la segunda parte se muestran y analizan principalmente dos escenarios de evolución temporal de la pandemia. Finalmente se dan algunas recomendaciones a la población con el fin de contribuir a que se involucre y comprometa activamente con el combate de esta epidemia.

1. Fuentes de Datos Empleadas

Se emplean principalmente tres fuentes de datos. Una es la base de datos Our World in Data de la Universidad de Oxford, Londres, la cual registra datos de todos los países del mundo. La segunda fuente, es a partir de los datos oficiales dados por el Ministerio de Salud Pública de la provincia de San Juan. La tercera fuente de datos son la movilidad poblacional que brinda la base de datos de movilidad automática de Google para investigación, dividida en seis segmentos.



Universidad Nacional
de San Juan



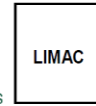
CONICET



UNC
Universidad
Nacional
de Córdoba



FCEyN
Facultad de
Ciencias Exactas
Físicas y Naturales



LIMAC
Laboratorio de
Investigación Matemática
Aplicada a Control

Existen estándares internacionales relacionados a la forma de obtención y registro de los datos para poder ser apropiadamente empleados en el registro estadístico, la construcción de modelos matemáticos y la toma de decisiones. Dos estándares importantes establecen el procedimiento apropiado para poder capturar y estimar la dinámica de expansión de la enfermedad del Covid-19 en una determinada población. Estos índices están vinculados al muestreo de la población, y son, el de positividad de los testeos y la cantidad de testeos diarios que se deben hacer en una determinada población para poder evaluar apropiadamente la expansión de la enfermedad. Las recomendaciones de la OMS (Organización Mundial de la Salud), y de la comunidad científica, es que se deben conseguir *índices de positividad bajos*, del orden o menor al 10%, y la realización de unos 10 test cada 1000 habitantes.

La tasa de positividad en el testeo es una relación entre la cantidad de casos positivos y el total de testeos realizados (suma de los test negativos y positivos):

$$\text{Índice de Positividad} = \frac{\text{Tests positivos}}{\text{Total de tests realizados (positivos + negativos)}}$$

También este índice se puede calcular como el promedio semanal.

Este índice es utilizado para evaluar si los casos positivos de infectados detectados reflejan la cantidad real de infectados de una población, es decir, si se está capturando la dinámica temporal de expansión de contagios de la enfermedad. Como se dijo, los estándares internacionales establecen que ***índices superiores al 10% indica que no se está detectando la verdadera cantidad de infectados diarios***. Lo recomendado es que sea del orden del 5%, o menor, y entonces el testeo con aislamiento será una herramienta efectiva de mitigación no farmacológica contra la propagación del Covid-19. Esta herramienta de mitigación de este siglo permite detectar y poder aislar a los infectados, pero principalmente, a los asintomáticos o pre sintomáticos. ***"Alcanzar un nivel de positividad de testeo por debajo del 5% permite flexibilizar actividades de forma segura"*** (comerciales, escuelas, sociales, etc., estar en fases altas de *distanciamiento poblacional*). De esto no hay duda, y se ha podido probar en nuestros trabajos de investigación recientemente publicados. Además, los datos obtenidos siguiendo estos estándares garantizan el registro estadístico apropiado, la posibilidad de ser empleados en la construcción de modelos matemáticos, su empleo en la toma de decisiones y el desarrollo de estrategias de mitigación.

Para poner algunos ejemplos: en Estados Unidos, el índice de positividad es del 6.8 %; en India, del 8.1; en Brasil, del 28; en Rusia, del 2.4; en Colombia, del 22.3; en Chile, del 13.2; en Italia, del 2.8; en Reino Unido, del 2.2; en Francia, del 5.7; y en Suecia, del 5.8. **Argentina, del 37.6%**, es



Universidad Nacional
de San Juan



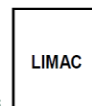
CONICET



UNC
Universidad
Nacional
de Córdoba



FCEyN
Facultad de
Ciencias Exactas
Físicas y Naturales



LIMAC
Laboratorio de
Investigación Matemática
Aplicada a Control

una de las tasas de positividad más altas de la región. **San Juan, con el 41%**, y un promedio mensual del orden del 47%.

El otro estándar internacional está vinculado a la cantidad apropiada y suficiente de testeos diarios como para poder alcanzar ese índice de positividad del 10% o menos. Para ello la recomendación es de realizar 10 test cada 1000 habitantes. Para el Dr. Conrado Estol, **"el testeo es especialmente importante para identificar personas asintomáticas que diseminan la enfermedad, pero no pueden ser identificadas si no se diagnostican con el testeo"**. En esto no hay duda en la comunidad científica.

Estos dos estándares internacionales, recomendaciones de la OMS y de la comunidad científica, **deben ser cumplidos para que los datos obtenidos de los testeos diarios puedan ser considerados** en los registros estadísticos de las bases de datos internacionales, para que la comunidad científica los emplee en la construcción de modelos matemáticos y para el desarrollo de estrategias de mitigación no farmacológicas contra el Covid-19.

Análisis de la Provincia de San Juan

Empleando los partes diarios oficiales del Ministerio de Salud Pública de la provincia de San Juan, se observa que el *índice de positividad diaria es elevado* y está directamente relacionado con una *baja cantidad de testeos diarios* que se realizan. San Juan presenta un índice de positividad superior al 40%, habiendo llegado a superar más del 50%, y con un promedio mensual del orden del 47%. Además, la cantidad de test diarios es del orden de los 300, con un promedio semanal de 244. La evolución temporal de ambos índices puede verse en las gráficas de las Figuras 1 y 2. Las curvas mostradas son obtenidas a partir del 19 de agosto del presente año, inicio del brote de Caucete.



Universidad Nacional de San Juan



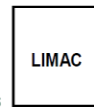
CONICET



UNC
Universidad Nacional de Córdoba



FCEyN
Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales



LIMAC
Laboratorio de Investigación Matemática Aplicada a Control

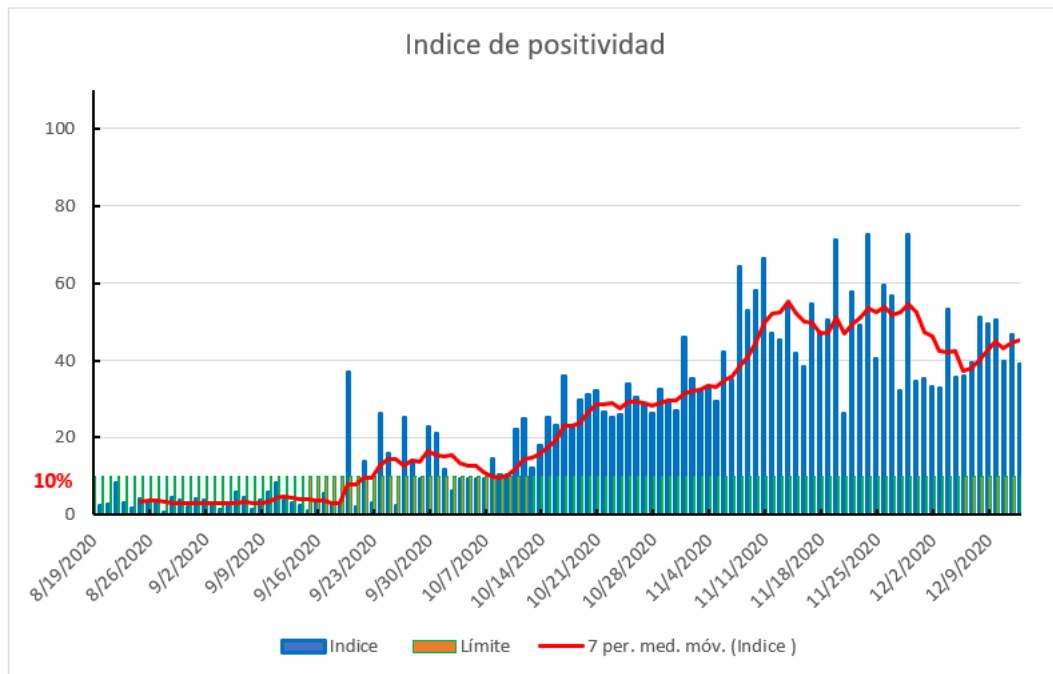


Figura 1. Índice de positividad en el testeo diario de la provincia de San Juan construido a partir de los datos oficiales del Ministerio de Salud Pública.

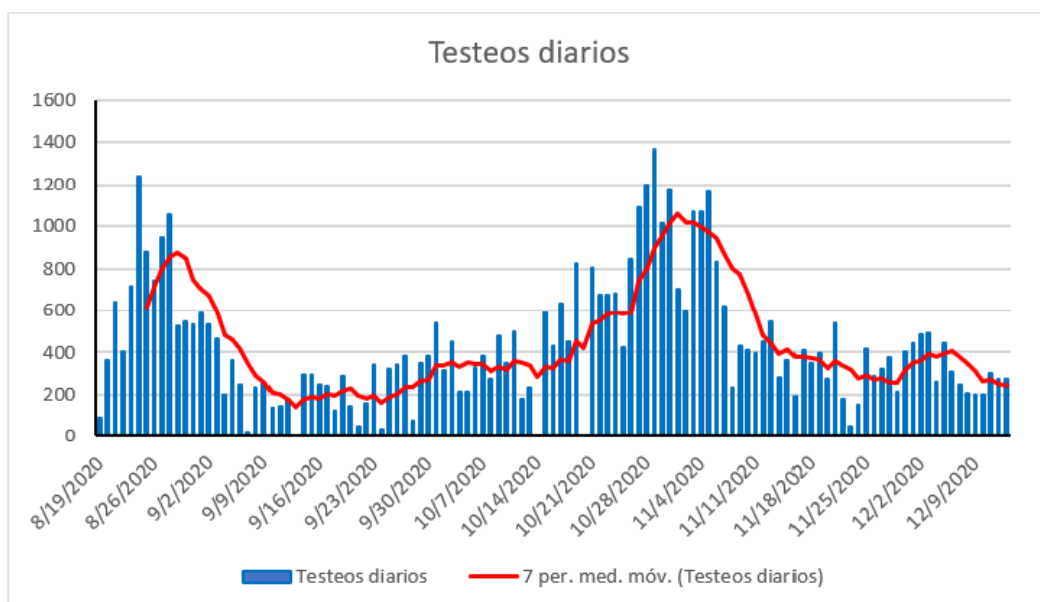


Figura 2. Testeo diario de la provincia de San Juan a partir de los datos oficiales del Ministerio de Salud Pública.



Universidad Nacional
de San Juan



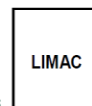
CONICET



UNC
Universidad
Nacional
de Córdoba



FCEyN
Facultad de
Ciencias Exactas
Físicas y Naturales



LIMAC
Laboratorio de
Investigación Matemática
Aplicada a Control

Esta situación, de tener índices de positividad elevados y baja cantidad de testeos, y guiados por las recomendaciones según los estándares internacionales, ocasiona que *los datos oficiales referidos a la detección de los nuevos casos no se consideren para los registros estadísticos ni para la construcción de modelos matemáticos. El elevado sesgo en esos datos llevaría a cometer errores significativos, tanto en los registros estadísticos como en los modelos.*

Todos los científicos y especialistas coinciden, en que mientras más casos se encuentren entre todas las personas que están infectadas, mayor será la posibilidad de aislarlos y seguir la trazabilidad de sus contactos estrechos, y así, posibilitar cortar la expansión del virus y su control. *"Por el contrario, si solo se detecta una pequeña proporción de los infectados, la mayoría seguirá circulando y contagiando al resto de los susceptibles. Entonces, el virus seguirá circulando y la pandemia continuará expandiéndose".*

Se proponen unos ejemplos para que se comprenda mejor estos dos importantes estándares internacionales que deberían cumplirse.

Con la realización de una cantidad baja de testeos se corre el riesgo de no poder saber a ciencia cierta lo que realmente está pasando, con qué velocidad se está expandiendo la enfermedad en la población. *Ejemplo.* Si se supone que hay por día unos 1000 infectados y se realizan sólo 200 testeos, suponiendo además un índice de positividad del 50%, se habrán detectado solo 100 nuevos casos, escapándose 900 casos sin detectar. Ahora, si solo se hacen 100 test diarios, con la misma tasa de positividad, se obtendrán 50 nuevos casos. Evidentemente, a medida que se testeé menos, más aplanada se verá la curva de infectados, conduciendo a un error dada vez mayor. Si la cantidad de test diarios continua con un promedio bajo, se observará una *curva amesetada irreal*. Un caso extremo, es que el día en que se realicen solo 10 test, habrá tan sólo detectados 5 nuevos casos. Y el día que no se realicen test, ese día habrá 0 casos y se declararía erróneamente que el SARS-Cov2 se ha erradicado en ese lugar.

Por el contrario, si existen 1000 infectados y se realizan 2000 testeos, con un índice de positividad del 50%, se habrán detectado posiblemente la mayoría de los 1000 infectados. Si la cantidad de testeos se aumenta, no sólo que se comenzará a capturar la real dinámica del virus, sino que el índice de positividad comenzaría a disminuir. Es lo deseable.

Este hecho que se presenta en San Juan, de tener índices de positividad elevados con bajas cantidad de testeos diarios realizados, se presenta en general en muchas regiones del país y del mundo entero. Muchas veces no es que no se desee realizar la cantidad de testeos apropiados, sino que muchas veces es por la falta de insumos, insuficiente capacidad de procesamiento de



Universidad Nacional
de San Juan



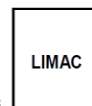
CONICET



UNC
Universidad
Nacional
de Córdoba



FCEyN
Facultad de
Ciencias Exactas
Físicas y Naturales



LIMAC
Laboratorio de
Investigación Matemática
Aplicada a Control

los laboratorios clínicos e insuficientes recursos económicos como para solventar y sostener esta acción durante todo el tiempo que llevará lidiar con esta pandemia.

Lo recomendable, para garantizar que lo que se está observando es próximo a la verdadera expansión de la enfermedad, es que en la provincia se deberían realizar al menos 1500 test diarios, o 7000 test semanales, para poder conseguir un índice de positividad menor al 20%. Esto permitiría observar con mayor precisión la evolución de contagios de la enfermedad y ayudar a la toma de decisiones para el control de la epidemia, como así también, *advertir a la población a exigirse y comprometerse más en el cuidado personal y el cumplimiento de los protocolos vigentes. De lo contrario se corre un riesgo grande de que el brote en algún momento pueda alcanzar verdaderamente una velocidad exponencial, estresando el sistema sanitario y teniendo una mayor proporción de la población infectada.* Un objetivo muy importante de hoy, no es sólo que no llegue a colapsar el sistema sanitario de salud, sino también se obtenga la menor cantidad de infectados. Recientes estudios, establecen que una gran parte de esa población infectada quedará con secuelas pulmonares, cardíacas y cerebrales.

2. Escenarios de la Evolución del Covid-19 en la provincia de San Juan

Se presentan dos escenarios en función del procesamiento de dos fuentes principales de datos, escenarios condicionados a las estimaciones y proyecciones sujetos a cambios en el comportamiento poblacional y a cambios en las estrategias de mitigación no farmacológicas, es decir, al grado de movilidad de la población. *Es bien sabido que mientras mayor sea la movilidad de la población mayor es la probabilidad de contagio.*

Una fuente de datos se realiza a partir de la construcción de *indicadores propios* obtenidos de la información diaria de los partes de Salud Pública de la provincia. La otra fuente de datos es la base de datos de movilidad poblacional automática de Google para investigación.

Escenario 1. Obtenido a partir de la construcción de Indicadores Propios

En la Figura 3 se muestra la curva de contagiados empleando *indicadores propios* obtenidos a partir de los datos oficiales del Ministerio de Salud Pública de San Juan, sin considerar el apartado de nuevos casos.



Universidad Nacional
de San Juan



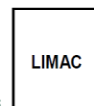
CONICET



UNC
Universidad
Nacional
de Córdoba



FCEyN
Facultad de
Ciencias Exactas
Físicas y Naturales



LIMAC
Laboratorio de
Investigación Matemática
Aplicada a Control

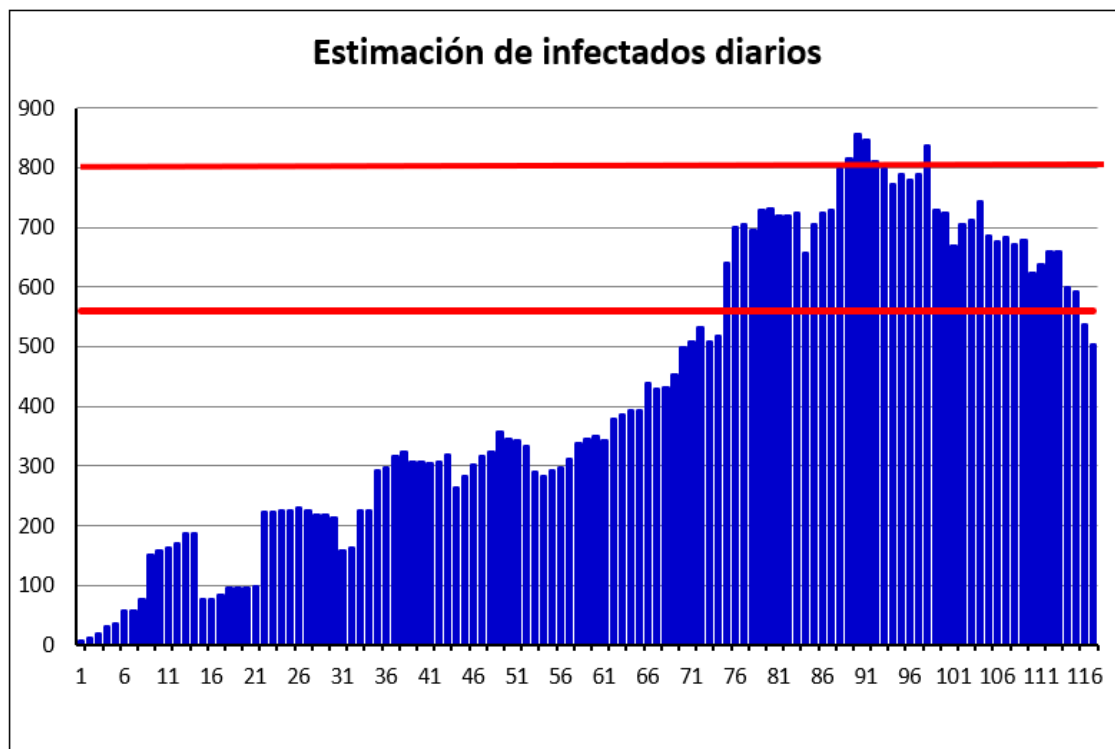


Figura 3. Estimación de la evolución de los infectados diarios a partir de la construcción de *indicadores propios*, a partir del 19 de agosto de 2020, inicio del brote de Caucete, considerado día 1.

Las líneas rojas delimitan la capacidad del sistema de salud de San Juan, 70% y 100% respectivamente. Dichos límites fueron calculados y estimados en agosto del presente año, teniendo en cuenta la capacidad de los sistemas de salud público y privado, a partir de datos no oficiales y empleando el trabajo de Giannakeas V., Bhatia D., Warkentin M. T., Bogoch I., Stall N. M. *Estimating the Maximum Capacity of COVID-19 Cases Manageable per Day Given a Health Care System's Constrained Resources*. American College of Physicians. Journal of Annals of Internal Medicine, (2020).

Analizando la Figura 3, se observa un crecimiento alcanzando un pico de alrededor de 850 nuevos casos diarios a mediados de noviembre, saturando al extremo al sistema sanitario, para luego comenzar a descender. Actualmente se observa una disminución en los nuevos casos, desestresado del sistema sanitario, con una cantidad de alrededor de 500 *nuevos casos diarios* con *pendiente en baja*, y con un promedio semanal de 600 nuevos casos diarios. El acumulado estimado a la fecha de hoy 14/12/2020 es de 49.501 infectados en total.

La tendencia a la baja de nuevos casos coincide en general con una baja generalizada observada en el país. Esto puede deberse a dos *factores principales*, aunque una *incidencia significativa*



Universidad Nacional
de San Juan



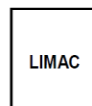
CONICET



UNC
Universidad
Nacional
de Córdoba



FCEyN
Facultad de
Ciencias Exactas
Físicas y Naturales



LIMAC
Laboratorio de
Investigación Matemática
Aplicada a Control

habría sido la llegada del verano con elevadas temperaturas (como ocurrió en el verano del hemisferio norte):

1) El factor más significativo podría deberse a la estacionalidad, coincidente con el comportamiento dinámico del SARS-Cov2 que ha tenido en el verano del hemisferio norte. Un estudio realizado en 100 ciudades de China, publicado por la Universidad de Oxford, y otro de India, muestran la existencia de correlación entre las condiciones climáticas, principalmente la temperatura y la humedad ambiente, con la reducción de la transmisión del Covid-19, el R_0 , en alrededor de un 2.3% por cada grado de aumento de temperatura y de un 1% con el aumento de humedad. **En nuestros estudios, resulta una estimación de la tasa de contagios de $R_0=1.06$ a 0.95 con una desviación estándar $\sigma=0.02$ y 0.01 respectivamente.** Esto indica, que, *si bien puede continuar disminuyendo la cantidad de nuevos casos, llegando en algún momento a un nivel de amesetamiento, el virus continúa circulando más debilitado, pero aún con elevado grado de transmisión y contagio si no se cumple estrictamente el distanciamiento preventivo y los protocolos para cada una de las actividades habilitadas.*

Esta época del año favorece además la posibilidad de tener ambientes mucho más ventilados. Las altas temperaturas de San Juan en verano conducirían a altas tasas de evaporación de las gotas contaminadas con saliva, lo que reduciría significativamente la trasmisibilidad del virus. Por el contrario, en el invierno, cuando hay vientos fríos y menos humedad, estas gotitas tienden a durar más en el ambiente y por ello los virus se mantienen más activos. Antes de las investigaciones mencionadas, se intuía que basándose en los patrones de los virus que producen la gripe o la influenza, era de esperar que estos tipos de virus también tienden a ser más activos y más agresivos en el invierno que en el verano.

Sin embargo,

2) El otro factor que contribuiría a la disminución de casos sería que un segmento de los expuestos (principalmente de los jóvenes y jóvenes adultos, principales vectores de contagio) están contrayendo la enfermedad en una proporción importante y debido a que los mayores se están cuidando más.

Si bien estos factores contribuyen a la disminución de la velocidad de contagio, el más significativo al parecer es el factor de estacionalidad. Sin embargo, existe intacto en el SARS-Cov2 una elevada capacidad de transmisión y contagio, más aún si no se cumple estrictamente el distanciamiento preventivo y los protocolos asumidos para cada una de las actividades habilitadas.



Universidad Nacional
de San Juan



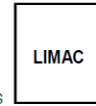
CONICET



UNC
Universidad
Nacional
de Córdoba



FCEyN
Facultad de
Ciencias Exactas
Físicas y Naturales



LIMAC
Laboratorio de
Investigación Matemática
Aplicada a Control

Escenario 2. Obtenido a partir de la movilidad poblacional de Google

En la Figura 4 se muestra la movilidad poblacional dada por la movilidad automática de Google para investigación, con un **promedio de movilidad del 70% para San Juan**.

Considerando la administración de fases de distanciamiento poblacional establecidas por el gobierno nacional, se observa mayor movilidad en zonas *Residenciales* en un 13% por encima de la movilidad en febrero de 2020 (encontrándose en Fase 6), y un 10% por debajo de febrero, en *Lugares de Trabajo, Supermercados y Farmacias* (Fase 5). Los de sectores de menor movilidad que se observa son los de *Tiendas y Espacios Verdes, Parques, y Estaciones de Transporte* (estando en una Fase 3).

Considerando este modelo de movilidad y los modelos matemáticos ajustados con la primera parte de la serie temporal, cuando el índice de positividad era de alrededor del 20%, puede realizarse una proyección hacia adelante, ver Figura 5. A partir de la fecha 21-10-2020 se dejaron de emplear esta serie de datos por la elevada positividad de los testeos y la baja cantidad de los mismo diariamente. Esto impide que el modelo pueda calibrarse apropiadamente, pudiéndose cometer errores en las proyecciones a futuro. De cualquier manera, los resultados pueden ser útiles desde un punto de vista cualitativo.

Salvando las mencionadas restricciones y condicionamientos en la falta de precisión del modelo, **puede observarse que cualitativamente podría aparecer un brote para la segunda quincena de diciembre en dos segmentos de movilidad**. Esto pone en estado de alerta ante posibles cambios en las tendencias respecto al modelo previamente presentado. *La elevada movilidad poblacional que presenta San Juan, coincidente con las reuniones de fin de año, y la apertura de piletas de natación y otras actividades, se puede prever un aumento de los nuevos casos sobre principio-mediados del nuevo año.*

En la Figura 5 se detalla la evolución de los contagiados diarios tomando en cuenta a la movilidad poblacional. Desde Google se obtiene la movilidad dividida en 6 categorías y para cada una de ellas se ajusta una relación de correspondencia entre los contagiados diarios y su secuencia histórica. Se indican tres clases de datos de contagiados, donde los representados por círculos indican la proyección del modelo ajustado para cada categoría de movilidad.



Universidad Nacional de San Juan



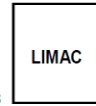
CONICET



UNC Universidad Nacional de Córdoba



FCEyN Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales



LIMAC Laboratorio de Investigación Matemática Aplicada a Control

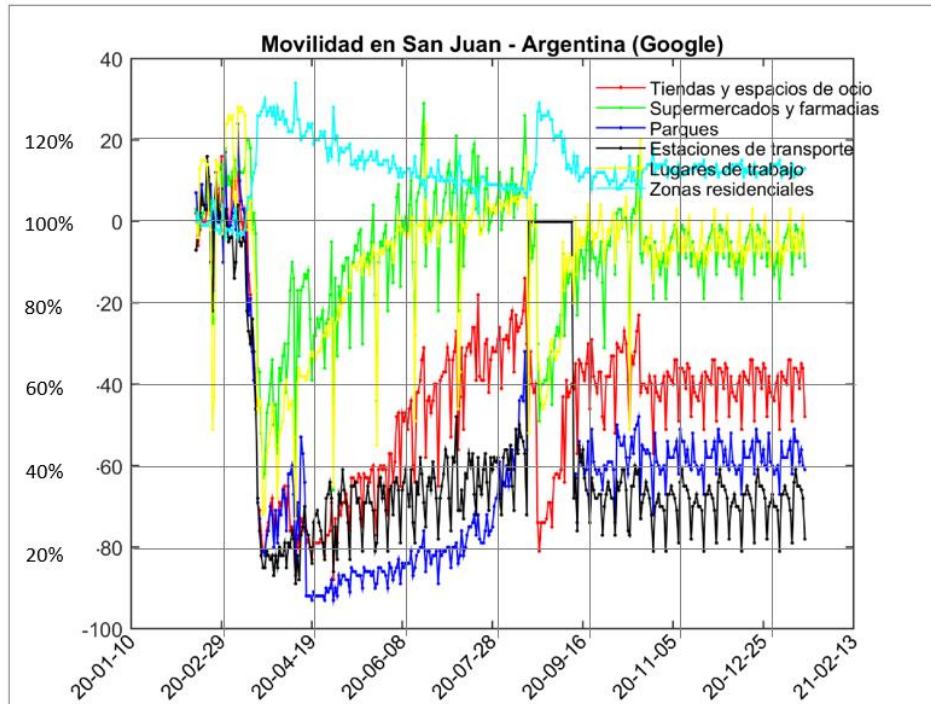


Figura 4. Proyección (desde el 14 de diciembre 2020) de movilidad poblacional de la provincia de San Juan según la base de datos de Google.

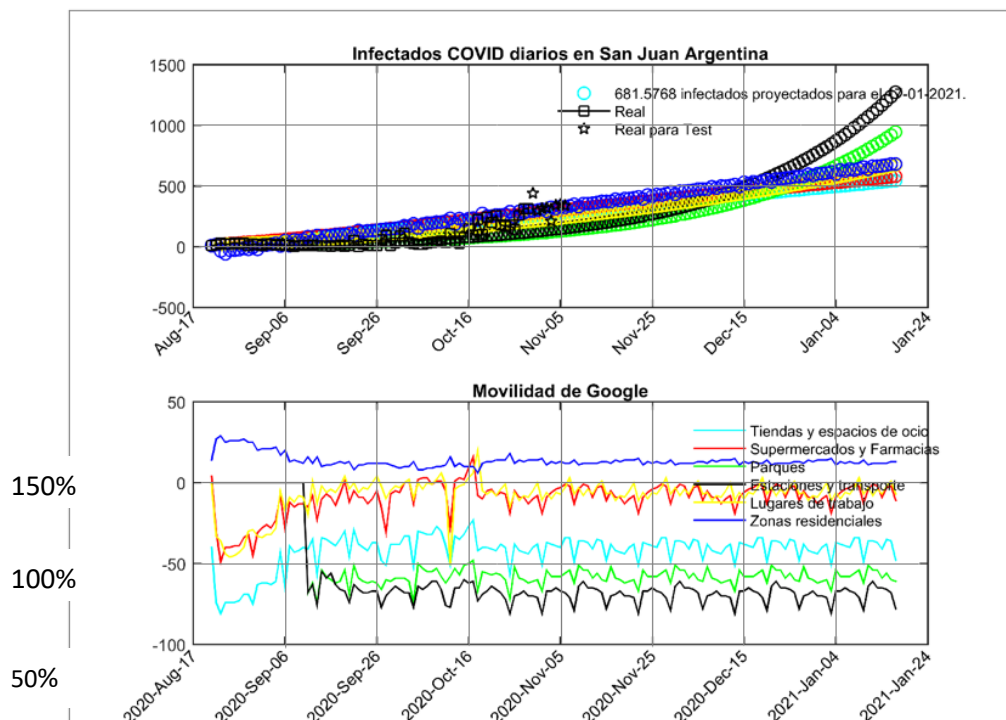


Figura 5. Proyecciones sujetas a errores debido a la poca cantidad de datos de la serie temporal.



Universidad Nacional
de San Juan



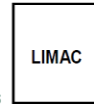
CONICET



UNC
Universidad
Nacional
de Córdoba



FCFyN
Facultad de
Ciencias Exactas
Físicas y Naturales



LIMAC
Laboratorio de
Investigación Matemática
Aplicada a Control

En la Figura 6 se muestran las curvas de los infectados según los datos oficiales del Ministerio de Salud Pública de la provincia y el de los otros dos modelos propuestos. Como se dijo las bandas horizontales indican los límites establecidos por la estima del grado ocupacional del sistema de salud público, incluyendo ambos, público y privado de la provincia de San Juan.



Figura 6. Evolución de los infectados según los datos oficiales y los dos modelos propuestos.

3. Observaciones:

Es recomendable hasta tanto se disponga de una vacuna, y seguramente durante un tiempo más, continuar considerando las tres herramientas principales de mitigación no farmacológicas contra el Covid-19:

- 1) El distanciamiento social preventivo, como es el empleo de barbijos y mascarillas, la higiene personal, el distanciamiento entre personas de al menos 2 metros de distancia y el evitar reuniones en lugares poco ventilados.



Universidad Nacional
de San Juan



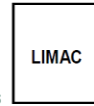
CONICET



UNC
Universidad
Nacional
de Córdoba



FCEfN
Facultad de
Ciencias Exactas
Físicas y Naturales



LIMAC
Laboratorio de
Investigación Matemática
Aplicada a Control

2) Evitar la movilidad poblacional innecesaria, fomento del teletrabajo y administración inteligente de fases de distanciamiento poblacional.

3) Testeos masivos con aislamiento de sintomáticos, asintomáticos y pre sintomáticos. Esto permite operar en fases elevadas de distanciamiento poblacional y estar controlando efectivamente el brote de Covid-19.

Para más detalle de cómo operan estas tres herramientas de mitigación no farmacológicas en el achatamiento de la curva de infectados, ver el trabajo *“Control del Brote de COVID-19 para Prevención del Colapso del Sistema Sanitario y UTI basado en el Distanciamiento Social, Confinamiento y Testeo”*. H. Daniel Patiño, S. Tosetti, J. Pucheta, C. Rodriguez. Congreso IEEE ARGENCON-2020; V Congreso Bianual de la Sección Argentina del IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers of USA). Agosto de (2020).

Si bien se observa que el factor estacional es determinante y contribuiría significativamente en la disminución de la velocidad de contagio, existe intacta la elevada capacidad del SARS-Cov2 de transmisión y contagio, más aún si no se cumple estrictamente el distanciamiento preventivo y los protocolos asumidos para cada una de las actividades habilitadas como herramientas de mitigación.

Se observa atentamente la posibilidad de un cambio en las tendencias para fines de diciembre y principio del año nuevo debido a la elevada movilidad observada en la población de San Juan, acentuada por las fiestas de fin de año.