

Monitoreo de la evolución dinámica del Covid-19 en San Juan

Lo mostrado en esta página surge de los resultados de investigaciones científicas llevada adelante por el director del proyecto de investigación, Dr. Ing. H. Daniel Patiño, del INAUT de la Facultad de Ingeniería de la UNSJ, en conjunto con investigadores y profesores del LIMAC de la UNC y del departamento en Informática de la Universidad de Ámsterdam. Es la respuesta al llamado, a principio de año, de la comunidad científica de la IFAC (International Federation of Automatic Control) y del *IEEE CSS (Corona Control Community Project)* de E.E.U.U para colaborar con las comunidades de epidemiología en el abordaje de este desafío global crítico y urgente de esta pandemia y para futuras pandemias desde el enfoque de la ingeniería de control y la inteligencia artificial. También es una respuesta al llamado de la OMS (Organización Mundial de la Salud), en julio, a redes internacionales de expertos para tratar y abordar temas como la generación de modelos matemáticos útiles para análisis y toma de decisiones.

Los resultados que se muestran emplean datos del parte diario oficial de Salud Pública de la provincia de San Juan y otras dos fuentes principales de *datos e indicadores propios*. Una de las fuentes de datos propias es a partir de la *movilidad poblacional* automática obtenidos de las bases de datos de Google y la otra fuente de datos es generada a través de indicadores obtenidos de los datos oficiales. El motivo de emplear principalmente estas dos fuentes de datos propias se debe principalmente a que San Juan, como en muchos otros lugares, no puede cumplir con ciertos estándares internacionales como son la tasa de positividad de los testeos diarios y la cantidad apropiada de testeos diarios. San Juan presenta un elevado porcentaje en la *tasa de positividad* de los test realizados, superior al 10% recomendado por la OMS y los estándares internacionales. El no poder realizar una cantidad de testeos suficiente, hace que la muestra obtenida sea sesgada y no sea capaz de capturar la dinámica temporal del virus, imposibilitando estimar apropiadamente la velocidad de expansión de la enfermedad. Generalmente es lo que ha sucedido y sucede en muchas regiones en las cuales el número de test diarios es insuficiente al recomendado, y por lo tanto, la cantidad de muestras tomadas presenta un intervalo de confianza muy bajo como para estimar y medir la dinámica de la velocidad de contagios diaria. La recomendación dada por la OMS, y de la comunidad científica, es que para poder controlar el brote del Covid-19 dicho índice debería estar por debajo del 10%, sugiriendo que sea del orden o menor al 5%. En dos gráficas al final de la página se muestran el índice de positividad diario y promedio semanal, y la cantidad de test diarios y su valor promedio semanal de San Juan, datos obtenidos a partir de los partes diarios de Salud Pública de San Juan.

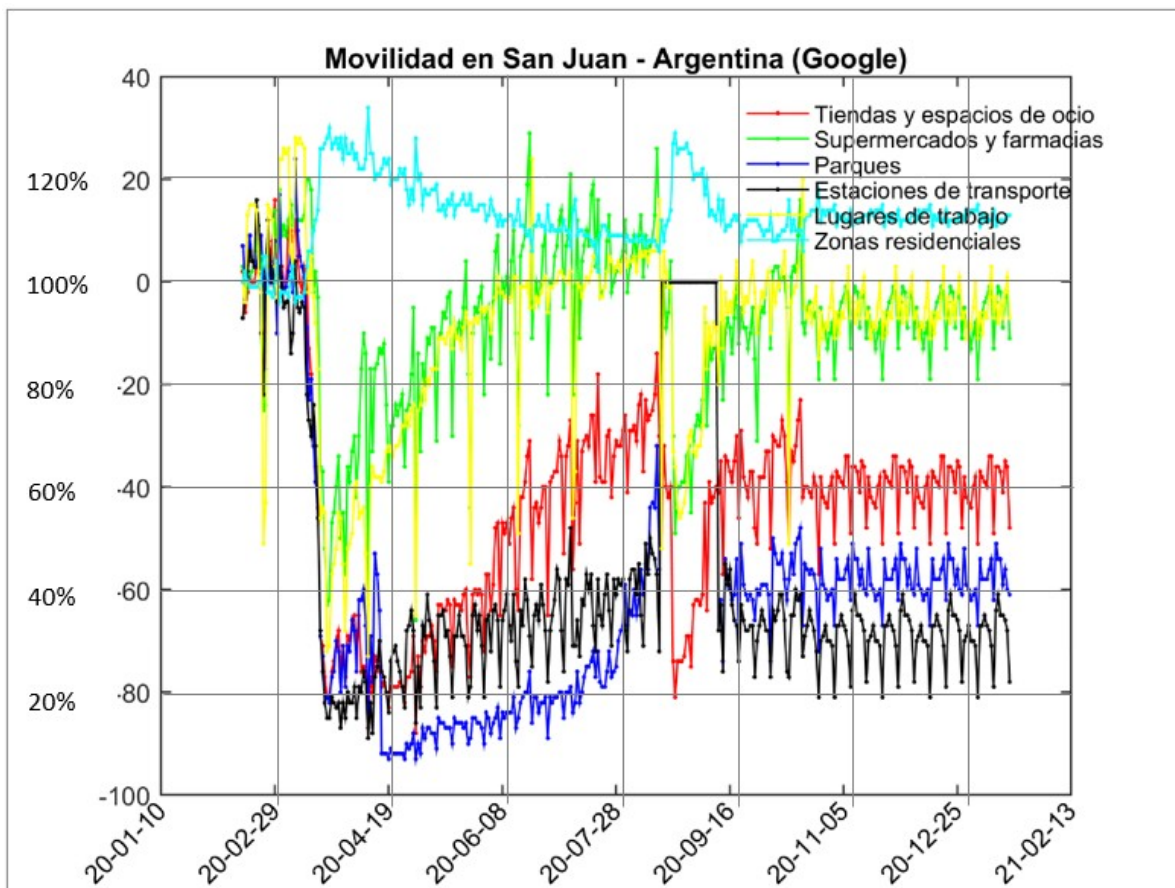
Este trabajo de investigación presenta a nuestro entender ***varias contribuciones originales*** en relación a cómo, a pesar de no poder muestrear apropiadamente, se puede continuar el monitoreo de la evolución de la pandemia y capturar la dinámica temporal del Sars-Cov2. Esto permitiría el diseño de estrategias y toma inteligente de acciones de mitigación no farmacológicas para controlar el brote, y así, la posibilidad de aplanar la curva de infectados.

Las estimaciones propias de la evolución dinámica del Covid-19 en San Juan que se muestran se han obtenido empleando modelos estadísticos, modelos de sistemas y procesos dinámicos,

algoritmos de Inteligencia Artificial e Ingeniería de Sistemas de Control, tomando y empleando publicaciones de los principales centros de investigación del mundo entero.

Las estimaciones y proyecciones realizadas oportunamente estaban sujetas a cambios en el comportamiento poblacional y a cambios en las estrategias de mitigación no farmacológicas.

Movilidad generada por sistemas automáticos de Google



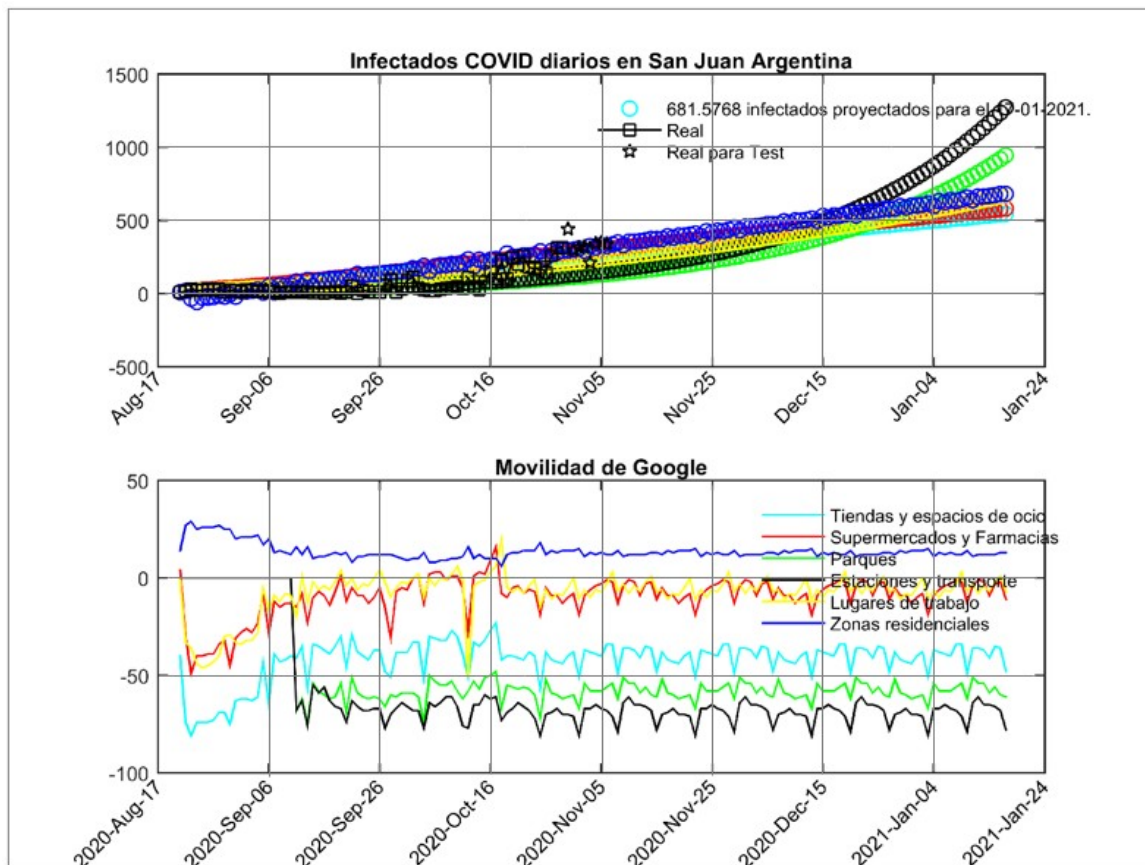
Fuente de información de movilidad poblacional según base de dato de Google tomando como base febrero de 2020 (100% de movilidad poblacional).

En la Figura 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).

Estimaciones y proyecciones de infectados diarios



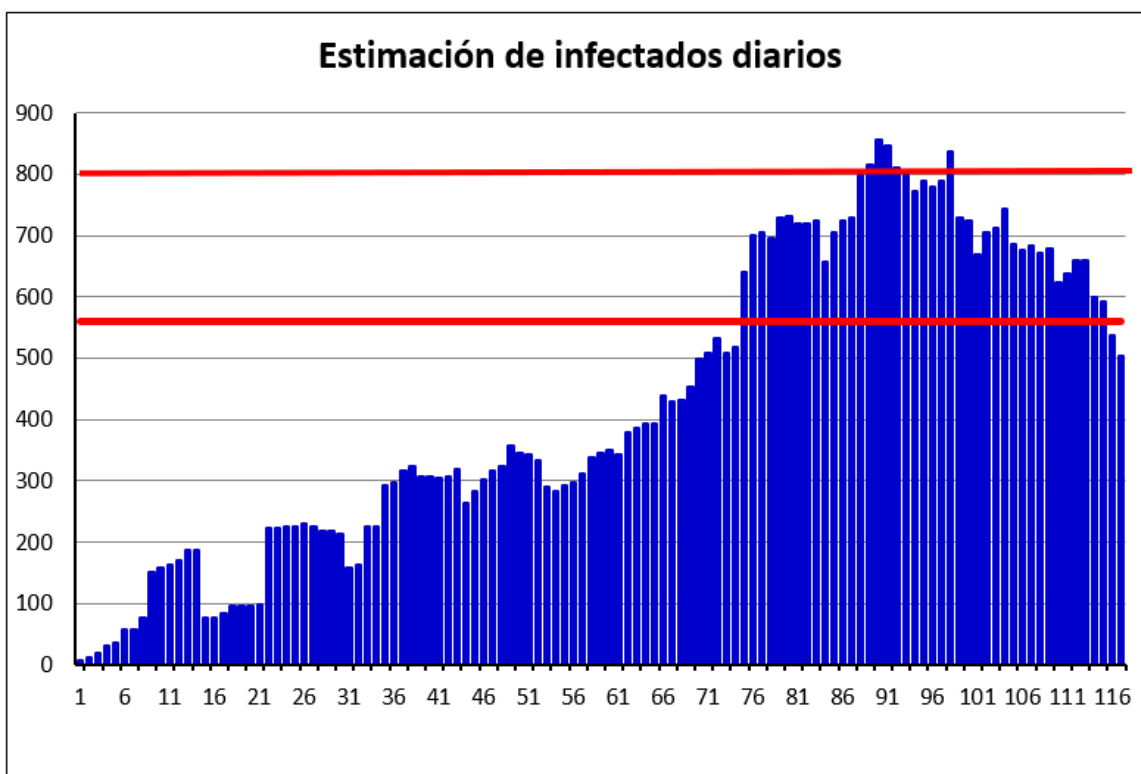
Proyecciones sujetas a errores debido a la poca cantidad de datos de la serie temporal.

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. 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.

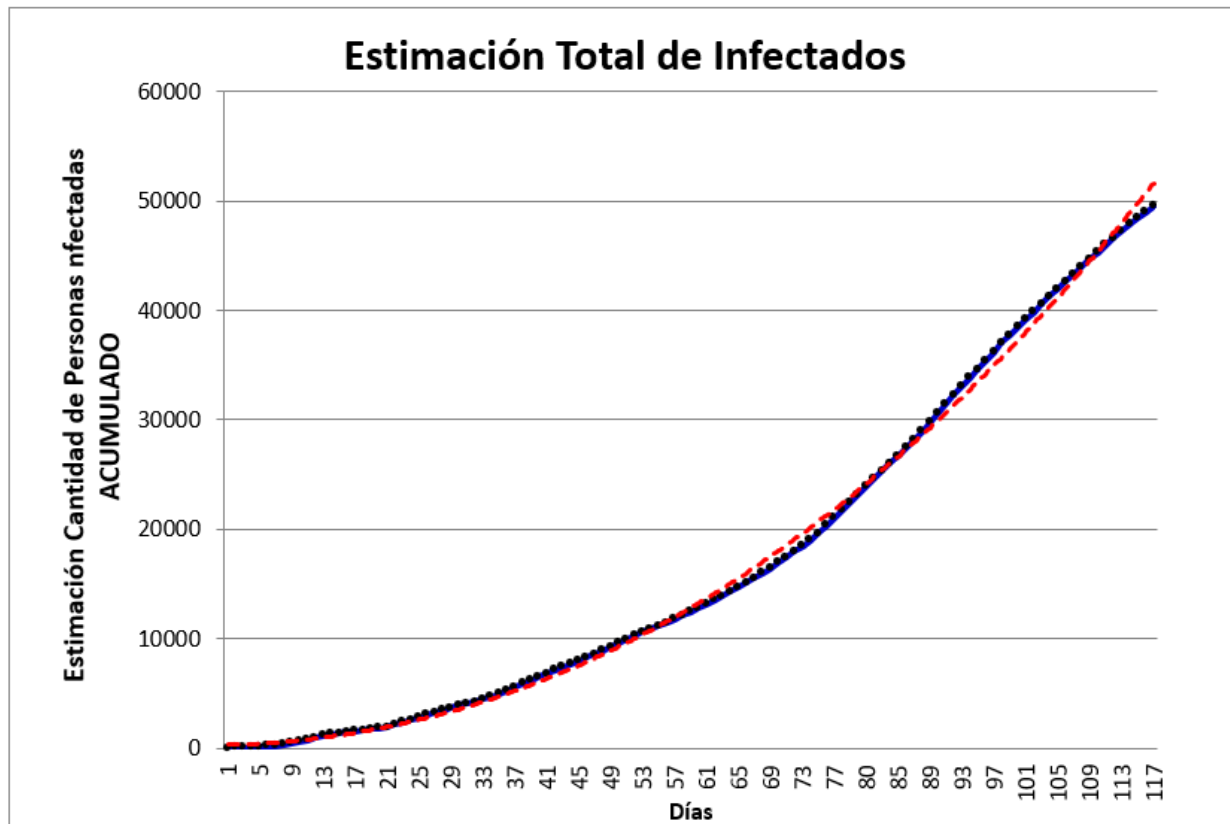
Salvando las mencionadas restricciones y condicionamientos en la falta de precisión del modelo, **puede observarse que cualitativamente podría aparecer un brote para la segunda quincena de diciembre en dos segmentos de movilidad.** Esto pone en estado de alerta ante posibles cambios en las tendencias 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.

Estimaciones de infectados diarios con *indicadores* *construidos a partir de los partes diarios oficiales de San Juan*



Curva estimada 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.



Curva estimada de casos acumulados en San Juan con datos a partir de la construcción de indicadores propios que puedan estimar y capturar la dinámica de propagación del Covid-19 a partir del día 19/08/2020, inicio del brote en la Ciudad de Caucete de la provincia de San Juan, considerado día 1.

Estimación de Infectados del día 14/12/2020: **502** *tendencia* ↓

Total Acumulados: **49.501**

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 de infectados diarios, 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.

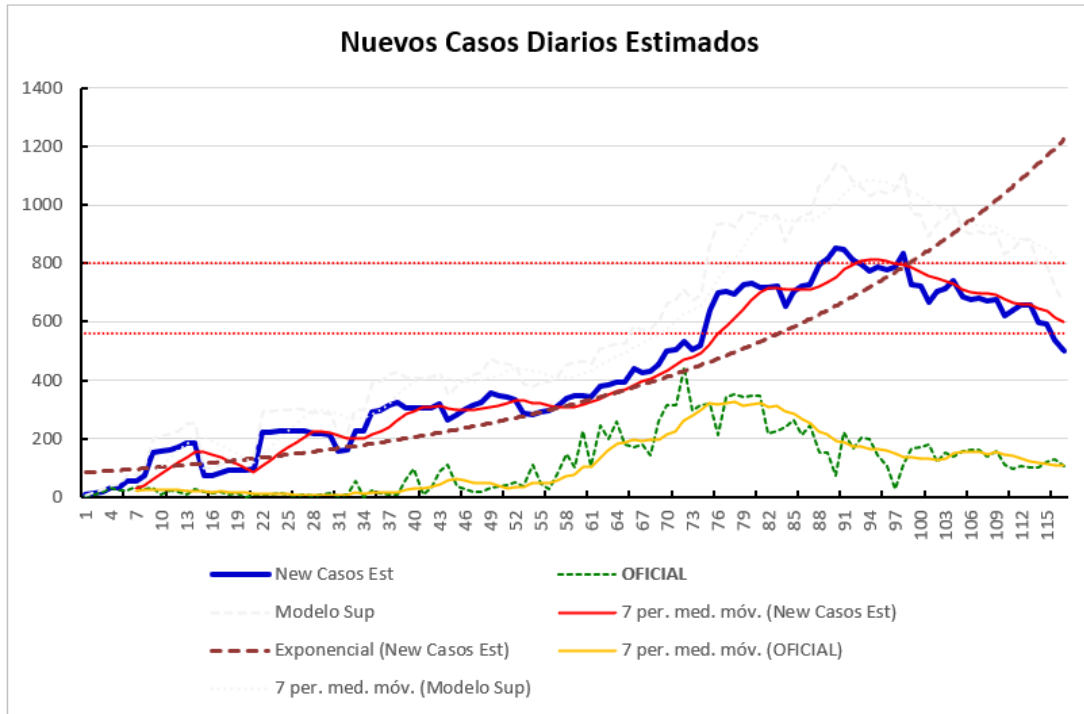
La tendencia a la baja de nuevos casos coincide en general con una baja generalizada observada en el país. Esto puede deberse a dos factores principales, aunque una incidencia significativa habría sido la llegada del verano con elevadas temperaturas (como ocurrió en el verano del hemisferio norte):

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 $s= 0.02$ y 0.01 respectivamente. Esto indica, que, si bien puede continuar disminuyendo la cantidad de nuevos casos, llegando en algún momento a un amesetamiento, el virus continúa circulando, pero más debilitado.**

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 transmisibilidad 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.

2) El otro factor que contribuiría a la disminución de casos sería que en un segmento de los expuestos (principalmente de los jóvenes y personas de alrededor de los 40 años, 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 la estacionalidad.



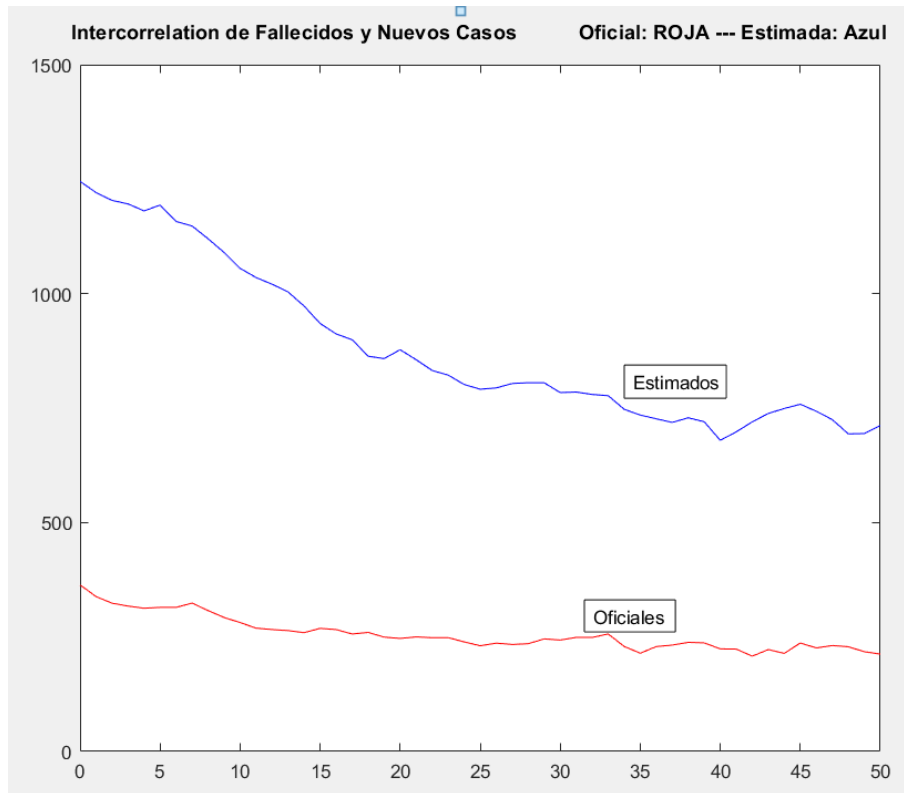
Curva estimada de nuevos casos en San Juan con datos construidos con indicadores propios a partir de los partes diarios de Salud Pública a partir del día 19/08/2020, día 1, inicio del brote de Covid-19 en la Ciudad de Caucete al día 14/12/2020. También se muestra la cantidad de nuevos casos a partir de los partes diarios de Salud Pública de San Juan.

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 preventivo de al menos 2 metros de distancia y evitar reuniones en lugares poco ventilados.
2. Evitar la movilidad poblacional innecesaria, fomento del teletrabajo y administración de fases de distanciamiento poblacional.
3. Testeos masivos con aislamiento de sintomáticos, asintomáticos y pre sintomáticos.

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).

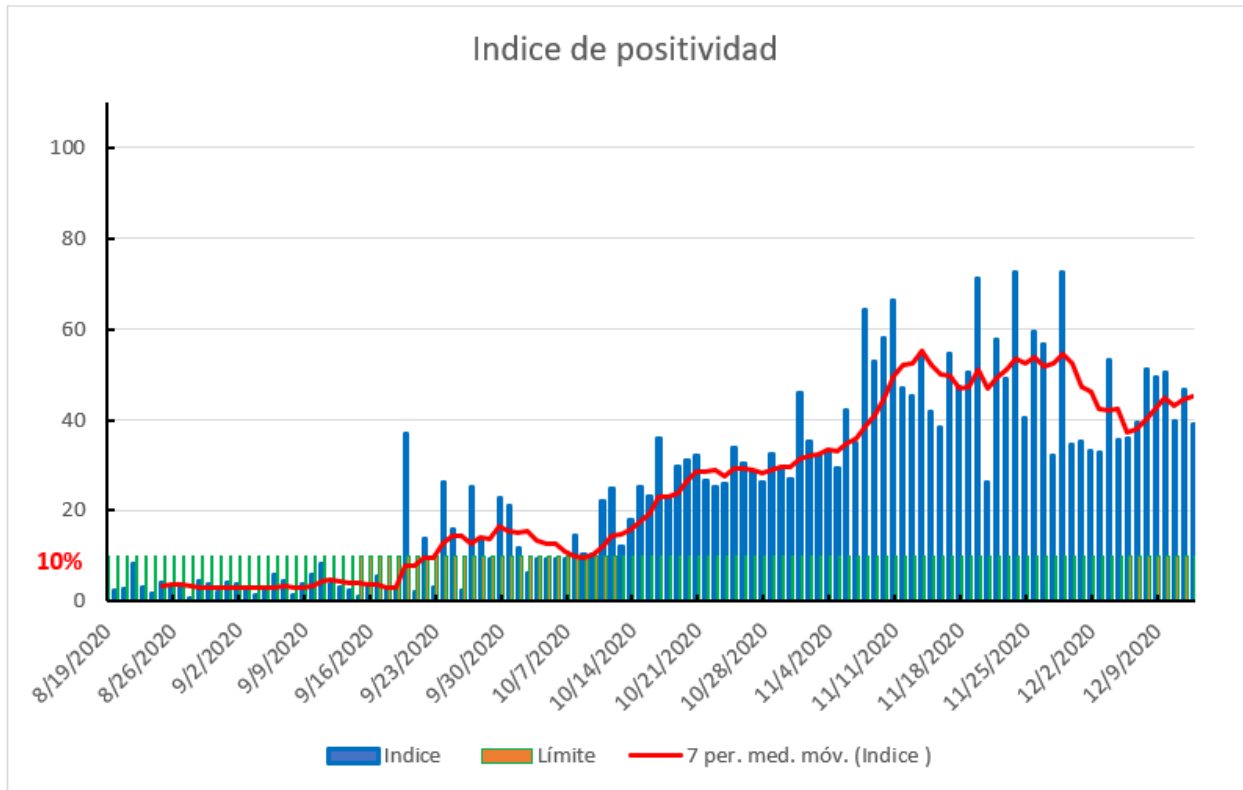
Coherencia o Correlación entre los datos de nuevos casos de infectados con el número de fallecidos



La intercorrelación es una medida que mide la coherencia o relación existente entre dos variables. Una elevada correlación significa que existe una elevada relación entre esas variables. Un valor bajo implica poca coherencia entre ambas. En la figura se mide la correlación entre la cantidad de fallecidos diarios y la cantidad de nuevos casos infectados diarios, estimados y el dado por el parte diario de Salud Pública de San Juan. Se puede observar una elevada correlación entre los datos estimados con los indicadores propuestos, lo que lo hace un mejor método para capturar la dinámica de velocidad de contagios.

Índice de positividad de los testeos

Índice de positividad de los testeos realizados por día y media móvil semanal obtenida con los datos del parte diario de Salud Pública. El umbral recomendado por la OMS y la comunidad científica es de un índice del 10% o menor, lo recomendable para ser empleado como mitigación de la pandemia del orden o menor al 5%. Superar ese límite implica que no se está testeando lo suficiente como para capturar la dinámica temporal de propagación del Covid-19.



Índice de positividad con datos obtenidos del parte diario de Salud Pública de San Juan.

Testeos diarios realizados

Lo recomendado por la OMS y la comunidad científica es de realizar 10 test cada 1000 habitantes o lograr una cantidad de testeos diarios para alcanzar un índice de positividad menor al 10%. Los datos son tomados de los partes diarios de Salud Pública de San Juan.

Cantidad de testeos diarios realizados con datos obtenidos del parte diario de Salud Pública de San Juan.

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.

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 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.

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 cada 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.

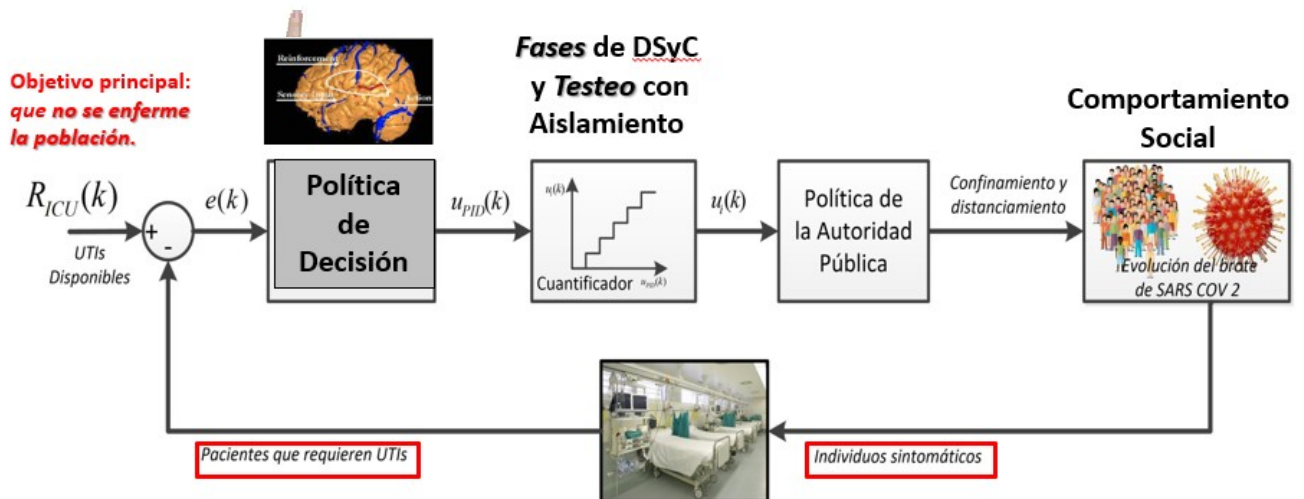
Este hecho que se presenta en San Juan, de tener índices de positividad elevados con bajas cantidad de testeos diarios realizados, se presenta en general en muchas regiones del país y del

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 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.

Sistema de Control del Brote de COVID-19 Propuesto

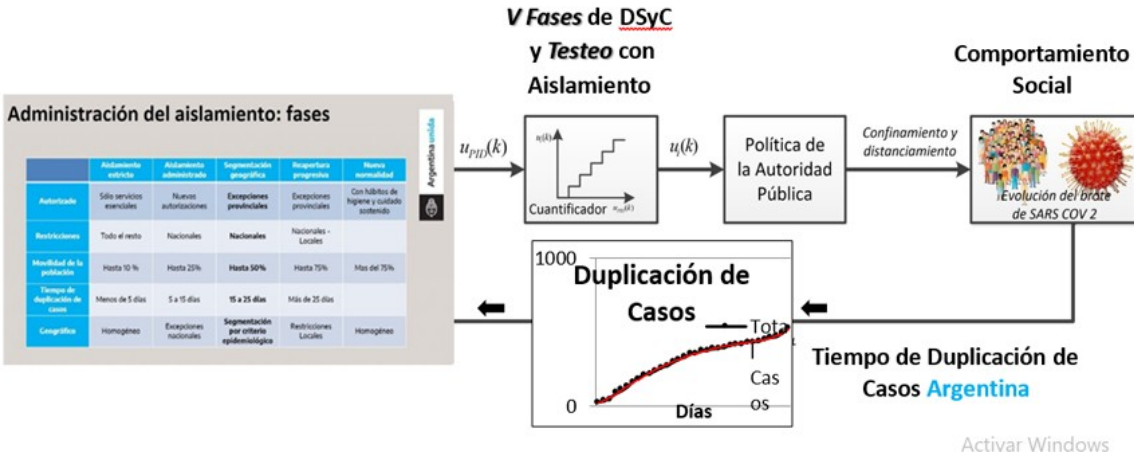
El tener una elevada tasa de positividad y una baja cantidad de testeos, hechos que han y ocurren en la mayoría de las regiones, inclusive en Europa, no permite capturar la dinámica temporal de propagación del Covid-19, y por lo tanto, la variable de *nuevos casos diarios*, o la duplicación de nuevos casos en días, no sería recomendable ni apropiada para ser empleada en la generación de estrategias de mitigación de distanciamiento poblacional ni en la toma de decisiones. A pesar de ello, se pueden construir otros indicadores que sí permitan capturar la dinámica de contagios para ser empleada en el diseño de estrategias de mitigación. Un esquema del sistema propuesto se muestra en la figura siguiente. Para más detalles puede accederse al trabajo “Control del Brote de COVID-19 para Prevención del Colapso del Sistema Sanitario y UTI basado en el Distanciamiento Social, Confinamiento y Testeo” que se presenta la semana próxima en el Congreso ARGENCON 2020 del IEEE.



Estructura de Control Inteligente para el control del brote de Covid-19 propuesta basada en las tres herramientas no farmacológicas de mitigación: distanciamiento social preventivo, confinamiento o Fases de distanciamiento social poblacional y testeos masivos con aislamiento de sintomáticos y pre sintomáticos.

Sistema de Control del Brote de COVID-19 Propuesto por Argentina

Un diagrama de bloques del sistema de control del SARS-CoV-2 propuesto por Argentina, el cual define la administración de fases de distanciamiento poblacional en función de la duplicación de casos por días se muestra en la figura siguiente. La debilidad de esta estrategia de mitigación está en la señal de realimentación que considera la cantidad de nuevos casos diarios. Si la muestra es insuficiente, con un índice de positividad por debajo del 10%, no puede capturar y estimar la velocidad real de contagios. Para más detalles puede accederse al trabajo *Formulación de Estrategias para la Mitigación del Covid-19 basada en Inteligencia Artificial. Control del Brote de Covid-19 basado en el Distanciamiento Social, Confinamiento y Testeo con Aislamiento*. Aportes desde la Ing. de Sistemas de Control e Inteligencia Artificial. Centro de Estudios en Tecnologías Inteligentes Academia Nacional de Ciencias de Bs.As. PANEL DEBATE. Setiembre de (2020) y Video.



Estrategia Argentina para el control del brote de Covid-19 basada en la administración de FASES de distanciamiento poblacional.

Administración del aislamiento: fases

| | Aislamiento estricto | Aislamiento administrado | Segmentación geográfica | Reapertura progresiva | Nueva normalidad |
|---------------------------------------|---------------------------|--------------------------|--|--------------------------|--|
| Autorizado | Sólo servicios esenciales | Nuevas autorizaciones | Excepciones provinciales | Excepciones provinciales | Con hábitos de higiene y cuidado sostenido |
| Restricciones | Todo el resto | Nacionales | Nacionales | Nacionales - Locales | |
| Movilidad de la población | Hasta 10 % | Hasta 25% | Hasta 50% | Hasta 75% | Más del 75% |
| Tiempo de duplicación de casos | Menos de 5 días | 5 a 15 días | 15 a 25 días | Más de 25 días | |
| Geográfico | Homogéneo | Excepciones nacionales | Segmentación por criterio epidemiológico | Restricciones Locales | Homogéneo |

Argentina unida

Política Argentina de administración de Fases de distanciamiento poblacional en función del tiempo de duplicación de casos.

Videos de conferencias y presentaciones:

- Control del brote de COVID-19 para Prevenir el Colapso de la Capacidad Sanitaria y Saturación de Camas de Terapia Intensiva. H. Daniel Patiño y Santiago Tosetti. *Seminario INAUT-CONICET*, UNSJ, Junio de 2020. Puede accederse a través de <https://conferencias.unsj.edu.ar/b/san-94p-kuh>
- Sistema de Control del Brote de COVID-19 para Prevención del Colapso de la Capacidad Sanitaria y Saturación de Camas de Terapia Intensiva. Una propuesta desde la Ingeniería de Sistemas de Control. H. Daniel Patiño y Santiago Tosetti. *Seminario INAUT-CONICET*, UNSJ, Junio de 2020. Puede accederse a través de <https://conferencias.unsj.edu.ar/b/san-94p-kuh>
- Control del brote de Covid-19 basado en el distanciamiento social, confinamiento y testeo con aislamiento. *Análisis de la estrategia y experiencia empleada por Argentina y otros países Un enfoque desde la Ingeniería de Sistemas de Control*. H. Daniel Patiño, Santiago Tosetti, Julián Pucheta UNC, Cristian Rodriguez Rivero (Universiteit van Amsterdam). *Seminario INAUT-CONICET*, UNSJ, Setiembre de 2020. Puede accederse a través de <https://conferencias.unsj.edu.ar/b/san-94p-kuh>
- Academia Nacional de Ciencias de Buenos Aires. Formulación de estrategias para la mitigación del Covid-19 basadas en Inteligencia Artificial. Centro de Estudios en Tecnologías Inteligentes Academia Nacional de Ciencias de Bs.As. PANEL DEBATE. Setiembre de (2020). Puede accederse <https://www.youtube.com/watch?v=h9lhv7p6Bqw>
- **La Matemática subyacente a la Pandemia: Certezas e incertidumbres.** https://www.youtube.com/watch?v=L7olLtYbrLA&ab_channel=CICCSISala2
- **Inmunidad Colectiva Parte 1** (1º video de la Lista de Reproducción) https://www.youtube.com/watch?v=KmGtEmF0e7w&list=PLVBZ5QpEt37xdJOGmk1tuMIwYAZtvukSK&ab_channel=Franciscolbannez

Noticias sobre el Covid-19

- Celebraciones seguras. S.A.D.I. Sociedad Argentina de Infectología. <https://www.sadi.org.ar/novedades/item/1349-celebraciones-seguras>.
- Sitio Oficial de la **Organización Mundial de la Salud**. <https://www.who.int/es>
- **La OMS** dice que las vacunas no erradicarán la COVID y pide cautela, pues seguirá habiendo super contagios. <https://www.20minutos.es/noticia/4491755/0/oms-niega-vacunas-erradicaran-covid-pide-cautela-supercontagios/>
- **MIT Technology Review**. <https://www.technologyreview.es/s/12850/el-18-de-los-enfermos-de-covid-19-desarrolla-un-problema-mental>
- MIT Technology Review. <https://www.technologyreview.es/s/12431/la-inmunidad-de-grupo-contrael-coronavirus-podria-ser-imposible-de-lograr>
- MIT Technology Review. <https://www.technologyreview.es/s/12424/estos-son-los-factores-de-mayor-riesgo-de-muerte-por-coronavirus>
- Coronavirus: qué dice el modelo matemático del **Imperial College de Londres** que cambió la estrategia de Reino Unido frente al covid-19. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-51930745>
- Potential Long-Term Intervention Strategies for COVID-19. **Stanford University**. <https://covid-measures.stanford.edu/>
- Coronavirus: policy design for stable population recovery – IFAC Blog. <http://blog.ifac-control.org/control/coronavirus-policy-design-for-stable-populationrecovery/>
- No, Alemania no "está contando de menos" a sus muertos por coronavirus Algunas Referencias empleadas. https://www.elconfidencial.com/mundo/europa/2020-03-17/no-alemania-no_2501511/

- Covid-19. Muertos por millón: ¿por qué la Argentina está cuarta en el mundo?
<https://www.lanacion.com.ar/sociedad/mortalidad-covid-por-que-pais-esta-primeros-nid2510779>
- Por qué razón Argentina fue excluida de las estadísticas mundiales sobre el coronavirus.
<https://www.cronista.com/economiapolitica/Por-que-razon-Argentina-fue-excluida-de-las-estadisticas-mundiales-sobre-coronavirus-20201021-0041.html> Copyright © www.cronista.com
- Intervenciones globales no farmacológicas en la pandemia COVID-19.
http://www.fupremus.org.ar/index.php?option=com_k2&view=item&id=284:covid-19-intervenciones-globales&Itemid=251

Referencias

Our World in Data de la Universidad de Oxford. <https://ourworldindata.org/coronavirus/>

The IFAC-CSS Corona Control Community Project. <https://covid.ieeecss.org/>

Potential Long-Term Intervention Strategies for COVID-19. Stanford University. <https://covid-measures.stanford.edu/>

Covid-19. Imperial College of London. <https://www.imperial.ac.uk/mrc-global-infectious-disease-analysis/covid-19/>

H. Daniel Patiño, S. Tosetti, J. Pucheta, C. Rodriguez Riveros. “Control del Brote de COVID-19 para Prevención del Colapso del Sistema Sanitario y UTI basado en el Distanciamiento Social, Confinamiento y Testeo”. Congreso ARGENCON 2020, IEEE; V Congreso Bianual de la Sección Argentina del IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers of USA). Agosto de (2020).

Julián Pucheta, C. Salas, M. Herrera, H. D. Patiño y C. Rodriguez Riveros. *Análisis y modelado de procesos dinámicos para medir el cambio de conducta social en el marco del COVID-19*. Congreso ARGENCON 2020, IEEE; V Congreso Bianual de la Sección Argentina del IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers of USA). Agosto de (2020).

H. Daniel Patiño y Julián Pucheta. *Formulación de Estrategias para la Mitigación del Covid-19 basada en Inteligencia Artificial*. Control del Brote de Covid-19 basado en el Distanciamiento Social, Confinamiento y Testeo con Aislamiento. Aportes desde la Ing. de Sistemas de Control e Inteligencia Artificial. Centro de Estudios en Tecnologías Inteligentes Academia Nacional de Ciencias de Bs.As. PANEL DEBATE. Setiembre de (2020).

H. Daniel Patiño. *Seguimiento de la Evolución Temporal del Coronavirus en San Juan. Impacto de la Fase I durante 15 días de Distanciamiento Social Preventivo y Obligatorio en la provincia*. Reporte Interno INAUT. 05 de Setiembre de 2020. San Juan. Argentina.

H. Daniel Patiño. *Seguimiento de la Evolución Temporal del Coronavirus en San Juan. Impacto de la Fase III durante el período del 05 al 29 de Setiembre y Análisis de la Administración de las Fases propuesta por el Gobierno Nacional*. Reporte Interno INAUT. 30 de Setiembre de 2020. San Juan, Argentina.

H. Daniel Patiño. Opinión de la OMS de Europa Respecto a las Cuarentenas como Estrategia “principal” de Mitigación del Coronavirus Evolución del Coronavirus en San Juan. Un enfoque matemático de Mitigación. Reporte Interno INAUT. Octubre 2020.

H. Daniel Patiño. *Seguimiento de la Evolución Temporal del Coronavirus en San Juan Impacto de la Fase I durante 15 días de Distanciamiento Social Preventivo y Obligatorio en la provincia*. Revista la U de la UNSJ. (2020).

- H. Daniel Patiño, and Santiago Tosetti; “Control of COVID-19 Outbreak for Preventing Collapse of Healthcare Capacity”. En revision en el Annual of Control Review, International Federation of Automatic Control (IFAC), Junio de (2020).
- Cristian Rodriguez Rivero, Julián Pucheta, H. Daniel Patiño, *Short-Term Rainfall Forecasting with E-LSTM Recurrent Neural Networks using Small Dataset*. Springer, Oct. (2020).
- A. Rutherford. *Mathematical Modelling Techniques*, New York: Dover, (1994).
- E. A. Bender. *An Introduction to Mathematical Modeling*, New York: Dover, (2000).
- N. Gershenfeld. *The Nature of Mathematical Modeling*, Cambridge University Press, (1998).
- K. Ogata. *Modern Control Engineering*. 5th Ed. Prentice Hall, (2010).
- Benjamin Kuo. *Automatic Control Systems*. Prentice Hall, 9ed, (2014).
- Norman S. Nise. *Control System Engineering*. 6th Edition, John Wiley & Sons, (2011).
- J. M. Carcione, J. Santos, C. Bagaini, and J. Ba. A simulation of a COVID-19 epidemic based on a deterministic SEIR model. Submitted to *Frontiers in Public Health*, April 20, (2020).
- Fred Brauer. *Compartmental Models in Epidemiology*. Chapter in *Lecture Notes in Mathematics* - Springer-Verlag, April (2008).
- Mark J. Willis, Victor H. Grisales Díaz, O. A. Prado-Rubio, and M. von Stosch. Insights into the dynamics and control of COVID-19 infection rates. *Journal of Chaos, Solitons and Fractals*, Elsevier Ltd, Pre-proof, (2020).
- Reza Samenia. *Mathematical Modeling of Epidemic Diseases; A Case Study of the COVID-19 Coronavirus*. *Quantitative Biology, Populations and Evolution*, Cornell University, draft paper, (2020).
- Neil M. Ferguson, D. Laydon, G. Nedjati-Gilani, et al. Impact of non-pharmaceutical interventions (NPIs) to reduce COVID-19 mortality and healthcare demand. Imperial College COVID-19 Response Team, March 16, (2020). DOI: <https://doi.org/10.25561/77482>.
- G. Giordano, F. Blanchini, R. Bruno, P. Colaneri, A. Di Filippo, A. Di Matteo, and M. Colaneri. Modelling the COVID-19 epidemic and implementation of population-wide interventions in Italy. *Nature Medicine, Letters*, April 20, (2020). doi.org/10.1038/s41591-020-0883-7.
- C. Tsay, F. Lejarza, M. A. Stadtherr, M. Baldea. Modeling, state estimation, and optimal control for the US COVID-19 outbreak. In reviewing, (2020).
- G. Stewart, K. van Heusden, and G. A. Dumont. Coronavirus: policy design for stable population recovery: Using feedback to maximize population recovery rate while respecting healthcare capacity. *IEEE Spectrum*, April, (2020). <https://spectrum.ieee.org/biomedical/diagnostics/how-control-theory-can-help-control-covid19>.
- Karl J. Åström, and T. Hägglund. *Advanced PID Control*. International Society of Automation, (2006).
- Karl J. Åström, and T. Hägglund. *Control PID Avanzado*. PEARSON EDUCACIÓN, S.A., (2009).
- J. Cvejn. PID control of FOPDT plants with dominant dead time based on the modulus optimum criterion, in *Archives of Control Sciences*. (2016).
- C. Wang, and D. Li. *Decentralized PID Controllers Based on Probabilistic Robustness*, (2011).
- C. Knospe. *PID Control*. *IEEE Control System Magazine*, Feb., (2006).
- N. Chitnis. Introduction to SEIR Models. Workshop on Mathematical Models of Climate Variability, Environmental Change and Infectious Diseases. Department of Epidemiology and Public Health Systems Research and Dynamical Modelling Unit. May, (2017).

- F. Brauer. Chapter 2 Compartmental Models in Epidemiology. Department of Mathematics, University of British Columbia, (1984).
- F. Brauer, and C. Castillo-Chavez. Mathematical models in population biology and epidemiology. Springer, vol. 2, (2012).
- O. Diekmann, H. Heesterbeek, and T. Britton. Mathematical tools for understanding infectious disease dynamics. Princeton University Press, vol.7, (2012).
- M. De la Sen, A. Ibeas, S. Alonso-Quesada, and R. Nistal. On a new epidemic model with asymptomatic and dead-infective subpopulations with feedback controls useful for Ebola disease. Discrete Dynamics in Nature and Society, (2017). <https://doi.org/10.1155/2017/4232971>.
- Sarah A. Al-Sheikh. Modeling and Analysis of an SEIR Epidemic Model with a Limited Resource for Treatment; Global Journal of Science Frontier Research, Mathematics and Decision Sciences, Volume 12 Issue 14, (2012).
- B. Kuchen, and R. Carelli. Control Digital Directo. School of Engineering, Universidad Nacional de San Juan, (2010).
- R. Isermann. Digital Control System. Springer-Verlag, vol.1, (1989).
- N. Minorsky, "Directional stability of automatically steered bodies." J. Amer. SOC. Of Naval Engineers, pp. 280-309, v. 34, (1922).
- 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. <https://doi.org/10.7326/M20-1169>, (2020).
- Arghya Das, cAbhishek Dhar, Srashti Goyal, Anupam Kundu. "Covid-19: analysis of a modified SEIR model, a comparison of different intervention strategies and projections for India". medRxiv preprint doi: <https://doi.org/10.1101/2020.06.04.20122580>. June 23, 2020.
- Liu, Y., Gayle, A. A., Wilder-Smith, A., Rocklöv J. The reproductive number of COVID-19 is higher compared to SARS coronavirus, Journal of Travel Medicine 27, Issue 2, March 2020, <https://doi.org/10.1093/jtm/taaa021>.
- Ruoran Li; Caitlin Rivers; Qi Tan; Megan B. Murray; Eric Toner; Marc Lipsitch. Estimated Demand for US Hospital Inpatient and Intensive Care Unit Beds for Patients With COVID-19 Based on Comparisons With Wuhan and Guangzhou, China. JAMA Network Open. 2020;3(5):e208297. doi:10.1001/jamanetworkopen.2020.8297.
- D. Patiño, "Notas del Curso EE/CS 676: Neural Information Processing Systems", Electrical and Computer Engineering Department, Stevens Institute of Technology, Hoboken, New Jersey, U.S.A., 1998.
- D. Patiño, "Notas del Curso: INTELIGENCIA ARTIFICIAL APLICADA A LA IDENTIFICACION Y CONTROL", INAUT. Cursos de posgrado en el doctorado de ingeniería de sistemas de control. (2020).
- S. Haykin, "Cognitive Dynamic Systems". Cambridge University Press, 2012.
- F. Lewis, and S. Sam. Reinforcement Learning and Dynamic Programming Using Function Approximators. CRC Press, 2010.
- D. P. Bertsekas. Reinforcement Learning and Optimal Control. Athena Scientific, Belmont, Massachusetts, 2019.
- Bertsekas D. P. and J. N. Tsitsiklis. Neuro-Dynamic Programming. Athena Scientific, Belmont, Massachusetts, 1996.