

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.

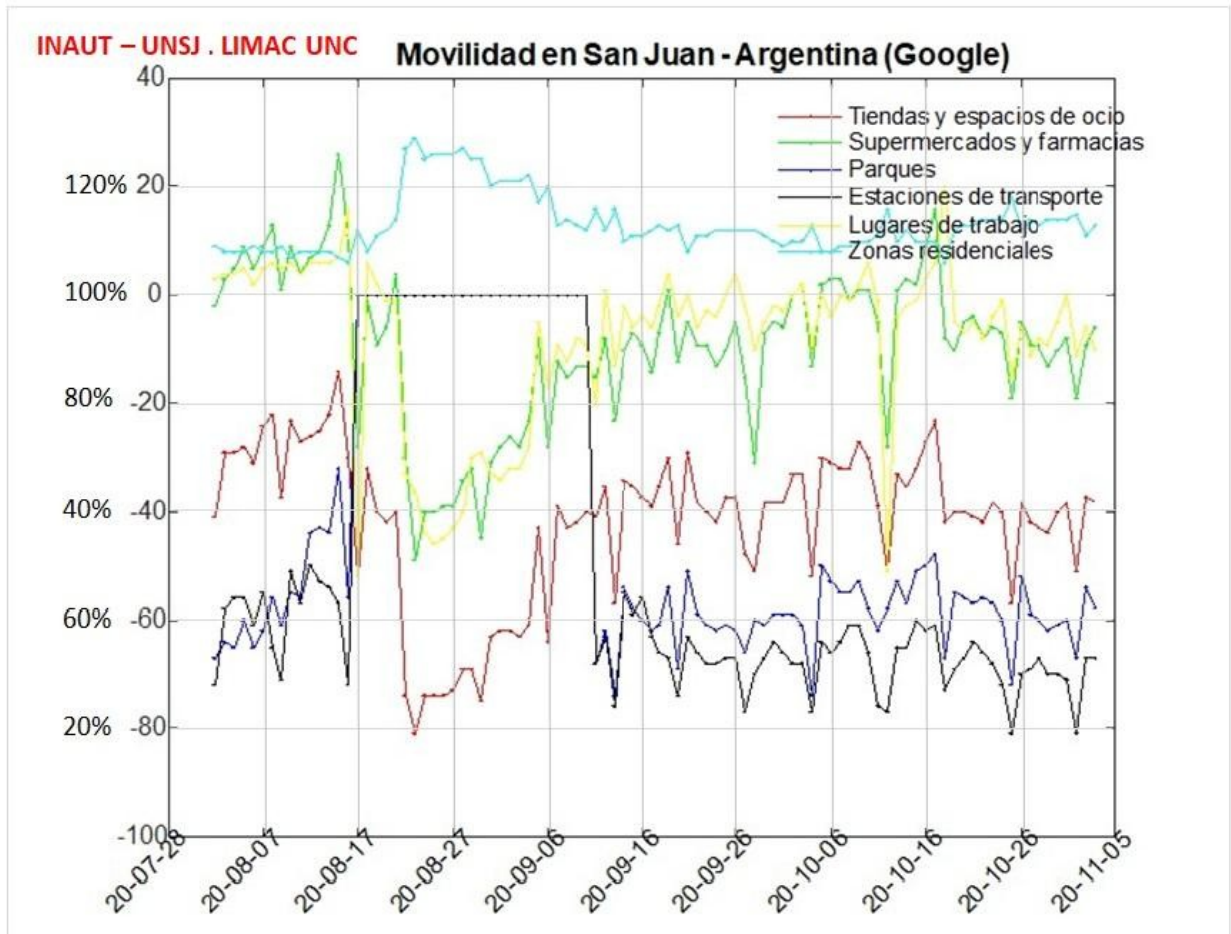
Los resultados que se muestran emplean datos del parte diario oficial de Salud Pública de la provincia de San Juan y otras dos fuentes principales de *datos e indicadores propios*. Una de las fuentes de datos propias es a partir de la *movilidad poblacional* automática obtenidos de las bases de datos 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, y en muchos otros lugares, presenta un elevado porcentaje en la *tasa de positividad* de los test realizados, superior al 10% recomendado por la OMS y la comunidad científica. El no poder realizar una cantidad de testeos suficiente, hace que la muestra obtenida 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 están sujeta 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.

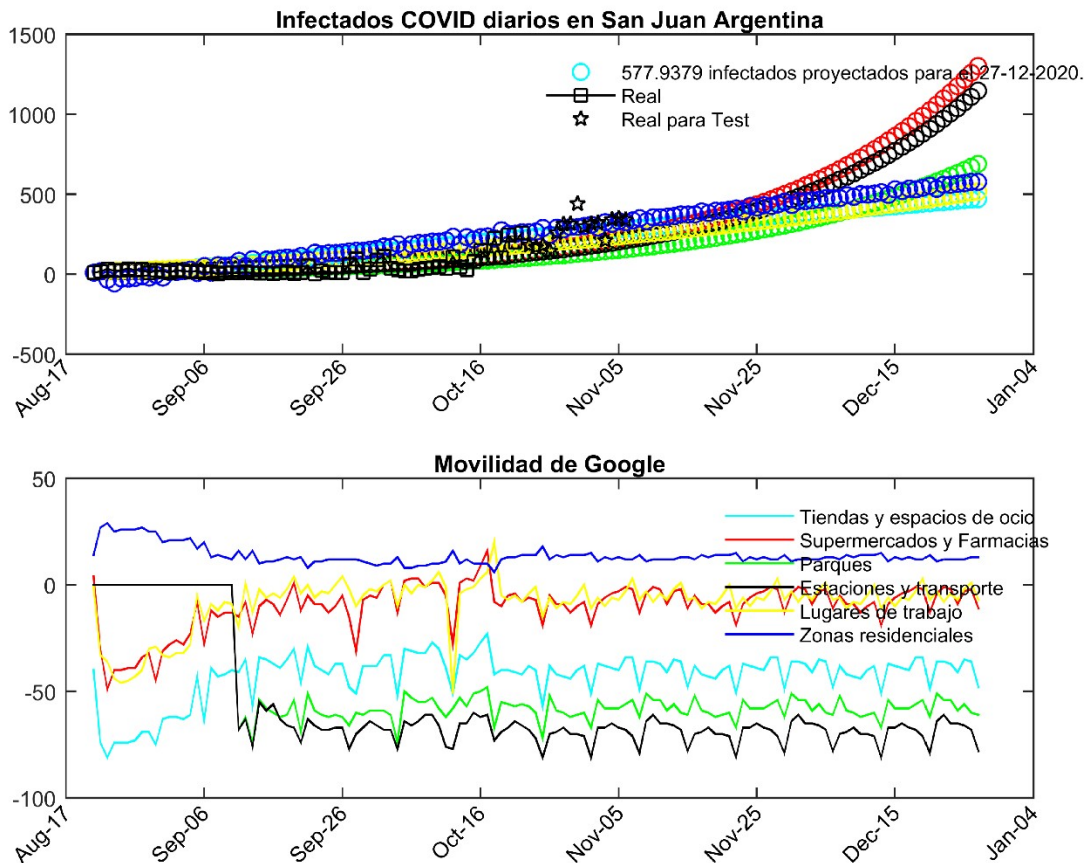
Movilidad poblacional promedio: **73.3%**

Según la política sanitaria nacional de control del SARS-CoV-2, presentada el 4 junio por el Sr. presidente Alberto Fernández, la cual define la administración de fases de distanciamiento poblacional, San Juan con este grado de movilidad del 73.3 % se encuentra en Fase IV, llegando prácticamente a estar en Fase V.

Se observa mayor movilidad en zonas **Residenciales** en un 13% por encima de la movilidad en febrero de 2020 (Fase V), y un 10% por debajo de febrero, en **Lugares de Trabajo, Supermercados y Farmacias** (Fase V). Los de sectores de menor movilidad que se observa son los de **Tiendas y Espacios Verdes, Parques, y Estaciones de Transporte** (Fase III).

Nota: En el eje de las abscisas se muestra la evolución en el tiempo y en el eje de ordenadas está el % de movilidad respecto a febrero de 2020. Es decir, 100% implica plena movilidad como existía en febrero antes de toda restricciones impuestas por la pandemia.

Estimaciones y proyecciones de infectados diarios



Estimación de infectados del día 24/11/2020 según la movilidad poblacional usando modelos dinámicos e Inteligencia Artificial:

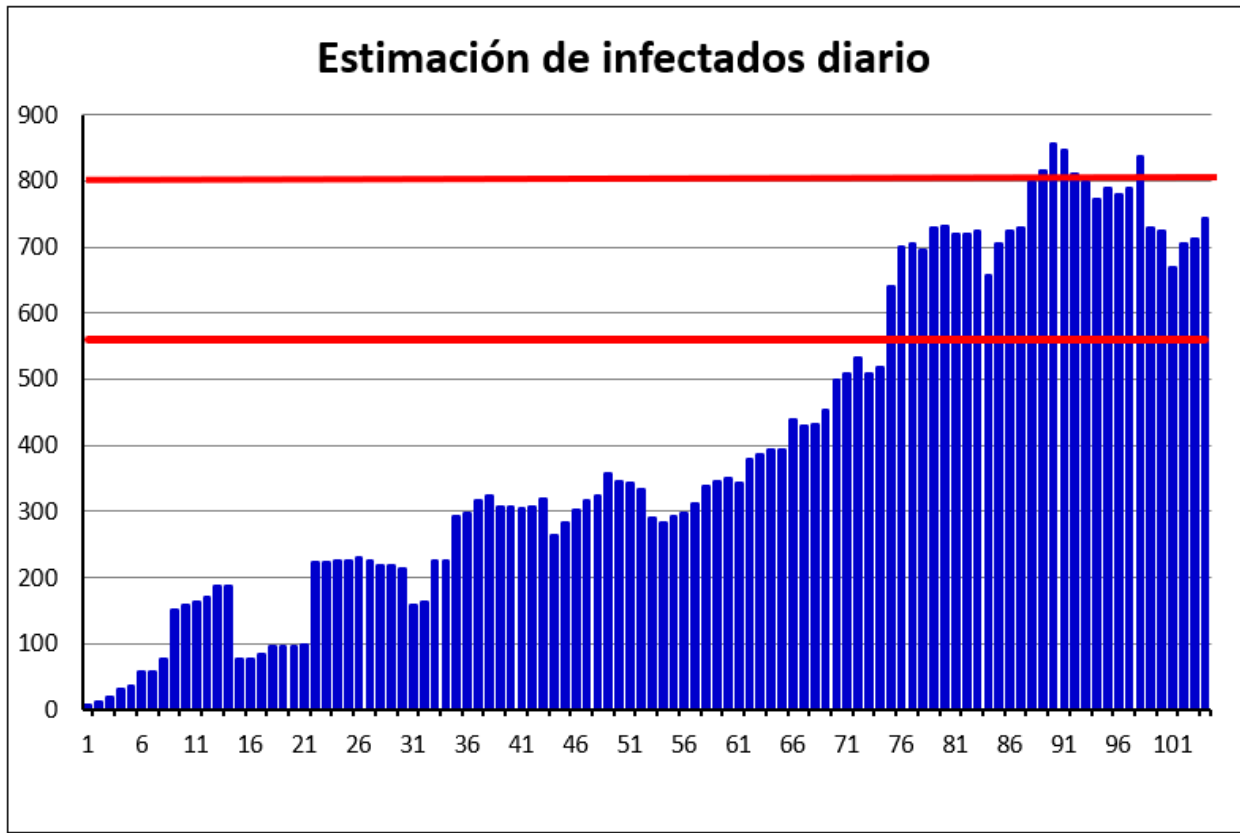
2035

tendencia ↑

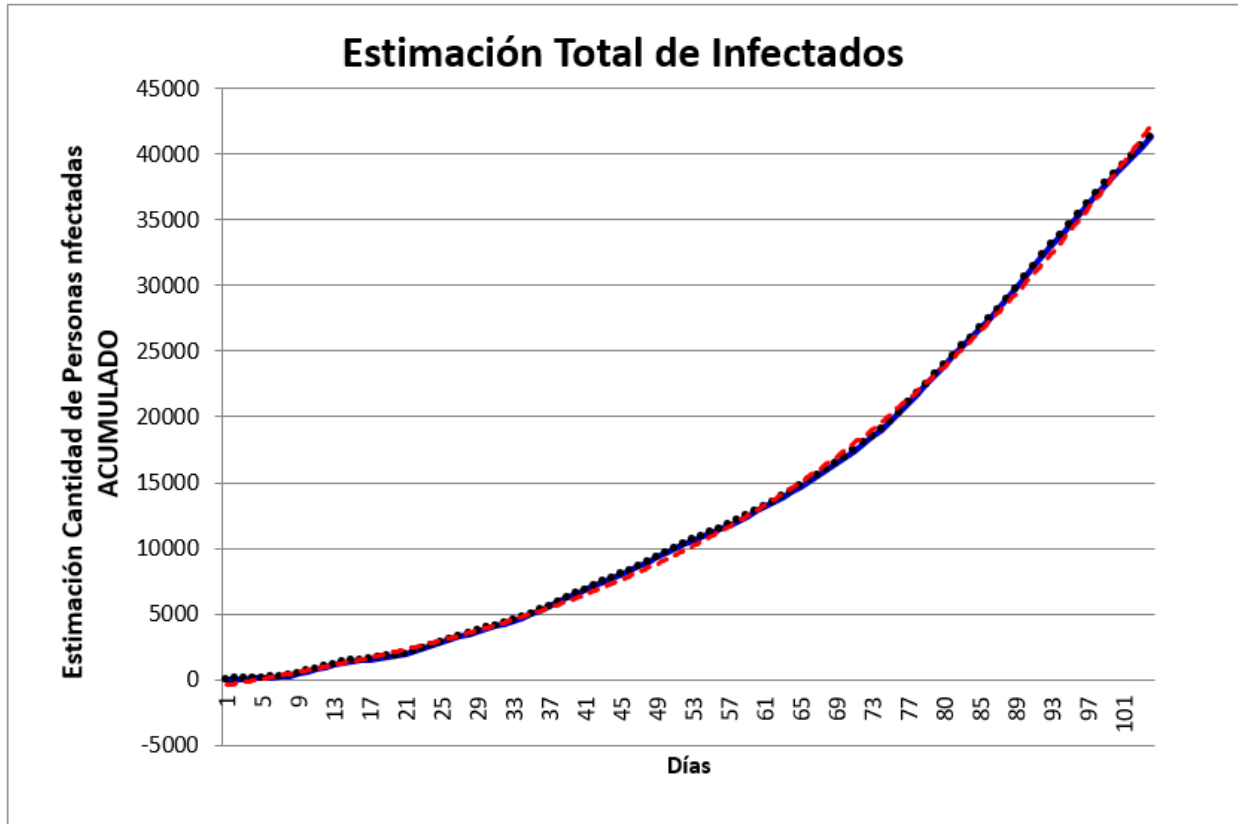
Proximamente se dará una estima de infectados en cada uno de los sectores. Para más detalles puede accederse al trabajo "Análisis y modelado de procesos dinámicos para medir el cambio de conducta social en el marco del COVID-19". Congreso ARGENCON 2020, IEEE; V Congreso Bianual de la Sección Argentina del IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers of USA). Agosto de (2020).

Las estimaciones y proyecciones están sujeta a cambios en el comportamiento poblacional y a cambios posibles en las estrategias de mitigación no farmacológicas. Se irá actualizando en el tiempo.

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



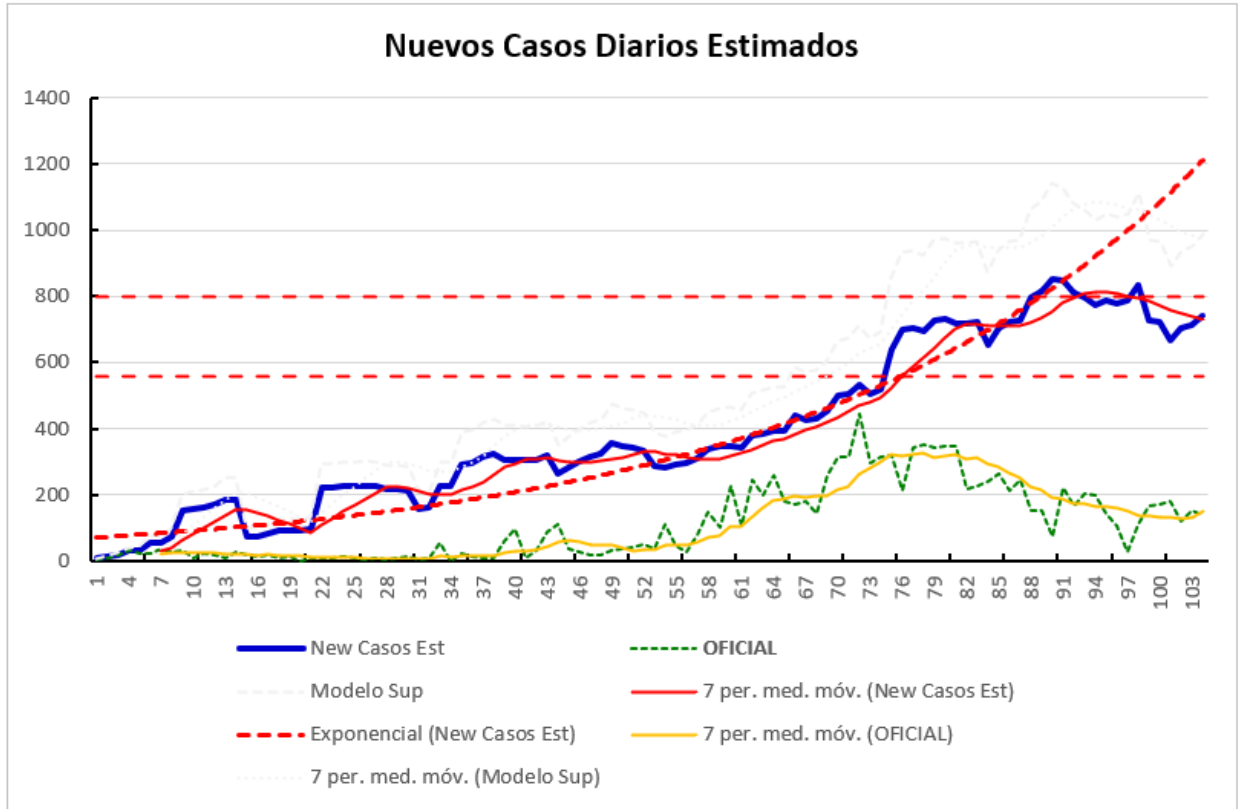
Curva estimada de nuevos casos en San Juan con datos construidos con indicadores propios a partir de los partes diarios de Salud Pública a partir del día 29/08/2020, desde el inicio del brote de Covid-19 en la Ciudad de Caucete al día 26/11/2020.



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 29/08/2020, inicio del brote en la Ciudad de Caucete de la provincia de San Juan, al día 26/11/2020.

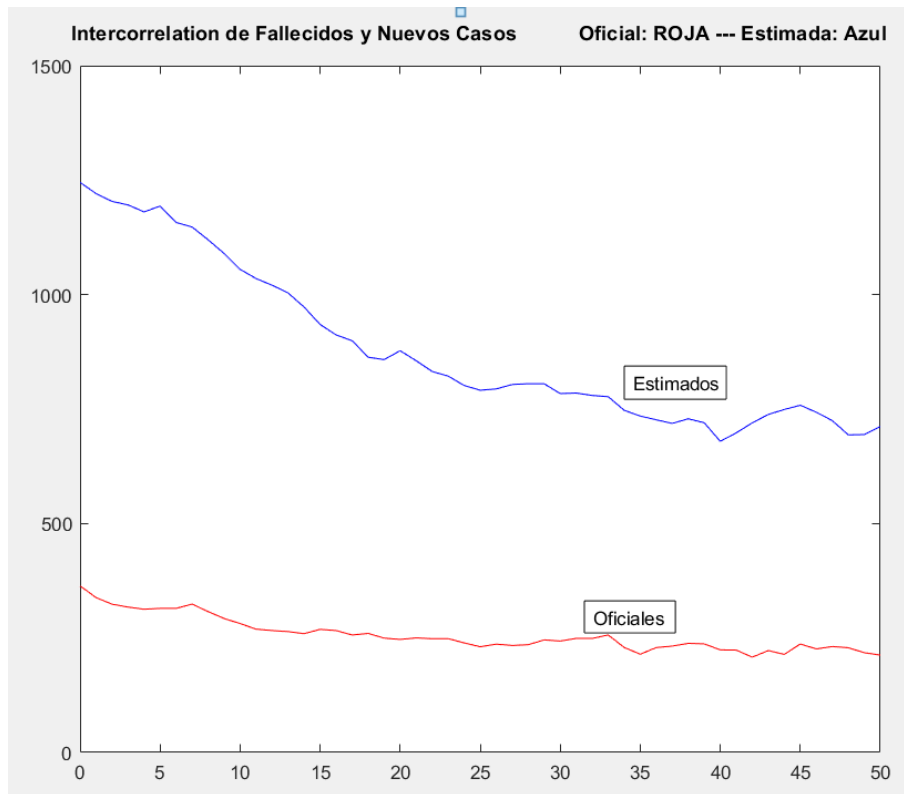
Estimación de Infectados del día 30/11/2020: **742** *tendencia* ↑

Total Acumulados: **41.306** *tendencia* ↑



Curva estimada de nuevos casos en San Juan con datos contruidos con indicadores propios a partir de los partes diarios de Salud Pública a partir del día 29/08/2020, desde el inicio del brote de Covid-19 en la Ciudad de Cauce a día 26/11/2020. También se muestra la cantidad de nuevos casos a partir de los partes diarios de Salud Pública de San Juan.

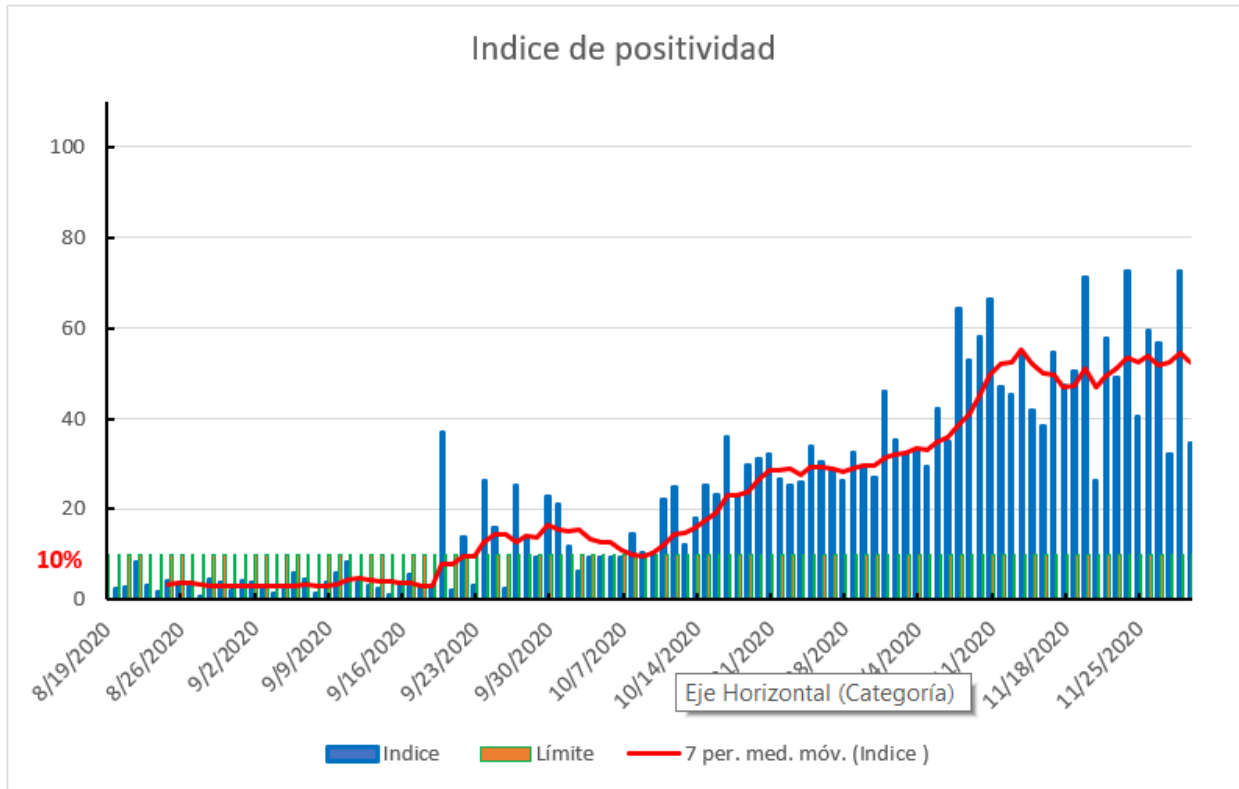
Coherencia o Correlación entre los datos de nuevos casos de infectados con el número de fallecidos



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

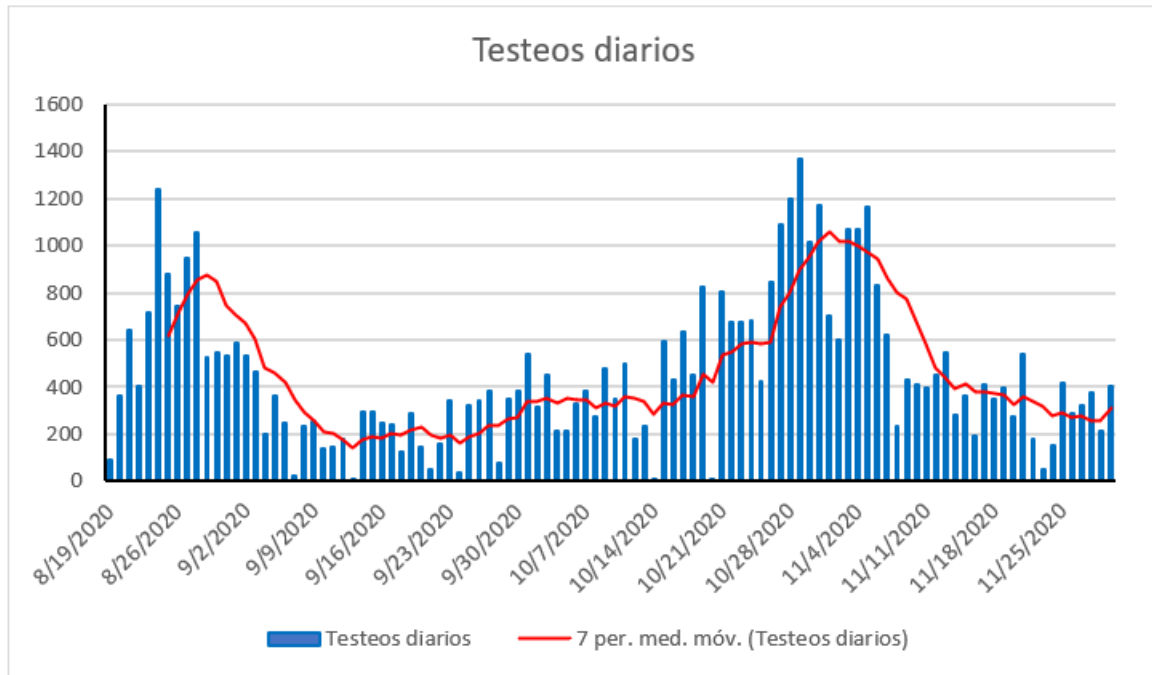
Índice de positividad de los testeos realizados por día y media móvil semanal obtenida con los datos del parte diario de Salud Pública. El umbral recomendado por la OMS y la comunidad científica es de un índice del 10% o menor, lo recomendable para ser empleado como mitigación de la pandemia del orden 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

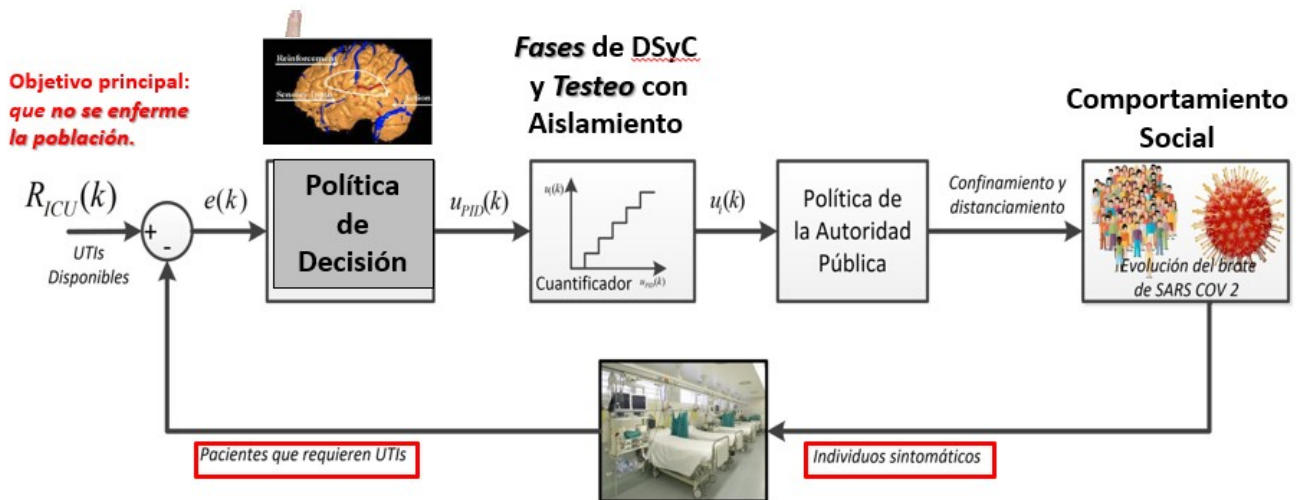
Lo recomendado por la OMS y la comunidad científica es de realizar 10 test cada 1000 habitantes o lograr una cantidad de testeos diarios para alcanzar un índice de positividad menor al 10%. Los datos son tomados de los partes diarios de Salud Pública de San Juan.



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

Sistema de Control del Brote de COVID-19 Propuesto

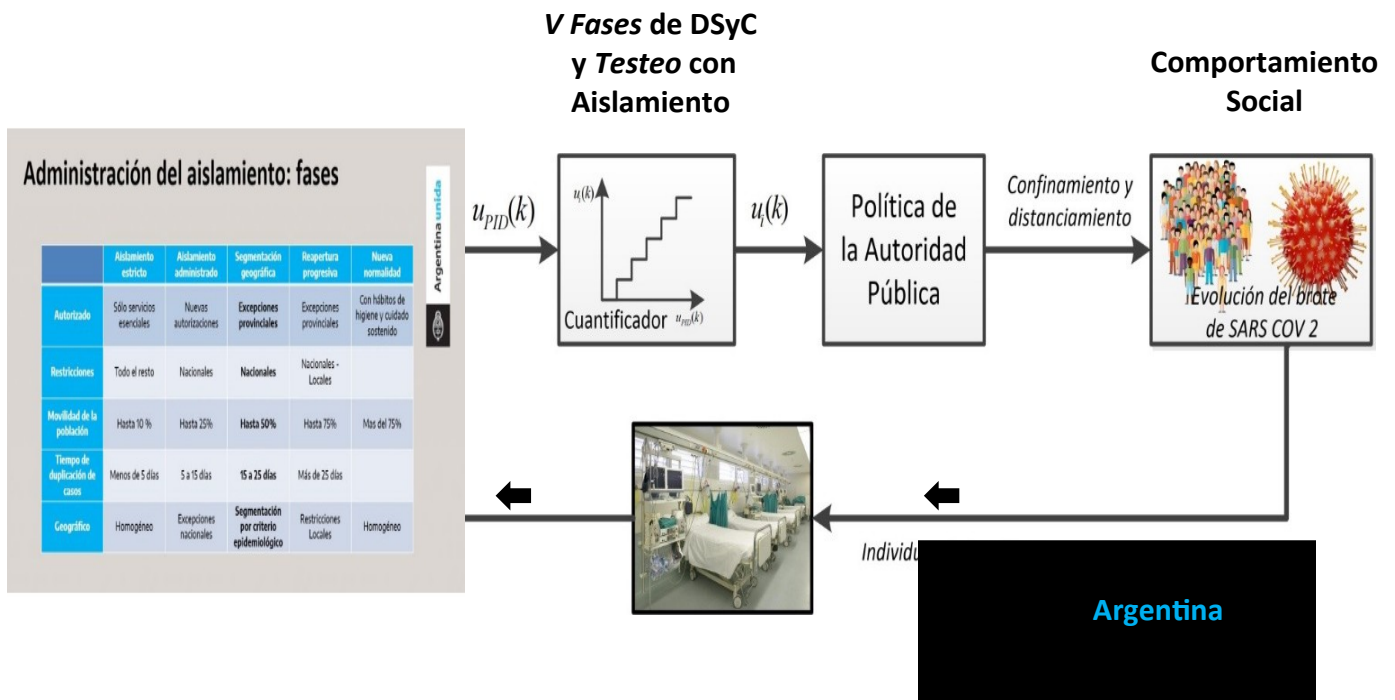
El tener una elevada tasa de positividad y una baja cantidad de testeos, hechos que han y ocurren en la mayoría de las regiones, inclusive en Europa, no permite capturar la dinámica temporal de propagación del Covid-19, y por lo tanto, la variable de *nuevos casos diarios*, o la duplicación de nuevos 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



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=L7oLlYbrLA&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

- 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 contagiaadores. <https://www.20minutos.es/noticia/4491755/0/oms-niega-vacunas-erradicaran-covid-pide-cautela-supercontagiaadores/>
- **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-contr-el-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/>
- The IFAC-CSS Corona Control Community Project. <https://covid.ieeecss.org/>

Algunas Referencias empleadas

- 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". Cambrige 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.