

Análisis de escenarios de cuarentena para hacer frente a la epidemia de Covid-19 en Chile

Preparado por

Mesa de Trabajo Interdisciplinar – Línea Modelos Predictivos

20 de abril 2020

Coordinadores de la Mesa Interdisciplinar: Pablo Marquet (Pontificia Universidad Católica de Chile), Alejandro Maass (Universidad de Chile).

Coordinadores de la línea de Modelos predictivos: Pedro Gajardo, Mauricio Lima, Fernando Mardones, Eduardo Undurraga, Alejandro Maass y Pablo Marquet.

Contexto mundial

La única solución definitiva a la pandemia del Covid-19 es el desarrollo de una vacuna eficaz contra la enfermedad que pueda ser distribuida en forma global. Mientras esto sucede, procesos que puede tomar 12 a 18 meses, hay dos medidas fundamentales que acometer, las farmacológicas y las no farmacológicas (Hatchett et al. 2007). Las primeras tienen que ver con la identificación o diseño de tratamientos farmacológicos que aminoren los síntomas de la enfermedad y que reduzcan el riesgo de muerte, en tanto que las no-farmacológicas se asocian fundamentalmente a medidas de distanciamiento social e higiene que decrecen la tasa de transmisión, retrazando y enlenteciendo la dinámica de la enfermedad lo que permite controlar el peak de casos y por lo tanto el número de hospitalizaciones. Las medidas no-farmacológicas son esenciales para disminuir el número de casos y su aglomeración temporal evitando que superen la capacidad hospitalaria y se produzcan más muertes debido a otros enfermos que no tendrían acceso a camas críticas y a enfermos de Covid-19 que se podrían haber recuperado de haber tenido acceso a una cama crítica. Una medida no-farmacológica clásica son las cuarentenas, las que básicamente reducen la movilidad y la tasa de contacto entre los individuos y por ende la transmisión de la enfermedad. Estas medidas van desde aquellas que se focalizan en la suspensión de actividades que congregan muchos individuos en espacios reducidos (gimnasios, colegios, universidades), pasando por el distanciamiento social donde se fomenta que las personas no tengan contacto con otros y enfatizando el trabajo remoto, hasta aquellas que se aplican a toda una ciudad o comuna (Lockdown) y que restringe el movimiento de las personas decretando que se queden en casa a menos que sea para comprar medicina o alimentos u otra actividad esencial.

En el mundo existe una activa comunidad de matemáticos, biólogos y epidemiólogos que están desarrollando modelos que permitan predecir el curso de la enfermedad y la efectividad de las medidas para contener el contagio. La teoría es bien conocida y tiene aproximadamente 100

años, iniciándose con los modelos de Kermack y McKendrick (1927). Al respecto, existe consenso mundial de la efectividad de las cuarentenas en retrasar y aplanar el peak de casos, permitiendo controlar los casos críticos para evitar sobrepasar la capacidad hospitalaria. Así lo ha demostrado el grupo del Imperial College (Ferguson 2020, Flaxmam 2020) INSERM (Di Domenico 2020). Estos grupos señalan además que es esencial impulsar medidas que permitan trazar los contactos que ha tenido un caso positivo (en Singapur existe una aplicación que permite identificar los contactos de las personas infectadas, [ver aquí](#)) y someterlos a testeo. Una herramienta eficiente y rápida de trazabilidad de casos podría incluso permitir que las cuarentenas sean mucho más leves o no fueran necesarias del todo (Ferretti et al. 2020).

La situación en Chile

En Chile, la mesa de Interdisciplina ha identificado 16 grupos de investigación en modelos epidemiológicos de COVID-19 en Chile. Estos grupos de investigación reúnen a 60 investigadores, afiliados a ocho universidades y dos consorcios científicos (Fundación Ciencia y Vida e Inst. de Sistemas Complejos de Ingeniería). Las Universidades son: la UCH, PUC, Universidad de Valparaíso, Universidad Técnica Federico Santa María, Universidad Católica del Maule, Universidad de Concepción, Universidad Austral, Universidad Andrés Bello y Universidad de Aysén, Ver Anexo 1 para un listado de los equipos). En un reciente webinar los días 16 y 17 de abril, se reunieron a todos estos grupos y se decidió modelar, a petición del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, tres escenarios de cuarentenas para el caso Chileno ([Ver presentaciones de los equipos realizadas en el webinar](#)). A saber:

1. Cuarentena total

Este escenario implica una cuarentena total de una ciudad, digamos la Región Metropolitana de Santiago, por una sola vez, incluyendo todas sus comunas, y por una longitud de tiempo dada (e.g., 15 días).

2. Cuarentenas dinámicas

Estas son aquellas que se activan cuando un indicador relevante (e.g., casos o incidencia) sobrepasa un umbral predefinido, como por ejemplo 40 casos nuevos por 100.000 habitantes por un periodo de tiempo definido, tal como lo ha estado implementando el gobierno.

3. Sin cuarentena, pero con cierre de establecimientos educacionales y comercio no esencial solamente.

Los resultados de las simulaciones proveídas por 4 grupos de investigación a la fecha concluyen que:

1. Las cuarentenas totales son efectivas en aplazar en el tiempo los máximos (*peak*) de diferentes curvas (infectados activos, demanda hospitalaria), pero por si solas no impiden

el crecimiento exponencial en el número de casos, solo lo postergan en el tiempo (ver Figura 1, 3).

2. Las cuarentenas dinámicas en el contexto de la situación actual, es la alternativa más útil en disminuir el número de casos y de camas críticas sobretodo si se contemplan medidas de cumplimiento medias o fuertes (Ver Figura 2, 3, 4).
3. Hay consenso en los equipos que han simulado el cierre-apertura de colegios y comercio, que la vuelta a clases durante las próximas semanas adelantaría los *peaks*. Un efecto similar se observa en los modelos que han considerado la reapertura de comercio (ver Figura 3,5).

Palabras finales

- Primero, existe consenso sobre la tremenda magnitud que podría alcanzar la epidemia COVID-19 en número de infectados y casos fatales en caso de no tomar medidas de mitigación como las cuarentenas y, por lo tanto, sobre la necesidad de estimar la tasa de transmisión del virus periódicamente. Para un fenómeno de crecimiento exponencial, como esta epidemia, se deben oponer esfuerzos de similar magnitud. Concretamente, bajar la tasa de crecimiento usando el principio precautorio, debido al potencial efecto de una diversidad de factores -muchos aún sin evidencia robusta - sobre la dinámica de la transmisión. En base a los datos disponibles, las medidas de mitigación implementadas entre el 19 y 26 de marzo han disminuido la tasa de crecimiento de los infectados activos, pero el potencial crecimiento de la epidemia es muy grande todavía. La mayoría de los grupos estima *peaks* de infección, en función de medidas de mitigación, entre los meses de junio y septiembre (o más tarde en caso de medidas extremas de cuarentena), y consideran la posibilidad de un incremento en la transmisión durante los meses invernales.
- Segundo, los grupos coinciden en la necesidad de tomar decisiones en base a la mejor evidencia científica, que depende del acceso a datos desagregados que permitan caracterizar y entender la epidemia. Es necesario recalcar que existe mucha incertidumbre en torno a la pandemia, sobre todo porque es nueva y el descubrimiento de sus características está en pleno desarrollo y, por lo tanto, también lo están los valores de los parámetros involucrados en los diferentes modelos. Por esto mismo, pedir certezas a los modelos no parece ser la manera apropiada de aproximarse a la información y evidencia (muy valiosa por lo demás) que estos pueden proveer.
- Tercero, entendemos que de las medidas de mitigación tienen consecuencias más allá de la salud. Entendemos la necesidad de retomar actividades sociales y económicas; sin embargo, la evidencia muestra que esta epidemia nos va afectar por un tiempo largo, y por lo tanto, debemos prepararnos para estrategias flexibles, con seguimiento exhaustivo, y retroalimentación permanente en base a los potenciales efectos de la epidemia considerando la diversidad territorial, cultural, socio-económica, demográfica, y climática de cada región del país, tomando en consideración la etapa de la enfermedad en cada una de estas.

Referencias

Di Domenico, Laura, Pullano, Giulia, Sabbatini, Chiara E. , Boëlle, Pierre-Yves, Colizza, Vittoria, 2020. Expected impact of lockdown in Île-de-France and possible exit strategies Report #9.

Ferguson, Neil M, Daniel Laydon, Gemma Nedjati-Gilani, Natsuko Imai, Kylie Ainslie, Marc Baguelin, Sangeeta Bhatia, et al. 2020. Impact of Non-Pharmaceutical Interventions (NPIs) to Reduce COVID- 19 Mortality and Healthcare Demand, <http://hdl.handle.net/10044/1/77482>

Ferretti, L., Wymant, C., Kendall, M., Zhao, L., Nurtay, A., Abeler-Dörner, L., Parker, M., Bonsall, D. and Fraser, C., 2020. Quantifying SARS-CoV-2 transmission suggests epidemic control with digital contact tracing. *Science* 10.1126/science.abb6936 (2020).

Flaxman, S., Mishra, S., Gandy, A., Unwin, H., Coupland, H., Mellan, T., Zhu, H., Berah, T., Eaton, J., Perez Guzman, P. and Schmit, N., 2020. Report 13: Estimating the number of infections and the impact of non-pharmaceutical interventions on COVID-19 in 11 European countries.

Hatchett, Richard J., Carter E. Mecher, y Marc Lipsitch. 2007. “Public Health Interventions and Epidemic Intensity during the 1918 Influenza Pandemic”. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104 (18): 7582–87. <https://doi.org/10.1073/pnas.0610941104>.

Kermack, W.O. and McKendrick, A.G., 1927. Contributions to the mathematical theory of epidemics--I. *Proceedings of the Royal Society*, Vol. 115A, pp. 700–721.

Anexo 1. Equipos de trabajo participantes del webinar “Desafíos para modelar y predecir la Epidemia de Covid-19 en Chile” 16 y 17 de abril

A continuación, se indican los distintos grupos de trabajo y sus aproximaciones en el modelamiento de COVID, que han sido identificados a partir de encuestas y presentaciones en el reciente seminario virtual.

Investigador Principal (email)	Institución(es)	Equipo Colaborador	Colaboración Internacional	Tipo de aproximación	Financiamiento Específico*
Gerard Olivar-Tost (gerard.olivar@uaysen.cl)	Depto. Cs. Naturales y Tecnología, Universidad de Aysén (U. Aysén)	Gino Montecinos, Johnny Valencia, Aldo Villalón, U. Aysén.	Rafael Hurtado, Universidad Nacional de Colombia	Modelo basado en agentes y otro en redes complejas	Ninguno
Claudio Torres (ctorres@inf.utfsm.cl)	Depto. Informática, Universidad Técnica Federico Santa María (UTFSM)	María Cristina Riff, Claudia López, Víctor Codoceo, Ricardo Ñanculef, Pablo Ibarra, Daniel San Martín, Francisco Casas, Depto. Informática, UTFSM.	Ninguna	Compartimentos epidemiológicos y visualización geo-referenciada (con índice de diversidad etárea)	Ninguno
Derek Corcorán (derek.corcoran.barrios@gmail.com)	Depto. Ecología, Universidad Católica (UC)	Giorgia Graells, Simón Castillo, Pablo Marquet, UC. Horacio Samaniego, UACH.	Ninguna	Compartimentos epidemiológicos y metapoblaciones	N/I
Sergio Estay (sergio.estay@uach.cl)	Inst. Cs. Ambientales, Universidad Austral de Chile (UACH)	N/I	Manuel Ruiz Aravena, Universidad de Montana	Compartimentos epidemiológicos (SIR) con estructura de edades	Ninguno
Mauricio Lima (mlima@bio.puc.cl)	Depto. Ecología, Universidad Católica (UC)	N/I	Ninguna	Compartimentos epidemiológicos (SIRD)	Basal Program Grant FB-0002 (2014).
José Correa (correa@uchile.cl)	Depto. Ingeniería Industrial, Inst. Sistemas Complejos de Ingeniería, Universidad de Chile (UCH)	Marcelo Olivares, Yerko Montenegro, Felipe Subiabre, Simón Maturana y Rodrigo Guerra, UCH.	Ninguna	Microsimulación	N/I
Tomás Pérez-Acle (tperezacle@cienciavida.org)	<i>Computational Biology Lab</i> , Fundación Ciencia & Vida (FCV)	Alejandro Martínez, César Ravello, Juan Manuel Cabello, Soraya Mora, Bárbara Bernal, Alejandra Barrios, Jorge Carrasco, Joaquín Jensen, FCV.	Ninguna	Compartimentos epidemiológicos (SEIRHUD) geo-referenciado a nivel de comuna para todo el país	N/I
Juan Carlos Maureira (jcm@dim.uchile.cl)	Centro de Modelamiento Matemático (CMM), Universidad de Chile (UCH)	María Paz Cortés, Andrew Hart, Vicente Acuña, CMM UCH.	Ninguna	Modelo basado en agentes	Basal Program CMM-AFB
Héctor Ramírez (hramirez@dim.uchile.cl)	Centro de Modelamiento Matemático (CMM), Universidad de Chile (UCH)	Jaime Ortega, Claudio Muñoz, CMM UCH. Pedro Gajardo y Rodrigo Lecaros, UTFSM. Carla Castillo, Universidad del Desarrollo (UDD).	Simon Cauchemez, Inst. Luis Pasteur, Francia. Benjamín Ivorra y Miguel Ángel Ramos, Universidad Complutense Madrid, España.	Compartimentos epidemiológicos	Basal Program CMM-AFB 170001 Fondecyt regular 1200355
Guillermo Cabrera (guillecabrera@inf.udec.cl)	Depto. Cs. de la Computación, Universidad de Concepción (UdeC)	N/I	N/I	Aproximación Bayesiana	N/I

Fernando Córdova (fcordovalepe@gmail.com)	Depto. Matemáticas, Física y Estadística, Universidad Católica del Maule (UCM)	Karina Vilches, Alejandro Rojas, Rodrigo Del Valle, Juan Pablo Gutiérrez, Rodrigo Gutiérrez, Maritza Cabrera, UCM.	Gerardo Chowell, <i>Georgia State University (GSU)</i> , EE. UU.	Compartimentos epidemiológicos discretos y continuos	Ninguno
Mauricio Canals (mcanals@uchile.cl)	Programa de Salud Ambiental, Escuela de Salud Pública y Dpto. Medicina, Fac. Medicina, Universidad de Chile (UCH)	N/I	Ninguna	Compartimentos epidemiológicos discreto (SIR)	Ninguno
Fernando Mardones (femardones@uc.cl)	Depto Enfermedades Infecciosas e Inmunología Pediátricas, Escuela Medicina, y Escuela Medicina Veterinaria, Universidad Católica (UC).	Julio Benavides y Daniel Pons, Fac. Cs de la Vida, Universidad Andrés Bello (UNAB). Joaquín Escobar- Doderio, Escuela Medicina Veterinaria, Universidad de Minnesota, EE. UU. Natalia Zimin- Veselkoff, UC.	Ninguna	Compartimentos epidemiológicos discreto (SEIRHD)	Ninguno
Soledad Torres (soledad.torres@uv.cl)	Centro de Investigación y Modelamiento de Fenómenos Aleatorios (CIMFAV), Universidad de Valparaíso (UV)	Gerardo Honorato, Rolando Rubilar, Cristina Saldías UV. Gonzalo Robledo, UCH. María Inés Icaza U. De Talca. Víctor Díaz, Universidad de Magallanes (UMAG).	Ninguna	Compartimentos epidemiológicos	Ninguno
Marcelo Arenas, (marenas@ing.puc.cl) Eduardo Undurraga (eundurra@uc.cl)	Instituto Milenio Fundamentos de los Datos IMFD, Escuela de Gobierno, Universidad Católica (UC)	Marcelo Arenas, Pablo Celhay e Isabelle Beaudry, UC. Pablo Barceló, UCH. Rafael Araos, MINSAL. Susana Eyheramendy y Katia Vogt, Universidad Adolfo Ibáñez (UAI).	Gerardo Chowell y Amna Tariq, GSU, EE. UU..	Modelo fenomenológico de crecimiento. Compartimentos epidemiológicos (SEIR) Modelo fenomenológico con "benchmarks" internacionales (en desarrollo)	Ninguno

*N/I = No Informa

ANEXO 2. FIGURAS ASOCIADAS A LA SIMULACIÓN DE ESTRATEGIAS DE CUARENTENA

Simulaciones para la Región Metropolitana realizadas por el equipo liderado por D. Corcorán. [Ver informe completo.](#)

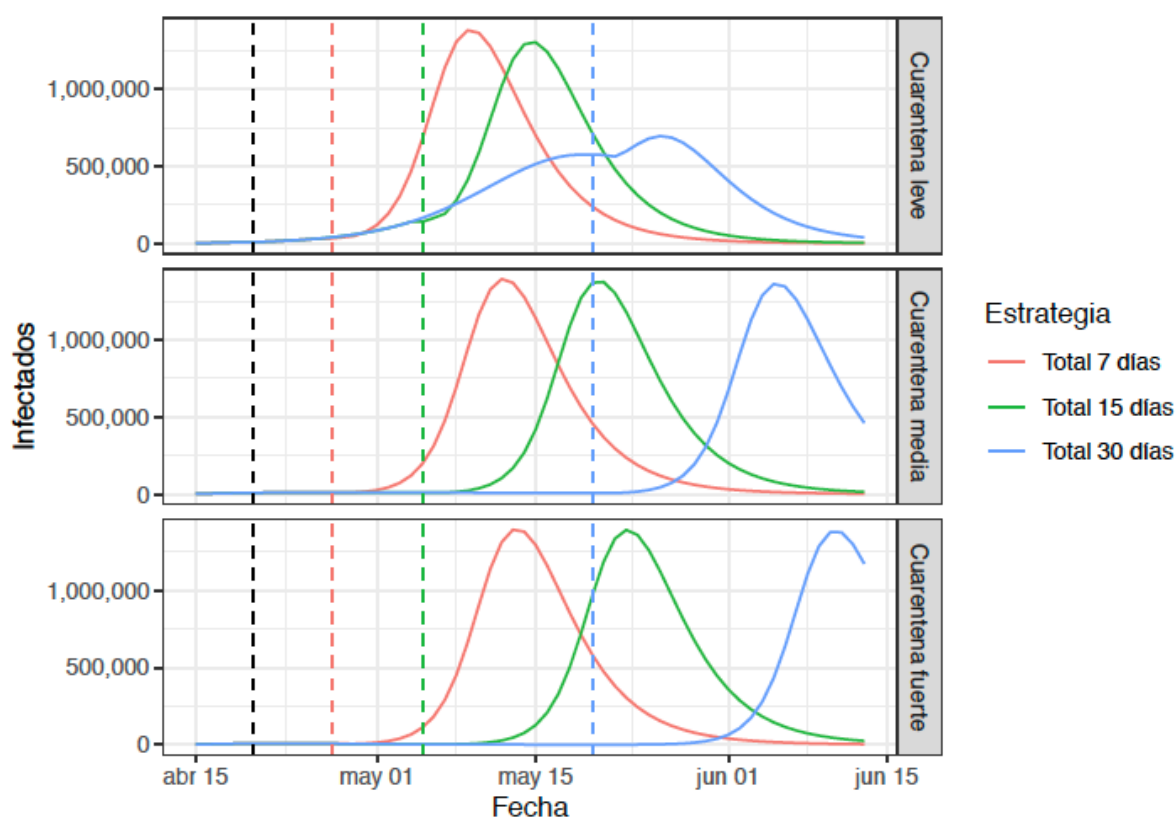


Figura 1. Evolución del número de infectados totales en un escenario de cuarentena completa de la Región Metropolitana. Las líneas segmentadas de colores corresponden a la fecha en que se instaure la cuarentena total de una duración de 7, 15 o 30 días para escenarios de cuarentena media y fuerte donde se asegura que hay una reducción importante en el número de viajes y en el número de contactos promedio por persona (ver detalle en el informe completo). Como se puede apreciar en esta figura las cuarentenas de toda la RM por 7, 15, o 30 días sólo desplazan el peak de la infección, pero en general (salvo para el caso de una cuarentena total leve de 30 días) no decrecen su magnitud.

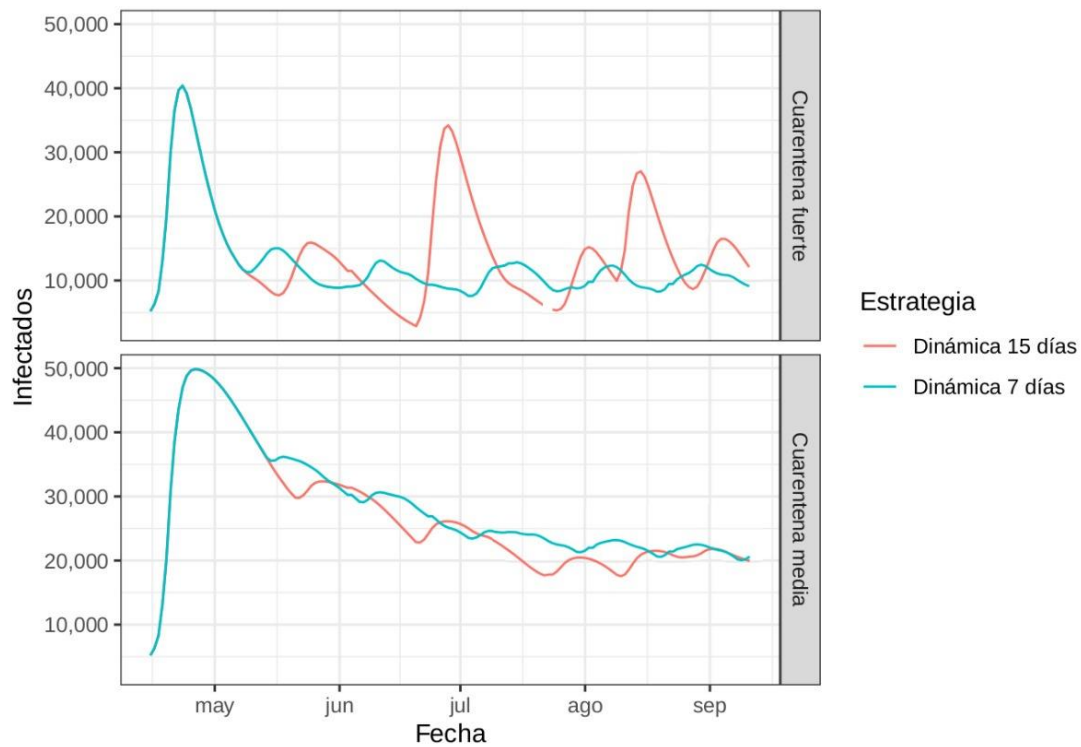


Figura 2. Evolución de número de infectados totales en el tiempo en la Región Metropolitana, considerando las estrategias de cuarentenas dinámicas de 7 y 15 días, para escenarios de cuarentena media y fuerte donde se asegura que hay una reducción importante en el número de viajes y en el número de contactos promedio por persona (ver detalle en el informe completo).

Simulaciones para la ciudad de Santiago realizadas por el equipo dirigido por J. Correa.
[Ver informe completo.](#)

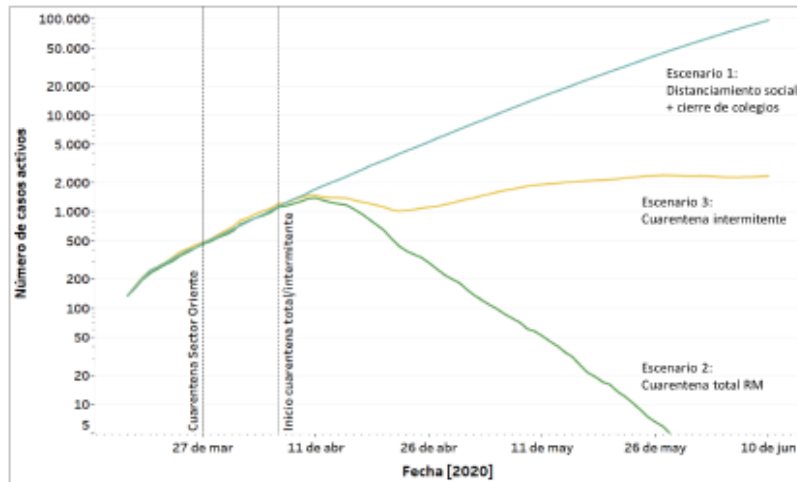


Figura 3. Comparación de la evolución del número de casos activos (infectados que pueden transmitir la enfermedad) para tres escenarios de contención en un horizonte de 90 días. El escenario de (full lock-down de Santiago) reduce rápidamente el número de casos activos en un plazo breve (alrededor de 6 semanas). Sin embargo, si al levantar la cuarentena total (no graficado) no se toman medidas adicionales para contener la propagación y solo se revierte a cerrar colegios y distanciamiento social moderado, se desencadena un crecimiento exponencial que no es sostenible. El escenario de cuarentenas intermitentes (con un umbral de 50 casos por 100.000 habitantes) parece ser una estrategia sostenible, manteniendo el número de contagios activos en un nivel estable. La Figura 5 muestra mayor detalle de las 15 simulaciones realizadas para este escenario, extendiendo la simulación a 150 días. Se observa que el número de casos activos oscila entre 2000 y 4000 en el periodo, logrando cierta estabilidad. Finalmente, el cierre de colegios y distanciamiento social por sí solos muestra ser insuficiente para contener el crecimiento exponencial del contagio.

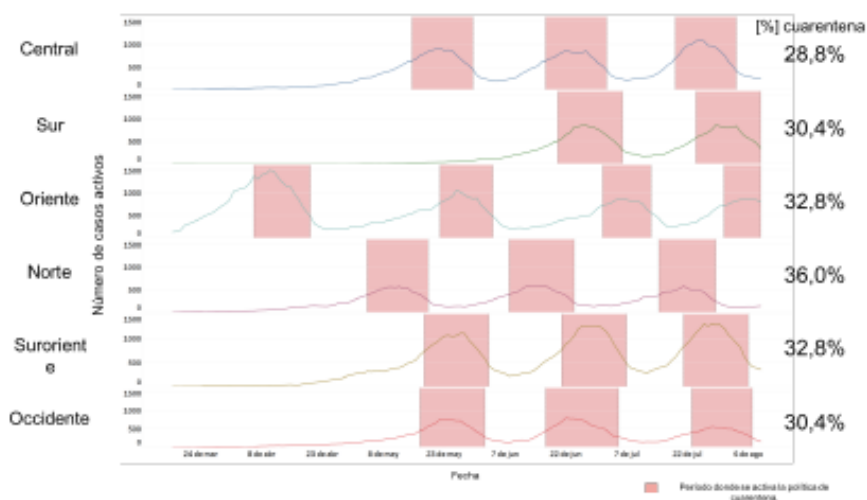


Figura 4. La dinámica de las cuarentenas intermitentes se puede apreciar en esta figura, donde se muestra la evolución de las 6 zonas (Servicios de Salud) para una de las simulaciones (otras corridas de simulación tiene un patrón similar). El umbral para activar y desactivar la cuarentena en cada zona se fijó en 50 casos activos por cada 100 mil habitantes, cercano al valor que se observó cuando se decretó la cuarentena en las 7 comunas del sector oriente el 27 de marzo.

Simulaciones para la ciudad de Santiago realizadas por el equipo dirigido por H. Ramírez.
[Ver informe completo.](#)

Resultado global

Hospitalizaciones y UCI en los dos escenarios: actual (azul) y abriendo colegios (rojo) el lunes 27 de abril

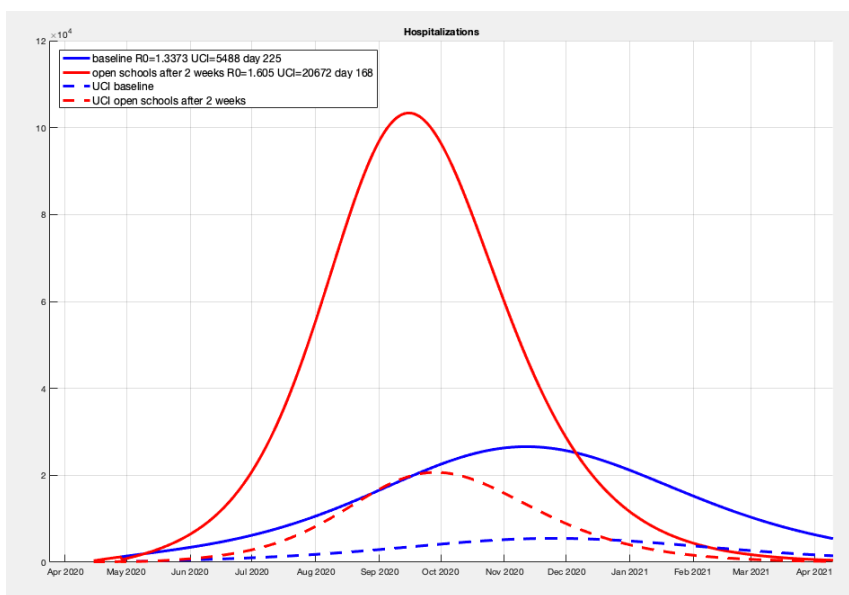


Figura 5. La apertura de colegios aumentaría en 3.7 veces el número máximo de hospitalizaciones UCI y adelanta su fecha en aproximadamente 2 meses.