

# **Modelo de microsimulación para evaluar medidas de contención de Covid19 en Chile**

## **2do Reporte in Extenso**

**14 de Abril, 2020**

**Instituto Sistemas Complejos de Ingeniería (ISCI)  
Ingeniería Industrial, FCFM, U de Chile**

- José Correa, Prof. Titular, U de Chile
- Marcelo Olivares, Prof. Asociado, U de Chile
- Felipe Subiabre, alumno de doctorado, U de Chile
- Simon Maturana, alumno magister, U de Chile
- Rodrigo Guerra, Data Scientist ISCI / U de Chile
- Yerko Montenegro, Ingeniero Industrial, U de Chile
- Matias Cerda, Ingeniero Industrial, U de Chile

En este trabajo desarrollamos un modelo de micro-simulación, basado en el trabajo de [Imperial College Covid19 Response Team \(Ferguson et. al.\)](#), el cual tuvo un impacto significativo en [cambiar la política de contención en UK](#). El modelo se basa en simular el comportamiento de individuos y sus interacciones sociales a través del hogar, trabajo, colegio y conexiones en la comunidad. Utilizando diversos estudios epidemiológicos recientes, se calibra la probabilidad de contagio en los distintos tipos de interacción social, las cuales dependen del lugar de la interacción y la edad de los individuos.

En comparación con otros modelos utilizados en la literatura que se basan en información histórica para predecir la propagación de la pandemia, -- como los modelos de propagación [exponencial y SIR](#) -- los modelos de simulación se construyen en base a una estructura detallada que captura las componentes geográficas y demográficas de la población. Este nivel de detalle permite evaluar la efectividad de medidas específicas de contención que restringen el movimiento de las personas en diversos niveles, como por ejemplo:

- Clausura de colegios y universidades, reduciendo la interacción social entre

alumnos dentro del establecimiento.

- Cuarentena de grupos etarios de alto riesgo.
- Cuarentena forzada a individuos que comparten hogar con un paciente infectado.
- Confinamiento de pacientes infectados en recintos "sucios" fuera del hogar, reduciendo la tasa de contagio dentro del grupo familiar.
- Aumento en el volumen de testeo, el cual reduce la interacción social de individuos infecciosos no detectados.
- Lock-down: cuarentena obligada a todos los hogares, limitando fuertemente la propagación del contagio.

## Datos utilizados

El modelo de microsimulación requiere como *input* información detallada sobre el movimiento de personas y su interacción social. Alrededor de un un tercio de los contagios ocurre en los colegios y el trabajo, un tercio en el hogar y el otro tercio en el resto. Por lo tanto, es muy importante capturar los patrones de movimiento a colegios y trabajo, para lo cual se desarrollo una base de datos de las siguientes fuentes:

1. Utilizando las postulaciones al nuevo sistema de admisión escolar, se calcularon los traslados desde el hogar a los colegios. A diferencia de otros países en UK en donde las niños van a colegios cercanos al hogar, en Chile existe un mayor flujo de estudiantes entre comunas. A modo de ejemplo, la Figura 1 muestra las elecciones de colegios de familias en la comuna de Macul (el tamaño de los círculos muestra el porcentaje de las familias que va a esa comuna).
2. Se combinó información del Transantiago (buses + metro) obtenida con la activación de tarjetas BIP para determinar los viajes en transporte publico. La Figura 2 ilustra estos patrones de movimiento desde la comuna de Maipu a otras comunas.
3. Se utilizaron datos de transporte privado de la encuesta Origen-Destino 2012, para inferir el traslado del hogar al trabajo. La Figura 3 muestra los viajes en transporte privado desde Vitacura a otras comunas. Esta encuesta también indica el porcentaje de la población de la comuna que viaje en transporte publico y privado, lo cual se utiliza para definir los flujos de ambos modos de transporte para simular los viajes al trabajo.

4. Información demográfica: usando datos del Censo 2017, se obtienen datos a nivel de comuna sobre población, distribución de edad y tamaños de grupo familiar. Esta información se utiliza para capturar la interacción social en el hogar y diferenciar las tasas de contagio por edades.

Generamos este mapa interactivo para poder visualizar los viajes a colegios, en transporte público y en transporte privado.

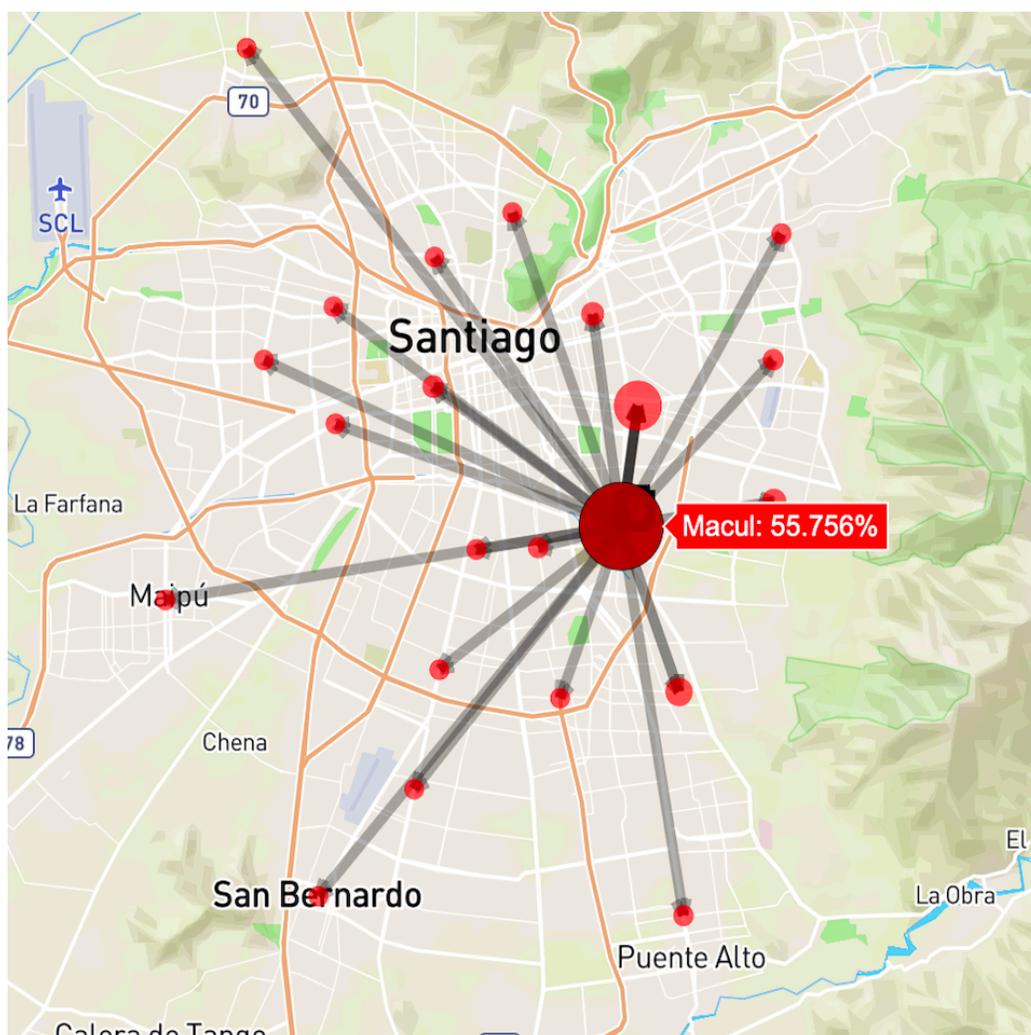


Figura 1 - Elección de colegios de familias en Macul.

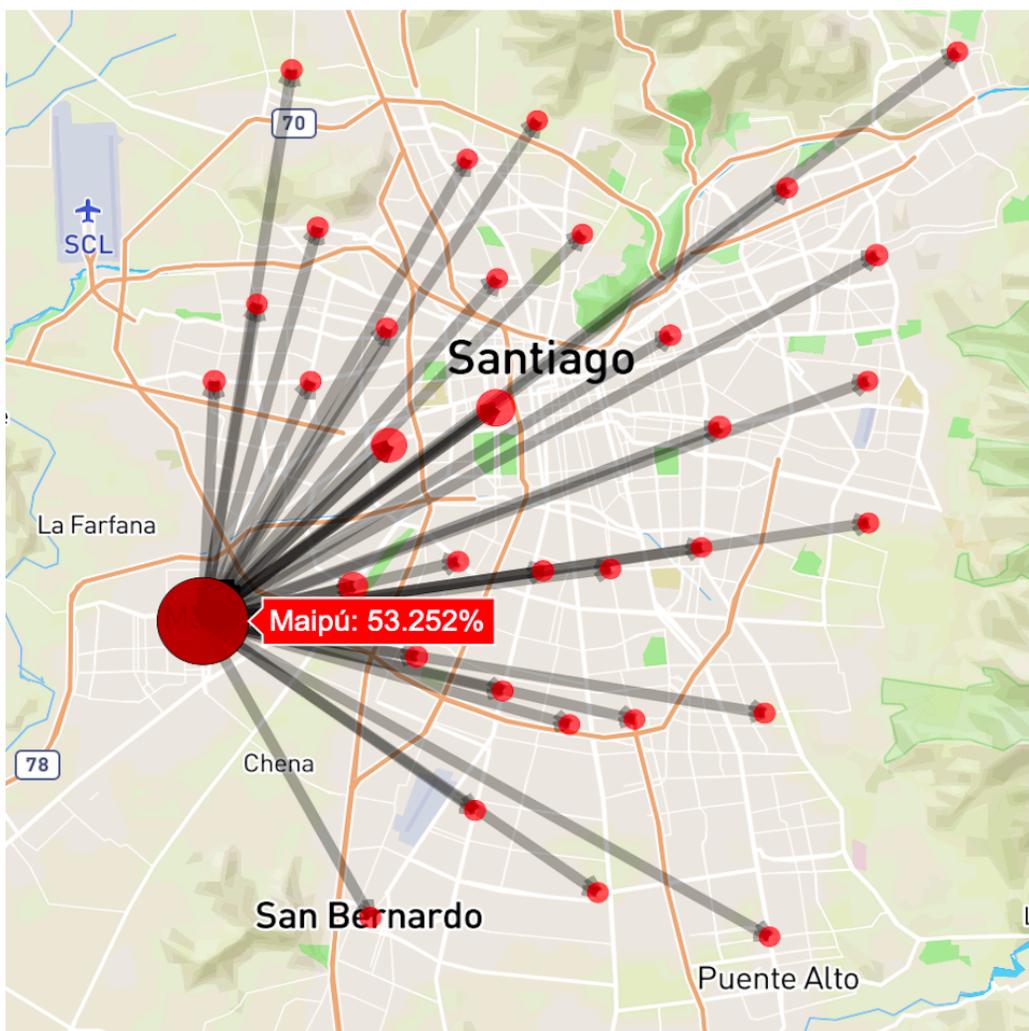


Figura 2 - Transporte publico desde Maipú.

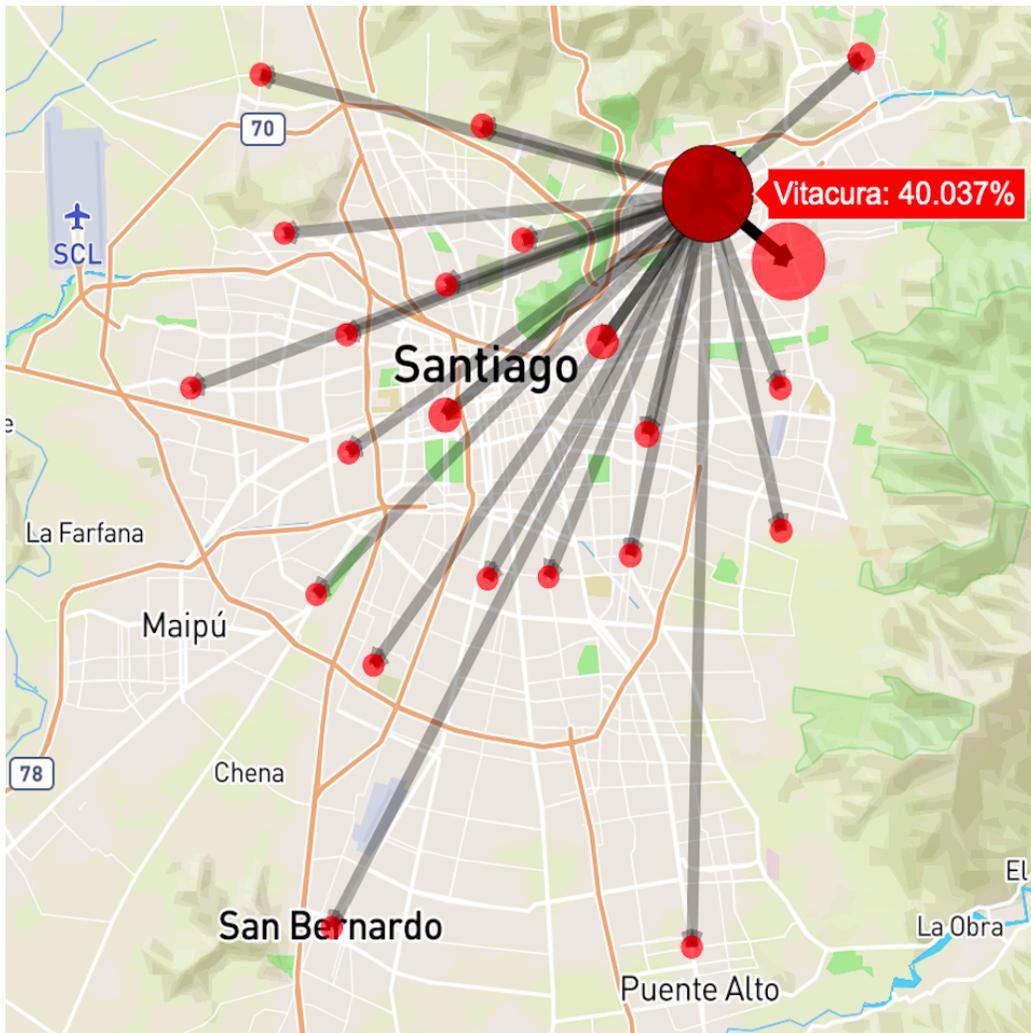


Figura 3 - Transporte privado desde Vitacura.

### **Descripción general de la metodología de simulación**

El modelo se calibra para la ciudad de Santiago, siguiendo el siguiente proceso.

1. La primera etapa consiste en construir la red que define los contactos entre los individuos en la ciudad. El modelo considera tres redes superpuestas:
  - Se generan familias y sus respectivas personas para las distintas comunas de Santiago, respetando las distribuciones de edad y tamaño familiar descritas en el Censo 2017.

- Para los individuos menores de 18 años, se les asigna un colegio en alguna comuna, respetando la distribución real de la comuna donde vive basándose en los datos del sistema de admisión escolar (ver ejemplo Figura 1).
  - Para los individuos mayores de 18, se determina si trabaja fuera del hogar (de acuerdo a las proporciones de empleabilidad del Censo 2017) y la ubicación de su trabajo de acuerdo a la distribución real descrita en las base a los datos de transporte publico y privado (ver ejemplos Figuras 2 y 3).
2. En cada día simulado, los individuos se someten a tres riesgos de contagio:
    - Contagio en el hogar: la tasa de contagio depende del número de individuos contagiados dentro del hogar.
    - Contagio en el trabajo / colegio: la tasa de contagio depende del número de individuos que trabajan en el mismo establecimiento. Para el caso de los colegios, depende del numero de alumnos en el colegio (calibrado según la distribución de tamaños de colegios documentada en los datos).
    - Contagio comunitario: se construyen al azar conexiones de contacto con el resto de la población dentro de una distancia determinada. Cada individuo se conecta con otros individuos al azar de acuerdo a una probabilidad proporcional a la distancia, utilizando modelos basados en redes sociales.
  3. La evolución de la enfermedad en cada individuo se modela a través de los siguientes estados: (1) sano; (2) contagiado en estado de incubación donde no contagia; (3) infeccioso sin síntomas; (4) sintomático infeccioso; (5) recuperado inmune. En el estado sintomático infeccioso se distinguen dos sub-estados: moderado y critico. Los individuos contagiados pasan por los estados 2, 3, 4 y 5, excepto una fracción de la población que es asintomática y no pasa por el estado 4. En cada día de la simulación se actualiza el estado de infección de todos los individuos.

## **Calibración de parámetros**

Para la simulación se utilizan los siguientes parametros:

- Poblacion total de Santiago de 6.103.852 ([Censo 2017](#))
- Se incluyen las siguientes comunas de la Region Metropolitana: Cerrillos, Cerro Navia, Conchalí, El Bosque, Estación Central, Huechuraba, Independencia, La Cisterna, La Florida, La Granja, La Pintana, La Reina, Las Condes, Lo Barnechea, Lo Espejo, Lo Prado, Macul, Maipú, Ñuñoa, Pedro Aguirre Cerda, Peñalolén,

Providencia, Pudahuel, Puente Alto, Quilicura, Quinta Normal, Recoleta, Renca, San Bernardo, San Joaquín, San Miguel, San Ramón, Santiago, Vitacura.

- Un 45% de los contagiados son asintomáticos (basado en trabajo de Imperial College).
- Cada individuo pasa por un estado inicial de susceptible, en donde está sano y vulnerable a contraer la enfermedad. En cuanto se contagia entra en un periodo de latencia, el cual dura en promedio 5,1 días (basado en trabajo de Imperial College).
- A partir de este punto puede volverse sintomático o asintomático, en ambos casos empiezan a transmitir el virus 12 horas antes del término del periodo de latencia (4,6 días después del momento del contagio). El periodo de contagio dura aproximadamente 6,5 días (basado en trabajo de Imperial College).
- El 90% de los contagiados sintomáticos permanecen en su hogar de manera voluntaria (no va a trabajar o estudiar).
- Un 4.4% de los casos requiere hospitalización, y de estos un 30% requiere atención crítica (con ventilación mecánica). Estos porcentajes varían por edad.
- El tiempo promedio de hospitalización es 10.4 días (un promedio ponderado de 8 días para los no críticos y 16 días para los críticos).
- La probabilidad que un individuo  $k$  contagie a otro individuo  $i$  con el cual tiene contacto ya sea en el hogar, trabajo, colegio o comunitario sigue una distribución de probabilidad exponencial de parámetros  $q_{ik}^l t$ , donde la tasa  $q_{ik}^l$  depende del lugar de contacto  $l = \{\text{casa, trabajo, colegio, social}\}$  y del tiempo  $t$  en que estuvieron expuestos (basado en el trabajo de microsimulación de la gripe en Sudeste Asiático)
- Las tasas de contagio se fijan de tal manera que los contagios ocurran con probabilidad  $1/3$  vía el hogar,  $1/3$  vía trabajo + colegio y  $1/3$  el resto (basado en los parámetros de transmisión de la gripe estacional utilizados por Imperial College).

Las tasas de contagio además son ajustadas en la misma escala de modo de replicar la tasa de crecimiento en el contagio observada en la ciudad de Santiago. Los detalles de este ajuste se describen a continuación.

Se realizó una calibración de los parámetros utilizando los datos de contagios para la ciudad de Santiago entre el 17 de marzo y el 6 de abril (los datos más recientes a la fecha). Se utilizaron solo datos agregados para todo Santiago, ya que la información detallada por comuna solo está disponible a partir del 30 de marzo. Se realizaron simulaciones donde se definieron los siguientes regímenes:

- Marzo 16: Inicia la simulación justo después del cierre de colegios y recomendaciones de distanciamiento social. En el modelo este régimen se implementa como sigue:
  - Para emular el distanciamiento social, se reducen las conexiones comunitarias entre los individuos a un 25% del original.
  - Se eliminan todas las conexiones asociadas al colegio, y se agregan arcos comunitarios alrededor del hogar y entre los miembros del hogar que asisten a colegio (i.e. conexiones entre hermanos).
- Marzo 27: Lock-down de siete comunas. Se elimina todas las conexiones asociadas al trabajo para el 90% de la población en cada comuna bajo cuarentena.

Para el estado de inicio del 17 de Marzo, se realizó una simulación adicional en los días previos con colegios abiertos y sin distanciamiento social, para generar instancias con contagiados infecciosos sin síntomas (estado 2) que fueron incluidos dentro de cada simulación en el periodo estudiado.

El gráfico de la Figura 4 muestra el ajuste del modelo comparado con los datos agregados para Santiago, ajustado al número de contagios entre el 17 de marzo hasta el 6 de abril. Dado que los exámenes para confirmar la infección tardan entre 1 y 5 días para ser reportados, se utiliza un desfase de 2 días para comparar la predicción del modelo con los casos reportados por Minsal.

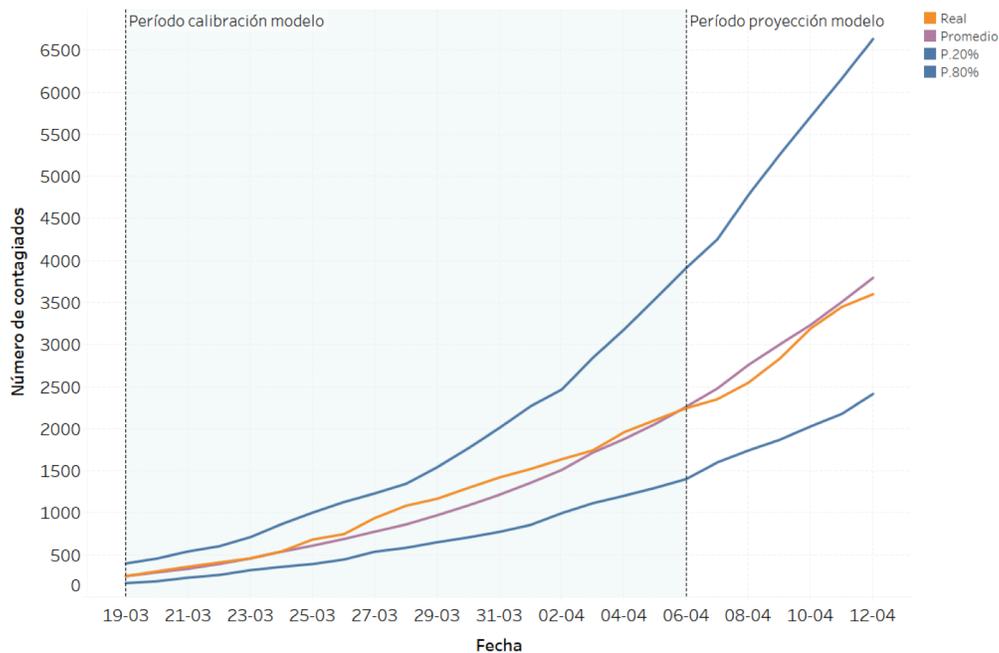


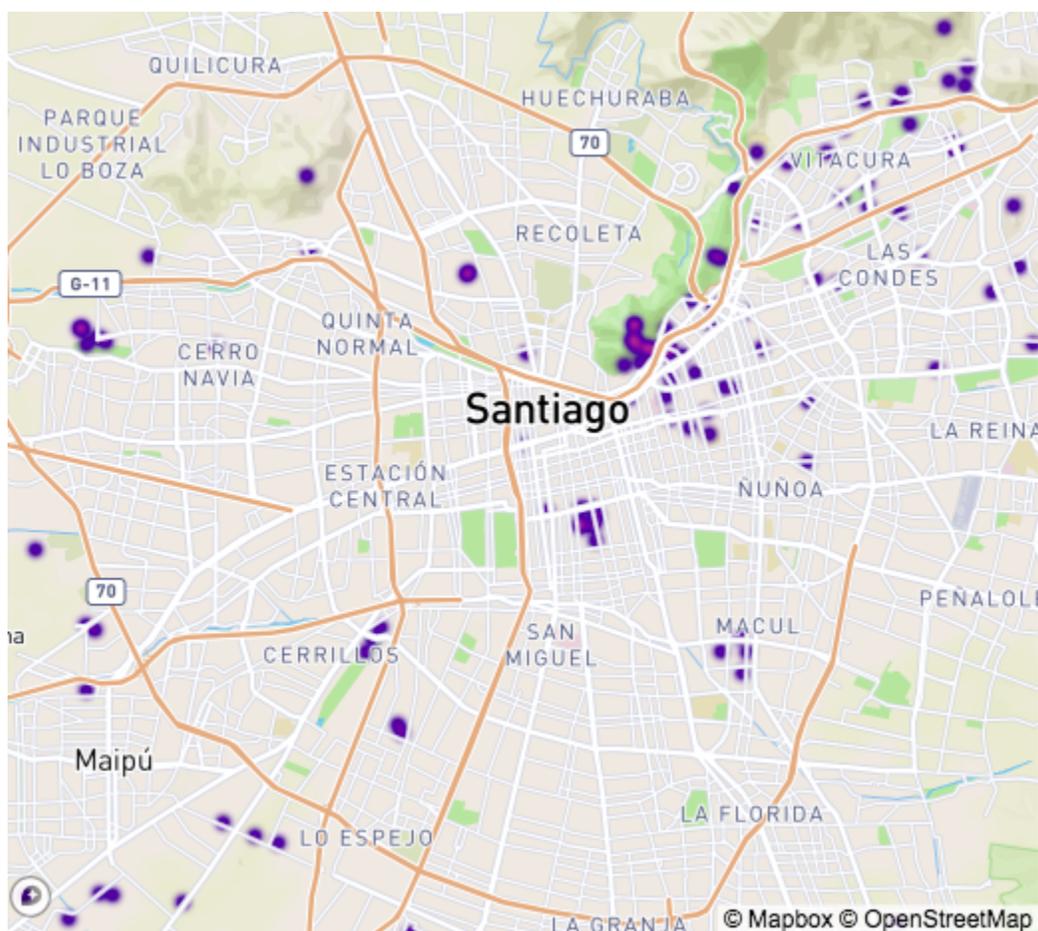
Figura 4 - Ajuste del modelo periodo 17 marzo - 6 abril 2020 (comparado con datos reales del 19/03 al 6/04. En base a esa calibración, se realiza un pronóstico fuera de la muestra al 12 de abril.

Se ajustaron dos parámetros para calibrar el modelo a los datos: (1) la fracción de la población no detectada al comienzo de la simulación; (2) re-escalar las tasas de contagio (en la misma proporcionalmente para los distintos tipos de contagio). Las líneas azules muestran los percentiles 20% y 80% entre las 15 simulaciones corridas, la línea morada el promedio de las simulaciones y la línea naranja los resultados reportados por Minsal. En general, se observa un buen ajuste de las predicciones del modelo a los datos en la muestra de calibración.

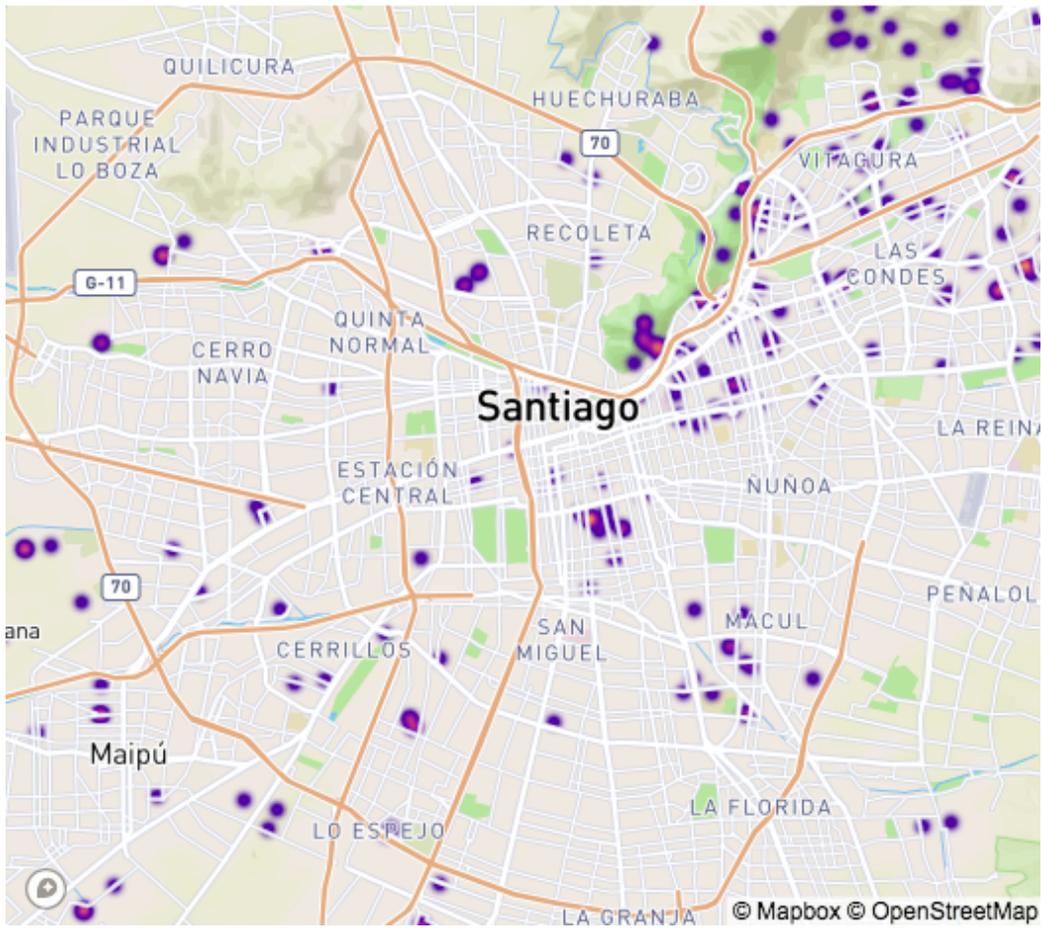
Para validar las proyecciones que entrega el modelo, se generaron pronósticos (con el modelo calibrado) para los casos acumulados hasta el 12 de abril (una predicción fuera de la muestra). Los resultados (desplegados en la parte derecha de la Figura 4) indican que el modelo ajustado predice razonablemente bien fuera de la muestra. Es importante destacar que en el periodo posterior al 6 de abril es cuando se debiesen ver los efectos de la cuarentena en las comunas del sector oriente, y el modelo es capaz de capturar correctamente este cambio de régimen en la predicción.

El modelo permite además analizar la evolución de los individuos infectados para distintas zonas geográficas de Santiago. Los mapas desplegados abajo muestran el numero de contagios por comuna para 4 fechas distintas (se puede ver mas detalle en [este mapa interactivo](#) ).

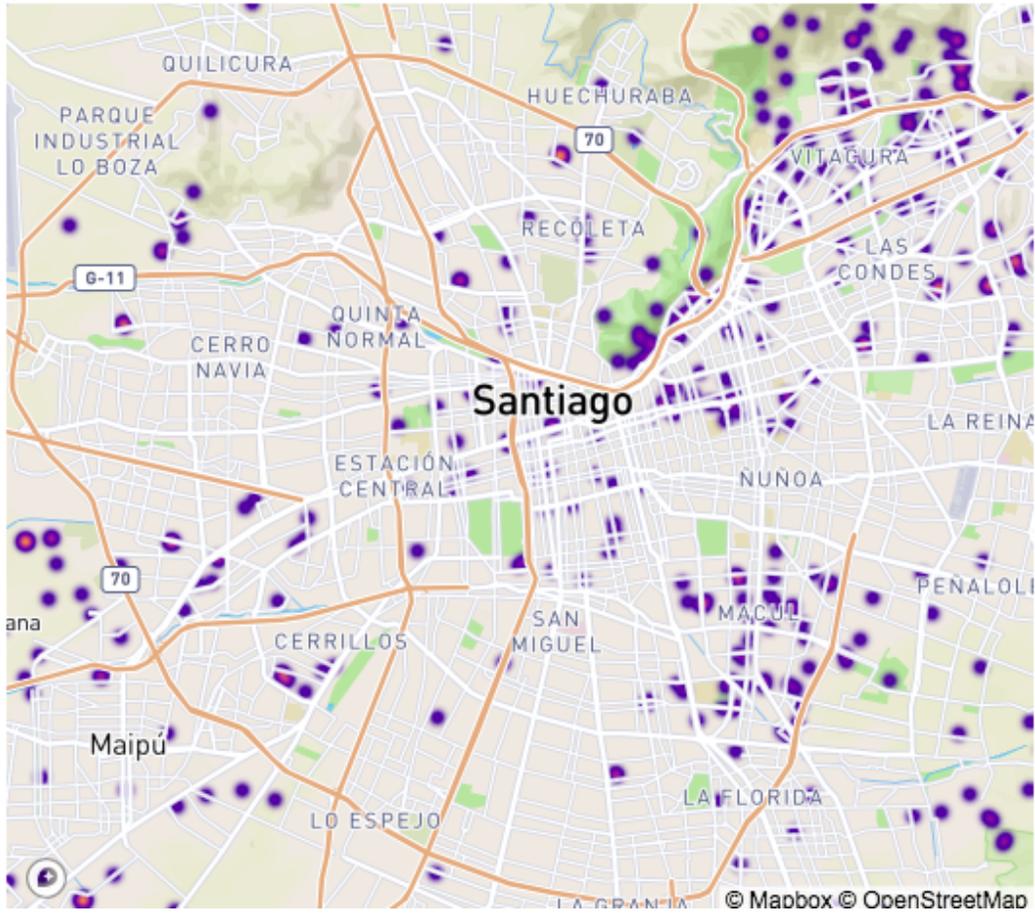
---



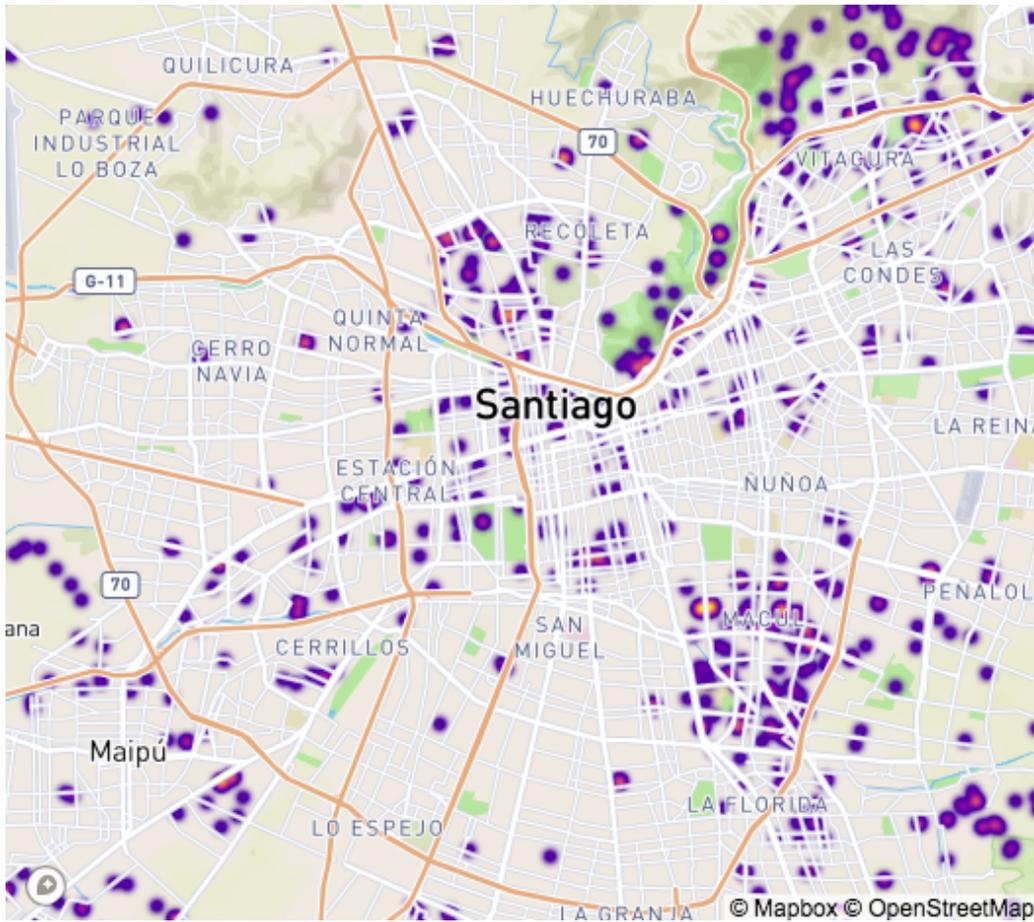
Día 0, Marzo 16 2020 (estado inicial)



Día 5, Marzo 21, 2020



Día 10, Marzo 26, 2020



Día 14, Marzo 30, 2020

Para validar que la calibración de parámetros es acorde al trabajo original de [Imperial College](#), calculamos el porcentaje de contagio por cada canal (Hogar, Trabajo, Colegio y Comunitario). Esto puede calcularse analíticamente utilizando la estructura de la red de contagio y las tasas  $q_{ij}$  estimadas. La siguiente tabla muestra los resultados:

Canal de contagio	Probabilidad
Hogar	32.68%
Trabajos + colegios	34.06%

Para validar la calibración, se realizaron simulaciones específicas para calcular el valor de  $R_0$  del modelo. Para este efecto, se repitieron simulaciones durante un periodo corto al comienzo de la infección y se utilizaron métodos desarrollados en la literatura para estimar el factor de reproducción  $R_0$ . Bajo el régimen que comienza con los colegios cerrados y distanciamiento social, el  $R_0$  es igual a 1.55. Para efectos de comparación con estudios de otros países, se evaluó un escenario sin cierre de colegios y sin distanciamiento social, en donde se obtuvo un  $R_0$  de 2.75, lo cual está en línea con lo reportado en la literatura reciente (Diamond Princess, etapa temprana en Wuhan, Australia y reportes de la WHO). La siguiente tabla resume estos resultados.

Escenario	$R_0$
Colegios cerrados + distanciamiento social	1.55
Sin restricciones	2.75

## Evaluación de escenarios contrafactuales

Con el modelo calibrado, se procedió a generar simulaciones de distintos escenarios que implementan medidas alternativas para contener la propagación del contagio. En este reporte el análisis se enfoca en medidas de distanciamiento social.

Se evaluaron los siguientes escenarios:

- **Escenario 1: Distanciamiento social + Cierre de colegios**
  - Distanciamiento social de la población en todo Santiago. En el modelo, esto se implementa reduciendo las conexiones comunitarias entre los individuos a un 25% del original.
  - Colegios cerrados, clases online en la universidad. Se eliminan todas las conexiones asociadas al colegio, y se agregan arcos comunitarios alrededor del hogar y entre los miembros del hogar que antes asistían al colegio (i.e. conexiones entre hermanos).
- **Escenario 2: Cuarentena total de Santiago**

- Todas las restricciones de Escenario 1.
- Se elimina todas las conexiones asociadas al trabajo para el 90% de la población en cada comuna bajo cuarentena. En este escenario se considera un cierre de todas las comunas de Santiago.
- **Escenario 3: Cuarentenas intermitentes**
  - Se va alternando entre los Escenarios 1 y 2 a nivel de zona.
  - Se agrupan las comunas en 6 zonas definidas por los Servicios de Salud.
  - Se utiliza una política de umbral, en donde se activa el lockdown (similar al Escenario 2) en una zona cuando el numero de contagiados activos por cada 100 mil habitantes sobrepasa un umbral  $X = 50$  (se pueden generar distintos escenarios variando umbral).
  - Cuando el numero de casos activos baja de ese umbral, se levanta la cuarentena y la zona vuelve a operar en condiciones similares al Escenario 1.

El siguiente gráfico compara los casos de contagio activo para estos tres escenarios.

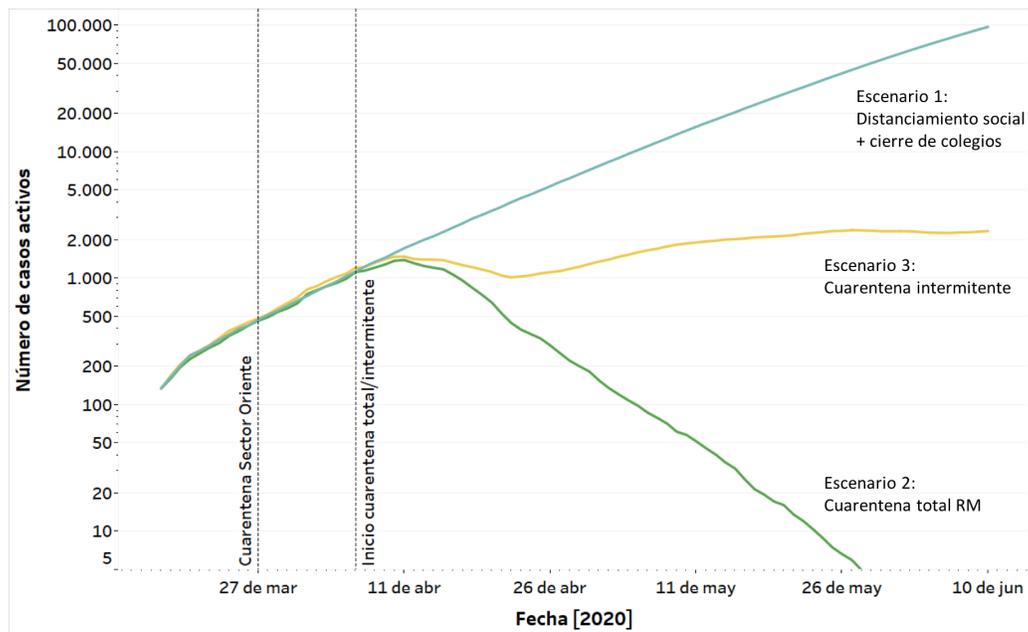


Figura 5: Comparación de casos activos para tres escenarios de contención, horizonte de 90 días. Eje vertical logarítmico.

Las medidas tempranas orientadas a inducir distanciamiento social a través del cierre de colegios y prohibición de eventos grupales (Escenario 1), generaron un crecimiento contenido del número de casos activos relativo al crecimiento observado en otros países. En términos epidemiológicos, estas medidas fueron efectivas para reducir el número de reproducción ( $R_0$ ) a 1.6 (comparado con  $R_0=2.5$  reportado en otros países). Sin embargo, el cierre de colegios y distanciamiento social por si solos muestra ser insuficiente para contener el crecimiento exponencial del contagio, llegando a 100 mil casos activos en Junio.

El escenario 2 (full lock-down de Santiago) reduce rápidamente el numero de casos activos en un plazo breve (alrededor de 6 semanas). Durante cuarentena, el número de reproducción  $R_0$  baja a 0.6. Sin embargo, si al levantar la cuarentena total (no traficado) 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 similar al escenario 1 que no es sostenible. Se requieren mecanismos adicionales de contención para evitar el resurgimiento del contagio post cuarentena total, tales como testeos masivos, seguimiento de nuevos infectados, confinamiento de infectados no críticos y/o estrategias de cuarentenas intermitentes según un umbral definido.

El escenario 3 (cuarentenas intermitentes) parece ser una estrategia sostenible, manteniendo el numero de contagios activos en un nivel estable. La Figura 6 muestra mayor detalle de las 15 simulaciones realizadas para este escenario, extendiendo la simulación a 150 días. Se observa que el numero de casos activos oscila entre 2000 y 4000 en el periodo, logrando cierta estabilidad.

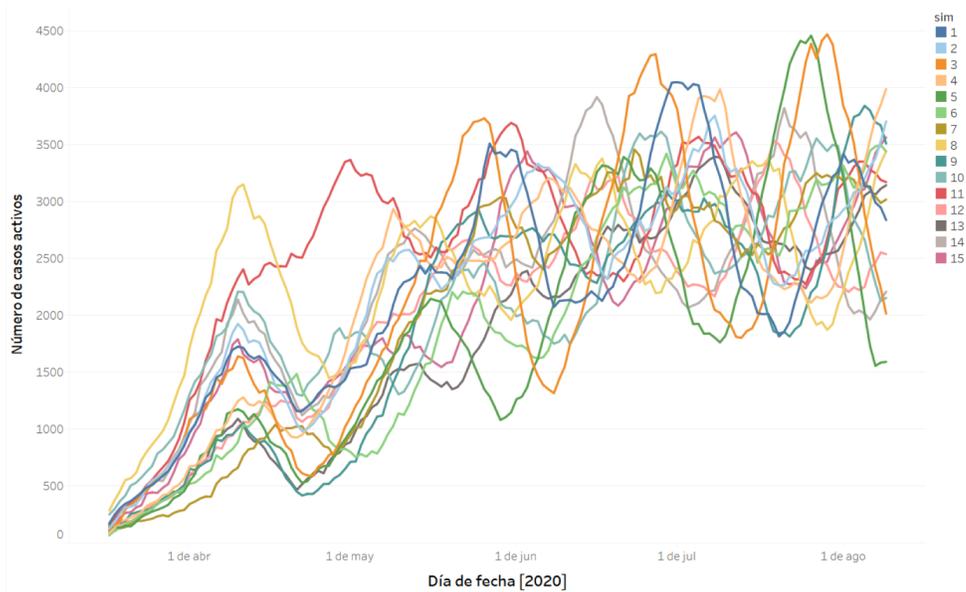


Figura 6 - Detalle de simulaciones para Escenario 3 (cuarentenas intermitentes) en un horizonte de 150 días.

La dinámica de las cuarentenas intermitentes se puede apreciar en la Figura 7, donde se muestra la evolución de las 6 zonas (Servicios de Salud) para una de las simulaciones (otras corridas de simulación tiene un patron similar). El umbral para activas y desactivar la cuarentena en cada zona se fijo en  $X = 50$  activos por cada 100 mil habitantes, cercano al valor que se observo cuando se decreto la cuarentena en las 7 comunas del sector oriente el 27 de marzo.

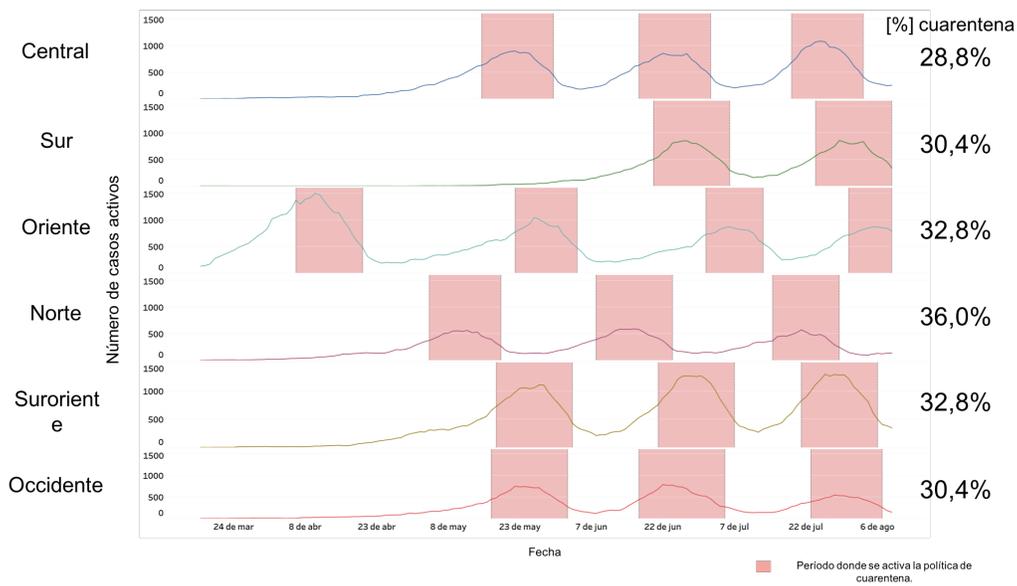


Figura 7: Evolución temporal de estrategia de cuarentenas intermitentes (Escenario 3) según Servicio de Salud RM, para una corrida de simulación.

Se observa que la política efectivamente va alternando los cierres entre las comunas, permitiendo que parte de la ciudad de Santiago pueda seguir operando (bajo distanciamiento social y con colegios cerrados). Las cuarentenas duran entre 10-20 días, un plazo razonable para "poner en pausa" la actividad económica en una zona. Para evaluar el costo económico de esta medida, se evaluó el porcentaje del tiempo que una comuna permanece en cuarentena -- en promedio 1/3 del tiempo -- descritas en el lado derecho de la Figura 7.

### Conclusiones y Trabajo futuro

Los escenarios analizados sugieren que una estrategia basada en distanciamiento social y cierre de colegios no es suficiente para contener la pandemia. Por otro lado, un cierre total de la ciudad de Santiago permitiría rápidamente reducir el número de casos activos, pero no es sostenible en el tiempo sin una estrategia clara para mitigar la propagación exponencial del virus una vez levantada la cuarentena. La política de cuarentenas alternantes por zona es viable en la medida

que: (1) se cuente con información oportuna para activar las cuarentenas ; (2) se mantenga el distanciamiento social y el cierre de colegios una vez levantada la cuarentena.

### **Mejoras en la calibración del modelo usando datos granulares**

Nuestro plan es ir mejorando la calibración de parámetros utilizando información mas granular, a través de dos enfoques complementarios.

1. Santiago ha estado sujeto a dos regímenes que afectan el movimiento de personas: (i) el cierre de colegios (marzo 15); (ii) la cuarentena de 7 comunas, desde el 27 de marzo al 12 de abril. La cuarentena afecta un sub-conjunto de las comunas, en donde la tasa de contagio cambia debido a que se disminuye los canales de contagio de trabajo y comunitario. Por otro lado, las zonas fuera de la cuarentena pero que trabajaban en algunas de las comunas en cuarentena disminuyen su tasa de contagio al no ir a trabajar. La intervención del lock-down parcial debiese generar cambios en la tasa de contagio distintos en zonas dentro y fuera de la zona de cuarentena, lo cual permite identificar por separado las tasas de contagio de trabajo, hogar y comunitario.
2. El numero de contagiados reportados por el Minsal tiene dos fuentes de sesgo: (i) el rezago de los resultados de test puede variar en el tiempo; (ii) el volumen de tests realizados cambia, lo cual altera la fracción de contagiados no detectados. Sin embargo, los datos de hospitalizaciones de pacientes Covid son menos susceptibles a este tipo de sesgo. Por lo tanto, utilizar el numero de hospitalizaciones -- que corresponde al 5% mas grave de los infectados de acuerdo a los patrones de infección reportados en la literatura reciente -- permite ajustar de mejor manera los parámetros del modelo. Por lo demás, realizar predicciones sobre las hospitalizaciones es mas informativa para diseñar políticas de contención que eviten el colapso del sistema de salud nacional.

En resumen, para mejorar la calibración del modelo se requiere:

- **Datos mas granulares**, idealmente georeferenciados, para utilizar la varianza geográfica en la calibración de parámetros (comuna pareciera no ser suficiente ya que las cuarentenas anunciadas para el 13 de abril incluyen solo parte de algunas comunas).
- **Datos de hospitalizaciones**, idealmente georeferenciados, para tener una

métrica de propagación del virus con menos error de medición.

### **Evaluar otras estrategias de contención**

Es posible evaluar valores alternativos del umbral utilizado para activar/desactivar cuarentenas. Aumentar este umbral reduce el tiempo en que una zona permanece cerrada, pero a la vez aumenta la demanda por capacidad hospitalaria (el número de casos críticos activos aumenta). Evaluar distintos valores del umbral permite analizar el trade-off entre aumentar la capacidad de camas críticas y los costos económicos generados por lock-downs frecuentes.

Existen otros tipos de intervenciones alternativas al lock-down para frenar la propagación del virus:

- Dado que un tercio de los contagios ocurren en el hogar, es posible reducir la tasa de contagio aislando los pacientes no-críticos en centros de confinamiento colectivo (e.g. hoteles). Este tipo de estrategias ha resultado ser exitosa en China. El modelo de microsimulación puede evaluar estas medidas de contención, incorporando un régimen en donde las conexiones entre individuos en el hogar se eliminan una vez que el infectado entra en fase sintomática, emulando de esta forma el confinamiento.
- Una de las razones por la cual Covid tiene una alta tasa de contagio se debe a la presencia de infectados asintomáticos, que permanecen un tiempo extenso circulando y contagiando a la población. Esto contribuye al rápido crecimiento de la curva de contagio incluso bajo el escenario de distanciamiento social y colegios cerrados. Esto se puede mitigar realizando tests masivos que incluyan individuos asintomáticos, una estrategia que ha resultado bien en Corea del Sur. Es de interés evaluar la política de cuarentenas (total y alternantes) en conjunto con tests masivos, que podrían localizarse en el lugar de trabajo. De esta forma, la necesidad de aplicar cuarentena se hace menos frecuente, ya que el crecimiento del número de contagios activos se demora más en llegar al umbral que activa el lockdown. Las políticas que alternan entre lockdowns y tests masivos han sido ejemplificadas como el "martillo" y el "baile", controlando la propagación del virus minimizando los efectos económicos producidos por lock-downs extendidos.
- La capacidad de testeo vía PCR se puede ampliar considerablemente realizándolos de forma grupal (por lotes). Cuando la probabilidad de dar positivo es relativamente baja, es más eficiente agrupar muestras de varios individuos y

hacer un test conjunto (usando una sola dosis del reactivo). En caso de dar negativo, se ratifica negativo para todos los individuos del grupo. Cuando el resultado es positivo, se debe repetir el test a cada individuo. El numero de tests se puede optimizar de acuerdo a la fracción de tests que dan positivo, variables demográficas, y características del test. La efectividad de los tests grupales ha sido medida en laboratorio y en terreno a través de trabajos científicos que demuestran su capacidad de detección reduciendo el costo de testeo significativamente.

### **Acknowledgments:**

En este proyecto se utilizaron conocimiento y algunos datos de los siguientes proyectos financiados por Conicyt (ANID):

- FONDEF IT16I10010 (Desarrollo de tecnologías para el control de la evasión en el transporte publico), IP: Jose Correa
- FONDEF ID15I10468 (Desarrollo de tecnologías para la admisión escolar), IP: Jose Correa
- FONDEF ID19I10303 (Desarrollo de un sistema integrado de gestión de trasplante de órganos basado en aprendizaje automático y diseño de mercado.) IP: Marcelo Olivares
- ADATRAP: Análisis de Datos de Transporte Público. Proyecto Universidad de Chile-ISCI-Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones. Investigadora principal: Marcela Munizaga. Ver trabajo de Marcela Munizaga et al, donde se combina informacion de las tarjetas BIP y GPS de los buses para estimar rutas de viaje.

Se agradece ademas el apoyo de ANID PIA/APOYO AFB180003, a través del Instituto Sistemas Complejos de Ingeniería.

Agradecemos tambien el apoyo a los academicos de la Facultad de Medicina de la U de Chile que han participado como equipo asesor de este proyecto en colaboración con el Instituto Sistemas Complejos de Ingenieria:

- Dr. Miguel O'Ryan, Profesor Titular en el Programa de Microbiología y Micología.
- Dr. Eduardo Tobar, Profesor Asociado, Intensivista del Hospital Clinico de la U de Chile
- Dr. Juan Pablo Torres, Profesor Asociado, Coordinador del Programa de

## Formación de Especialistas en Infectología Pediátrica.

Finalmente, agradecemos el feedback recibido por los investigadores Alejandro Maas (DIM/CMM), Hector Ramirez (DIM/CMM), Marcos Kiwi (DIM/CMM), Pedro Gajardo (USM), Gabriel Weintraub (Stanford), Carri Chan (Columbia) y Kuang Xu (Stanford).