

# Respuesta a minuta del Ministerio de Ciencias y Tecnología - COVID-19 Chile

Equipo COVID-19 CMM-UCH AM2V-UTFSM CEPS-UDD

Alonso Cancino, Carla Castillo, Taco De Wolff, Pedro Gajardo, Rodrigo Lecaros, Claudio Muñoz, Jaime Ortega, Axel Osses, Héctor Ramírez, Nicolás Valenzuela.

19 de abril 2020

**CMM**  
Centro de  
Modelamiento  
Matemático



**fcfm**

FACULTAD DE CIENCIAS  
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
UNIVERSIDAD DE CHILE

**AM2V**  
Análisis & Modelamiento Matemático Valparaíso



UNIVERSIDAD TECNICA  
FEDERICO SANTA MARIA



Facultad de Medicina  
Clínica Alemana - Universidad del Desarrollo  
Centro de Epidemiología y Políticas de la Salud

# Advertencia

Este documento ha sido realizado bajo la urgencia debido a la situación actual de brote de COVID-19 en Chile. Su objetivo es presentar algunas herramientas de modelamiento matemático y sus predicciones correspondientes, que ayuden a la toma de decisiones por parte de las autoridades respectivas.

Este material seguramente variará durante las próximas semanas, con la consideración de más datos e intercambios científicos con colegas de diversas disciplinas. En este sentido, **algunas proyecciones inferidas por este informe pueden contener imprecisiones relacionadas con los aspectos científicos desconocidos de la enfermedad.**

**Por lo tanto, los mensajes de este documento deben ser considerados como una herramienta semi-cuantitativa para analizar los efectos de las medidas analizadas, y no como una predicción exacta a partir de las cifras que se presentan.**

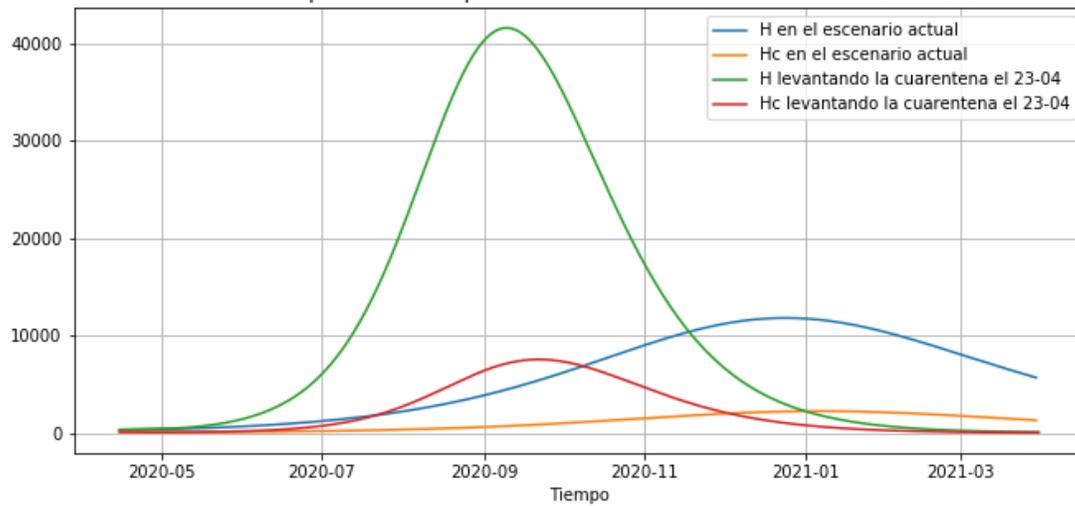
# Planteamientos de base

- Este documento responde a la minuta del 15 de abril del Ministerio de Ciencias y Tecnología, donde se pide modelar y evaluar 3 tipos de estrategias (ver anexo 1).
- Debido al estado actual de nuestra investigación y al poco tiempo que se nos ha dado para responder, **hemos optado por responder solo a las estrategias 1 y 3:**
  - 1) Cuarentena total, las personas quedan con prohibición de salir de su casa, solo con permiso especiales.
  - 3) Cierre de colegios y comercio.
- Continuando con el objetivo de la investigación hasta ahora abordada, nos hemos concentrado en **cómo estas estrategias impactan en los *peaks* de demanda de camas UCI y normales.**
- Ver los anexos para la justificación técnica sobre los siguientes análisis.

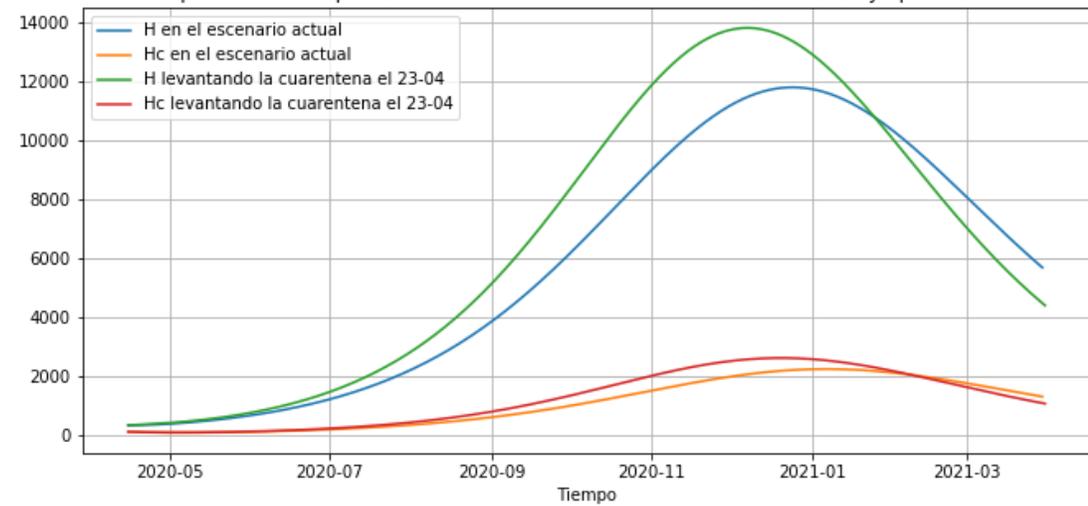
# Estrategias de mitigación en Santiago

- Base geográfica Gran Santiago, 5.624.000 habitantes.
- Comparamos la mantención de la cuarentena parcial existente (caso base) con otras estrategias de mitigación a partir del lunes 23 de Abril

Dinámica comparativa de hospitalizados si se levanta la cuarentena el 23-04-2020



Dinámica comparativa de hospitalizados si se levanta la cuarentena el 23-04-2020 y aplicando CTI moderado.



# Estrategias de mitigación en Santiago



Facultad de Medicina  
Clínica Alemana - Universidad del Desarrollo  
Centro de Epidemiología y Políticas de la Salud

**Conclusiones:** Constatamos que la aplicación de la cuarentena parcial aplicada hasta el 06/04 había desplazado los *peaks* de demanda de camas (UCI y no UCI) con respecto a simulaciones presentadas en reportes previos.

- **Incorporar estrategias de rastreo de contactos y aislamiento (cti: *contact tracing and isolation*)** disminuye los *peaks* de demanda de camas
- **Este achatamiento es mayor cuando se emplean estrategias más agresivas.**
- **Incluso levantando los regímenes actuales de cuarentena, una estrategia cti de nivel moderado tiene efectos compensatorios.**

# Estudio en regiones

- Zonas estudiadas: Arica, Regiones de Ñuble, Araucanía y Magallanes
- **Magallanes, Ñuble y Araucanía** presentaban al 9 de Abril las mayores tasas de contagios por 100.000 hab. fuera de la RM (**185.6, 115.1 y 70.2**)
- Mientras que **Arica** presentaba un aumento significativo en este indicador (de **2.4** el 29 Marzo a **34.5** el 9 Abril) y un elevado R efectivo (**Re=2.1**)
- Comparamos situación existente con varias estrategias de mitigación a implementarse a partir del 16 de abril para Arica y del 23 de abril para las regiones



# Estudio en regiones



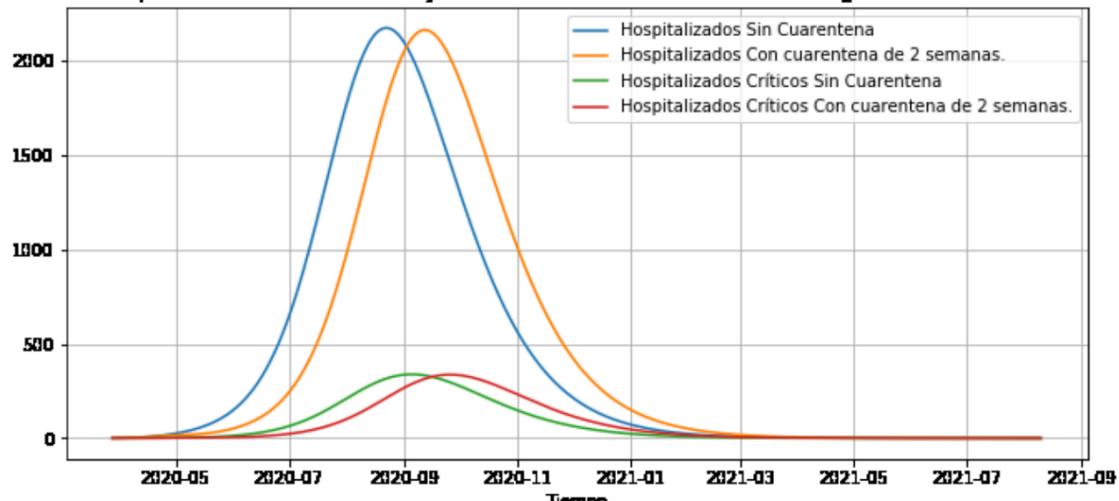
Facultad de Medicina  
Clínica Alemana - Universidad del Desarrollo  
Centro de Epidemiología y Políticas de la Salud

## Recomendaciones para las zonas estudiadas:

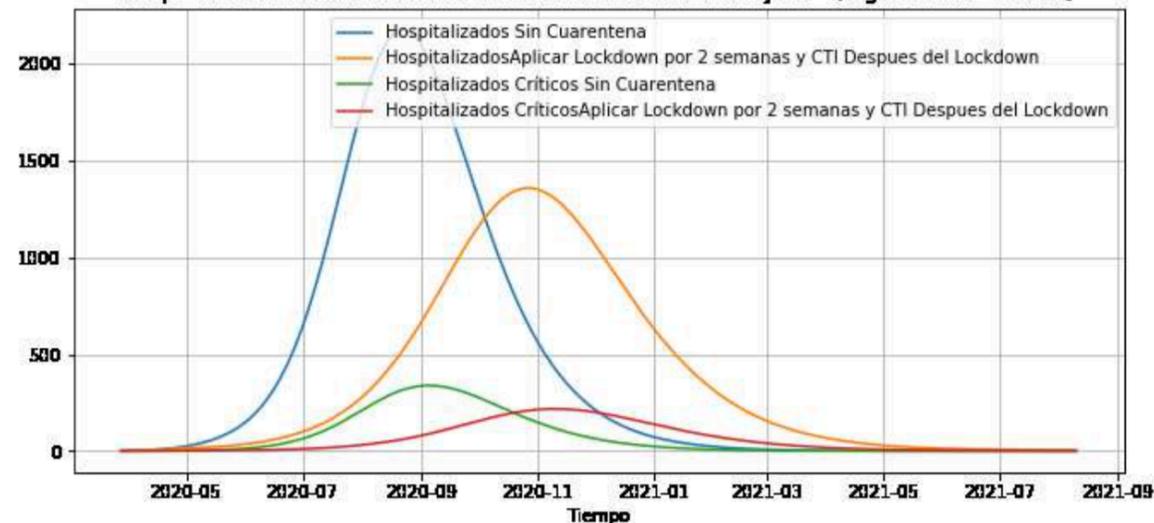
- Ciudad de Arica: En cuarentena desde el 16 de abril (22hrs). Esta estrategia de mitigación solo pospone el *peak* de las máximas demandas de recursos hospitalarios. **Es necesario implementar esfuerzos adicionales de rastreo de contactos y cuarentenas focalizadas.**
- Región de Ñuble: Esta región, ya en cuarentena parcial, tiene un número reproductivo efectivo ( $Re = 0,9$ ) inferior a uno (Canals et al.). Una **cuarentena de una semana precedida de importantes esfuerzos en cti tiene un impacto mayor en la reducción de los peaks.**
- Región de La Araucanía: El análisis es similar al de la región de Ñuble ( $Re = 0,86$ ). También **recomendamos usar el período de cuarentena a fin de implementar un programa intensivo de rastreo de contactos.**
- Región de Magallanes: Las estrategias evaluadas no son tan efectivas como en las regiones de Ñuble y la Araucanía. **Recomendamos cuarentenas más prolongadas y estrictas, y vigilar de cerca la evolución del brote en esta región.**

# Estudio en regiones

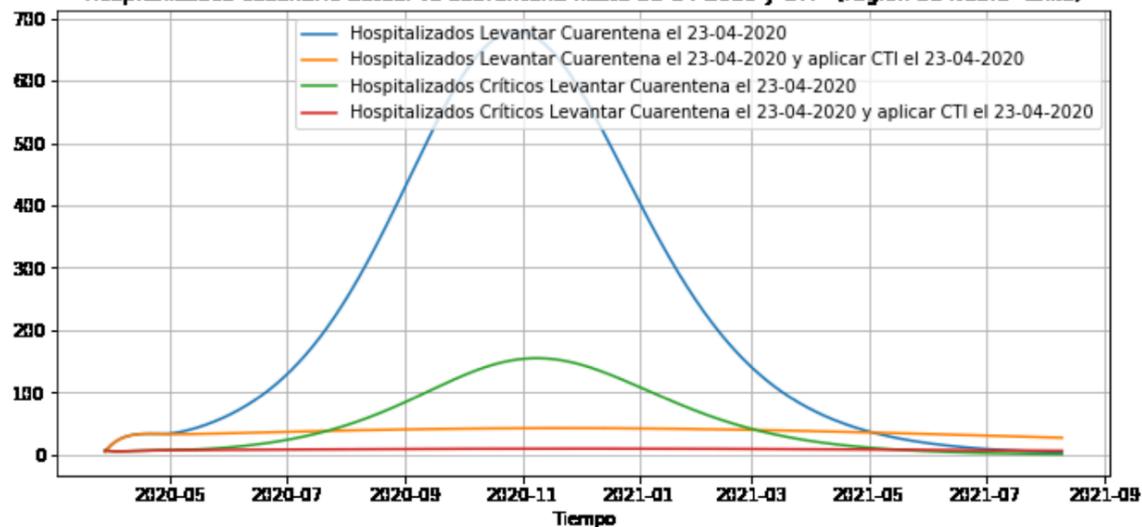
Hospitalizados escenario actual y con cuarentena total de 2 semanas (Región de Arica - Chile)



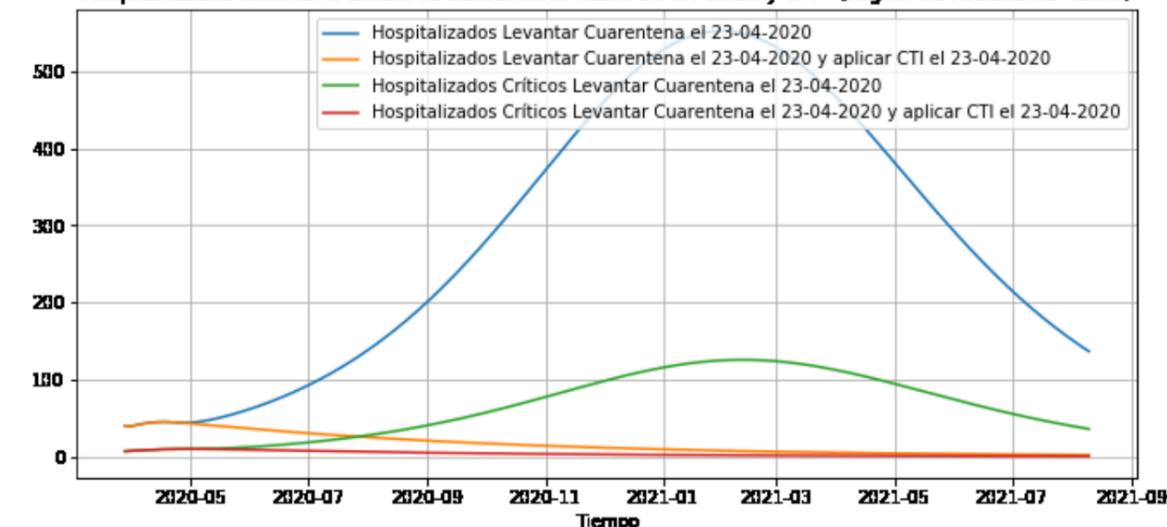
Hospitalizados escenario actual vs cuarentena de 2 semanas y CTI - (region de Arica -Chile)



Hospitalizados escenario actual vs cuarentena hasta 23-04-2020 y CTI - (region de Ñuble -Chile)



Hospitalizados escenario actual vs cuarentena hasta 23-04-2020 y CTI - (region de Araucania -Chile)



# Levantamiento del cierre de colegios en Santiago

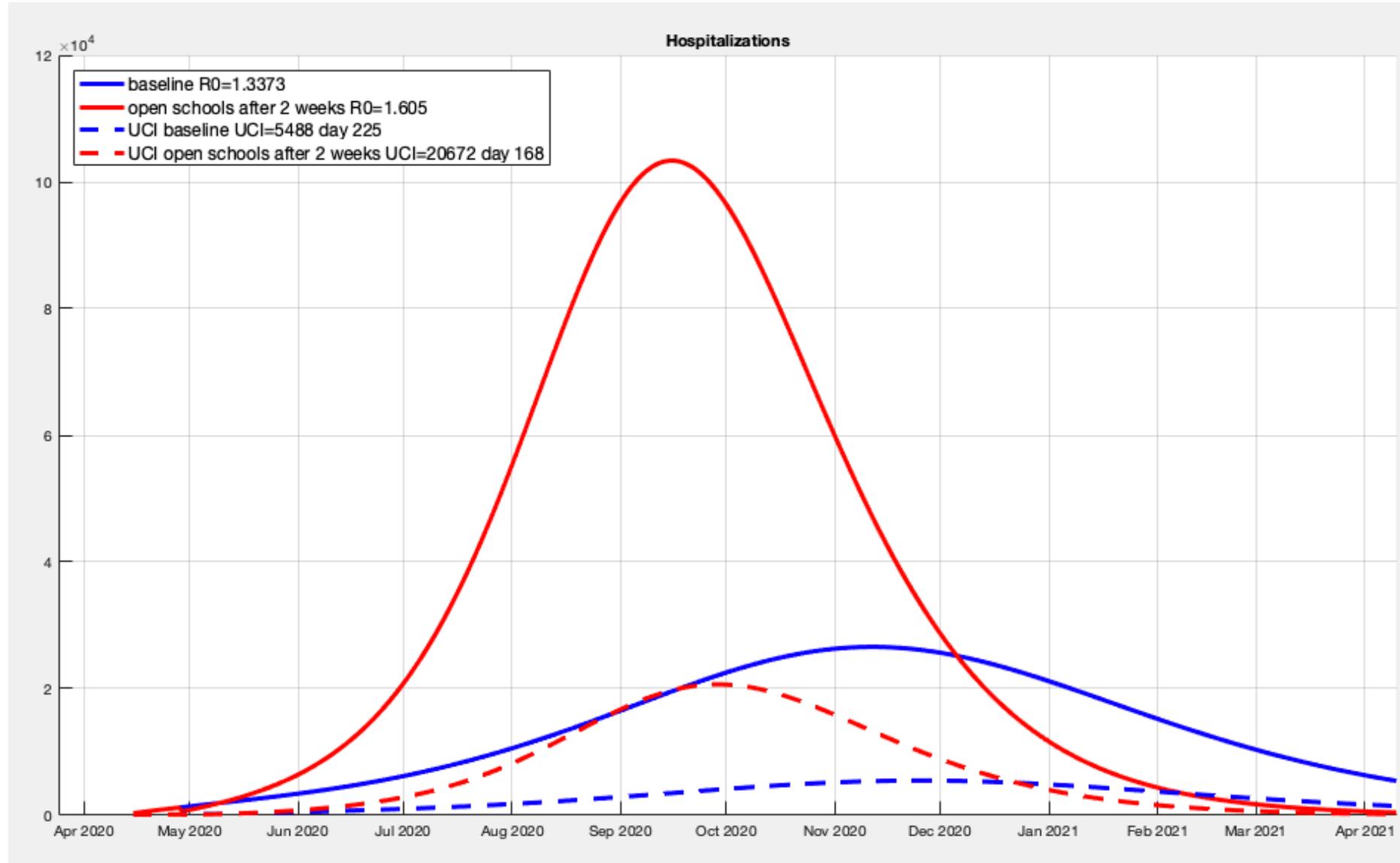


Facultad de Medicina  
Clínica Alemana - Universidad del Desarrollo  
Centro de Epidemiología y Políticas de la Salud

- Base geográfica Gran Santiago, 5.624.000 habitantes.
  - Modelo con **9 clases de edades**: 0-9; 10-19; 20-29;30-39;...;70-79;80+ (Prem et al 2017)
  - Matrices de contacto considera en **trabajo, escuela, casa y otros**
  - **Se compara mantener el escenario actual (colegios cerrados) y abrir colegios a vuelta de vacaciones (27 abril)**
  - Escenario 1: Caso base considerando la **situación actual al 15 de abril**:
    - 70% trabajo; -100% colegio; +30% casa; -60% otros
- \*\* Los factores de corrección arriba fueron calculados a partir del informe de actividad de Google para Santiago.
- Escenario 2: **Abrir colegios el 27 de abril**
    - 70% trabajo; +100% colegio; +0% casa; -48% otros (producto del transporte a colegios)

# Resultado global

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



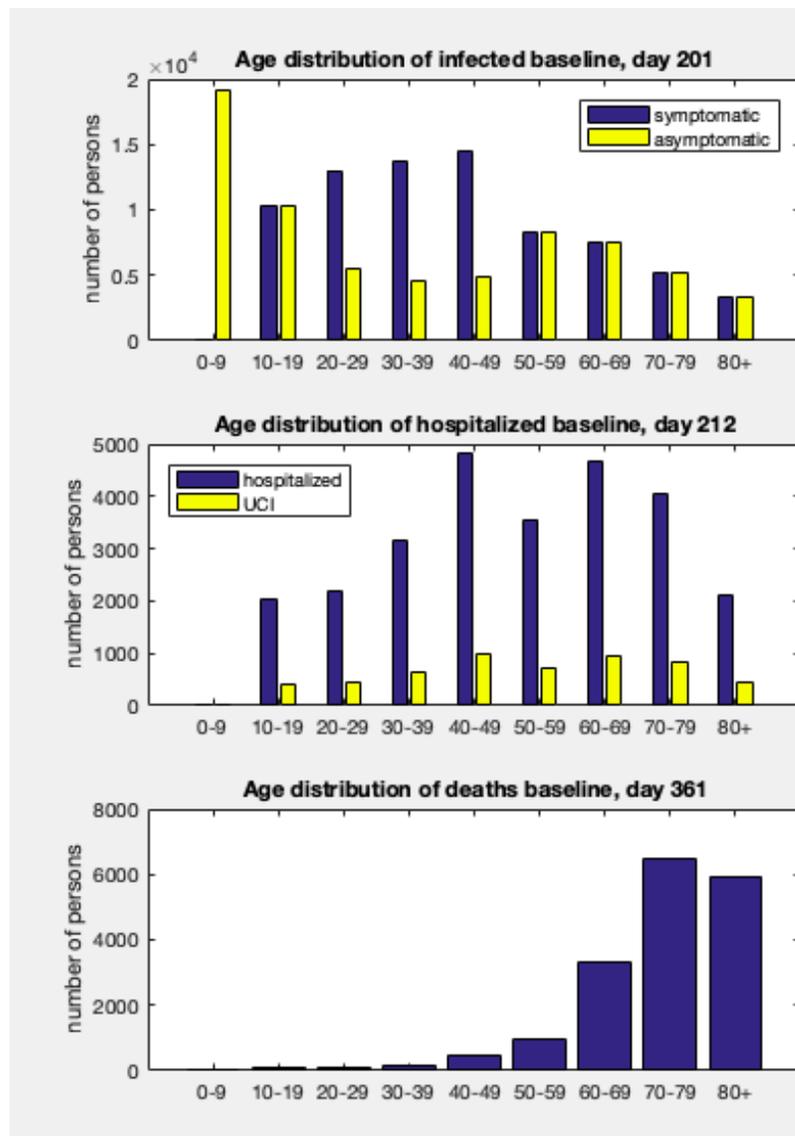
La apertura de colegios aumentaría en 3.7 veces el número máximo de hospitalizados y adelanta su fecha en aprox. 2 meses

# Resultados por edad

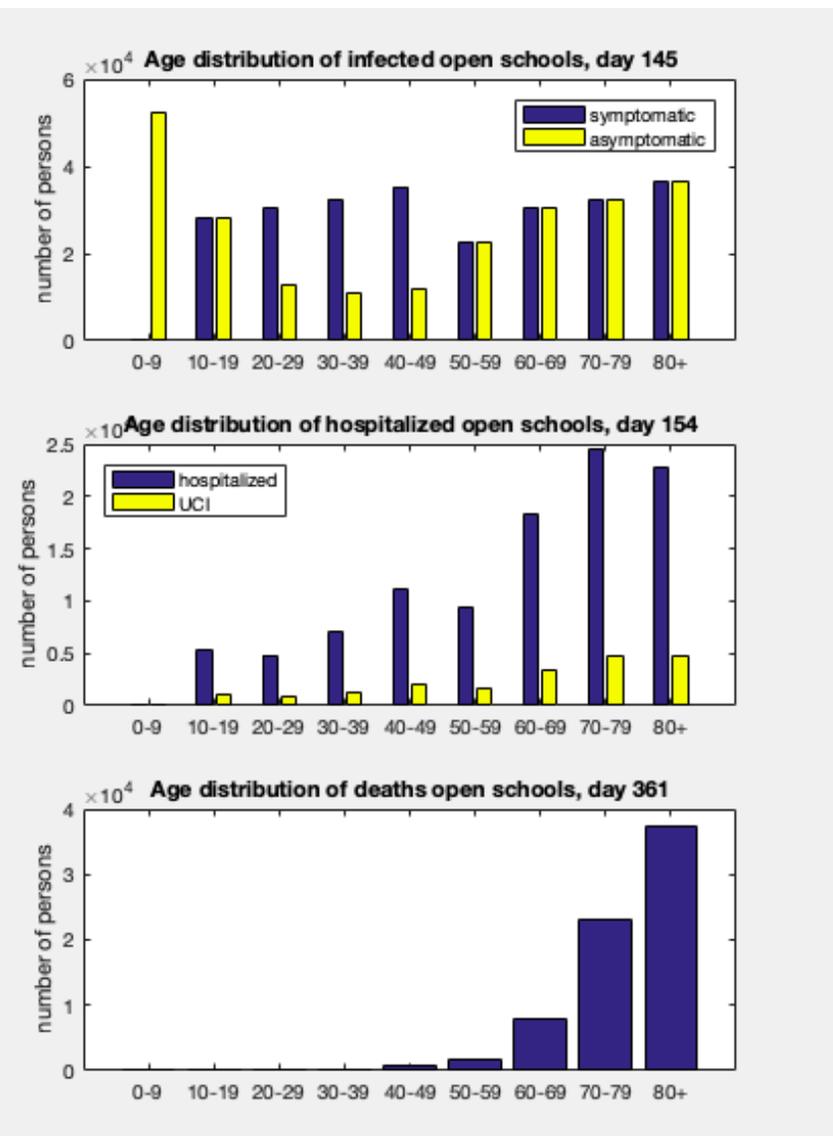
Distribución por edades calculadas los días de máximo de infectados totales (sintomáticos y asintomáticos), hospitalizados totales y decesos totales (filas 1, 2 y 3).

Las escalas varían de acuerdo a los máximos

Situación actual



Situación con apertura de colegios



# Levantamiento del cierre del comercio en Santiago

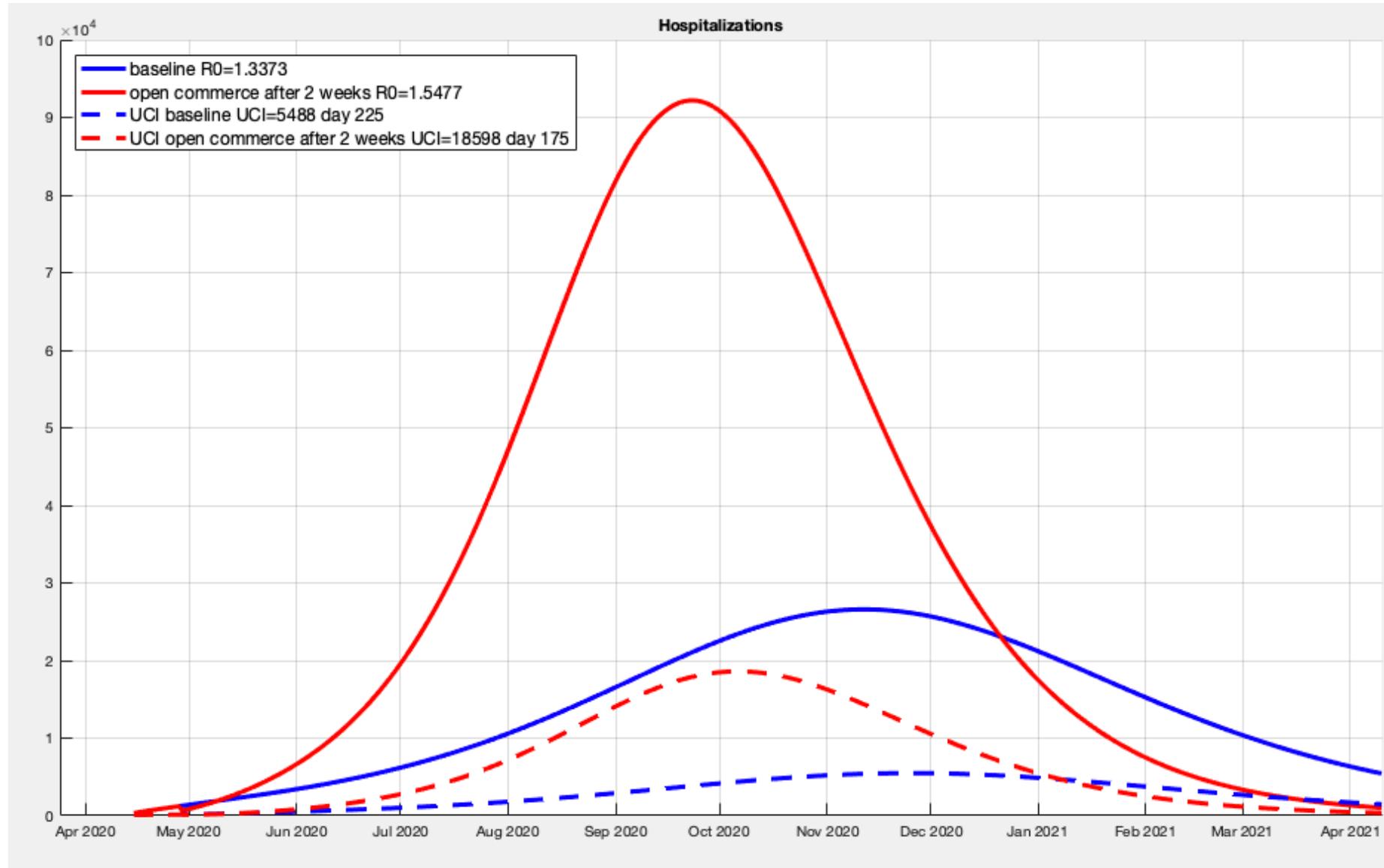


Facultad de Medicina  
Clínica Alemana - Universidad del Desarrollo  
Centro de Epidemiología y Políticas de la Salud

- Base geográfica Gran Santiago, 5.624.000 habitantes.
  - Modelo con **9 clases de edades**: 0-9; 10-19; 20-29;30-39;...;70-79;80+ (Prem et al 2017)
  - Matrices de contacto considera en **trabajo, escuela, casa y otros**
  - **Se compara mantener el escenario actual (colegios cerrados) y abrir comercio en 2 semanas (27 abril)**
  - Escenario 1: Caso base considerando la **situación actual al 15 de abril**:
    - 70% trabajo; -100% colegio; +30% casa; -60% otros
- \*\* Los factores de corrección arriba fueron calculados a partir del informe de actividad de Google para Santiago.
- Escenario 2: **Abrir comercio el 27 de abril**
    - 50% trabajo; -100% colegio; +20% casa; -40% otros

# Resultado global

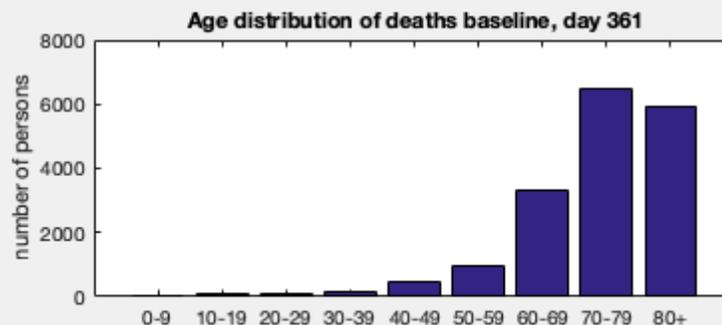
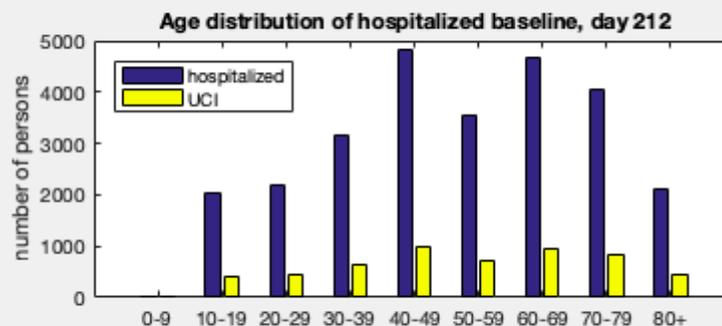
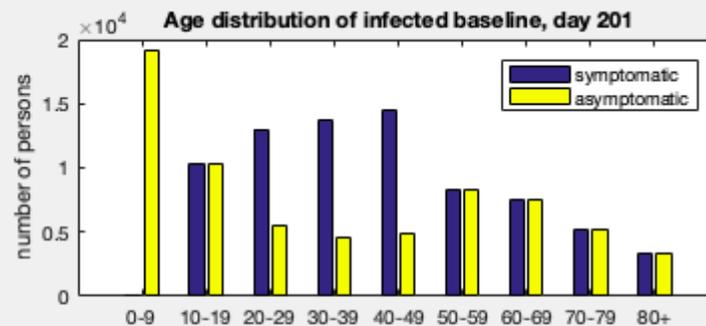
Hospitalizaciones y UCI en los dos escenarios: actual (azul) y (rojo) abrir comercios el lunes 27 de abril



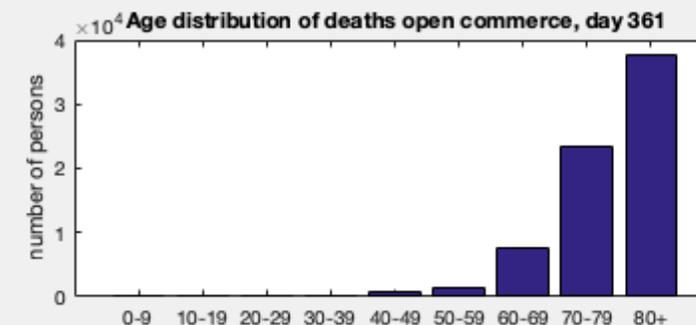
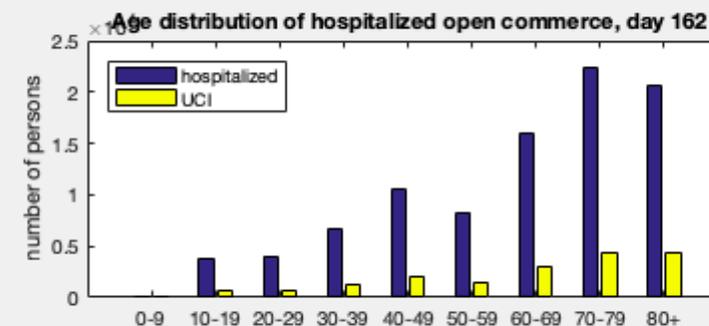
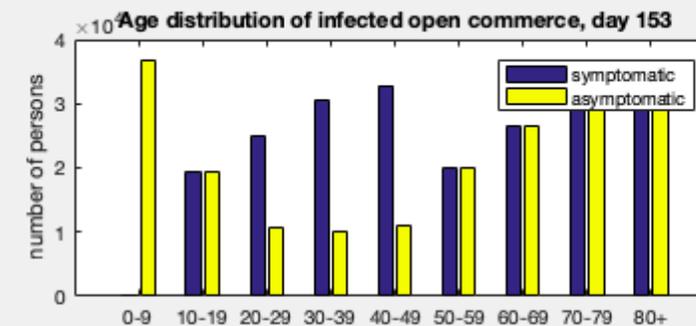
La apertura de comercio aumentaría en 3.4 veces el número máximo de hospitalizados y adelante su fecha en aprox. 1.5 meses

# Resultados por edad

Situación actual



Situación con apertura de comercio



Distribución por edades calculadas los días de máximo de infectados totales (sintomáticos y asintomáticos), hospitalizados totales y decesos totales (filas 1, 2 y 3).

Las escalas varían de acuerdo a los máximos.

# Levantamiento del cierre del comercio en Santiago

**CMM**  
Centro de  
Modelamiento  
Matemático

**AM2V**  
Análisis & Modelamiento Matemático Valparaíso



Facultad de Medicina  
Clínica Alemana - Universidad del Desarrollo  
Centro de Epidemiología y Políticas de la Salud

- En base a lo mostrado en las slides anteriores, en lo que concierne a las dos estrategias del punto 3), recomendamos:
  - **No levantar el cierre de los colegios el lunes 27 de abril**
  - **No levantar el cierre del comercio durante el mes de abril.**

# Anexo 1: Minuta Ministerio de Ciencias y Tecnología



## Minuta Estrategias a evaluar

15 de abril, 2020

Como MinCiencia hemos identificado distintas estrategias que es necesario modelar para evaluar posibles efectos de cada una de ellas, éstas son:

1. Cuarentena total, las personas quedan con prohibición de salir de su casa, solo con permiso especiales.
2. Cuarentenas alternantes por comunas a nivel nacional de 15 días, las personas quedan con prohibición de salir de su casa 15 días (cuarentena) y luego 15 días con cierre de colegios y comercio. Una comuna entra en cuarentena cuando los casos llegan a 4 o 5 por 10.000.
3. Cierre de colegios y comercio.

El objetivo es tener un reporte conjunto de 5 páginas máximo que entregue los resultados destacando la robustez de la convergencia de las estimaciones, así como los elementos de incertidumbre, para el lunes 20 de abril.

# Anexo 2: Respuesta a 1)



Facultad de Medicina  
Clínica Alemana - Universidad del Desarrollo  
Centro de Epidemiología y Políticas de la Salud

- El análisis mostrado para la ciudad de Santiago es una actualización al día 15 de Abril de lo realizado en nuestro reporte 3 (6 de Abril)
- El análisis mostrado para Arica y las regiones de Ñuble, Araucanía y Magallanes fue realizado en nuestro reporte 4 (14 de Abril)
- Ambos reportes técnicos, junto con sus respectivos resúmenes, están disponibles en el sitio

<http://covid-19.cmm.uchile.cl/>

# Anexo 3: Respuesta a 3)

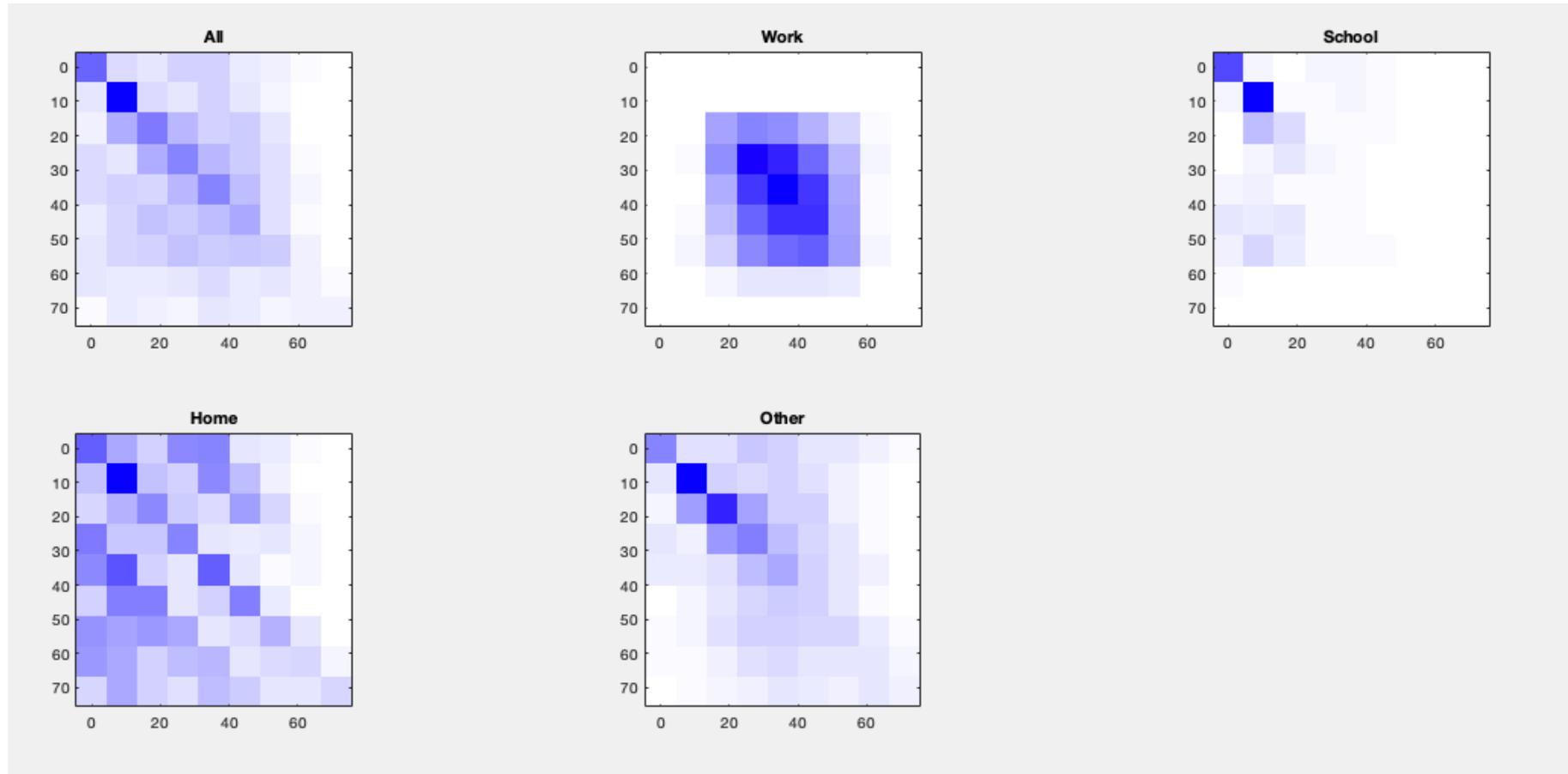
- El modelo en clase de edades desarrollado para evaluar la estrategia 3) ha sido desarrollado recientemente y aún no ha sido reportado.
- En las próximas slides se detallan el modelo, los supuestos y otros datos de interés.

# Modelo en clase de edades

$$\begin{aligned}
 \Lambda_i(\mathbf{x}, C): & \text{ rate of contagious} \\
 \dot{S}_i &= \mu_b N_i - S_i \left( \sum_j \frac{p_{EC_{ij}^E} E_j + p_{I^m C_{ij}^{I^m}} I_j^m + p_{IC_{ij}^I} I_j}{N_j} \right) - \mu_d S_i \\
 \dot{E}_i &= S_i \Lambda_i(\mathbf{x}, C) - (\gamma_E + \mu_d) E_i \\
 \dot{I}_i^m &= (1 - \phi_{EI}) \gamma_E E_i - (\gamma_{I^m} + \mu_d) I_i^m \\
 \dot{I}_i &= \phi_{EI} \gamma_E E_i - (\gamma_I + \mu_d) I_i \\
 \dot{R}_i &= \gamma_{I^m} I_i^m + \phi_{IR} \gamma_I I_i + \phi_{HR} \gamma_H H_i - \mu_d R_i \\
 \dot{H}_i &= (1 - \phi_{IR}) \gamma_I I_i + (1 - \phi_D) \gamma_{H^c} H_i^c - (\gamma_H + \mu_d) H_i \\
 \dot{H}_i^c &= (1 - \phi_{HR}) \gamma_H H_i - (\gamma_{H^c} + \mu_d) H_i^c \\
 \dot{D}_i &= \phi_D \gamma_{H^c} H_i^c.
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Basado en Modelo informes COVID19-CMM-UTFSM-UDD y Towers-Feng 2012. Los coeficientes también pueden depender de la edad.

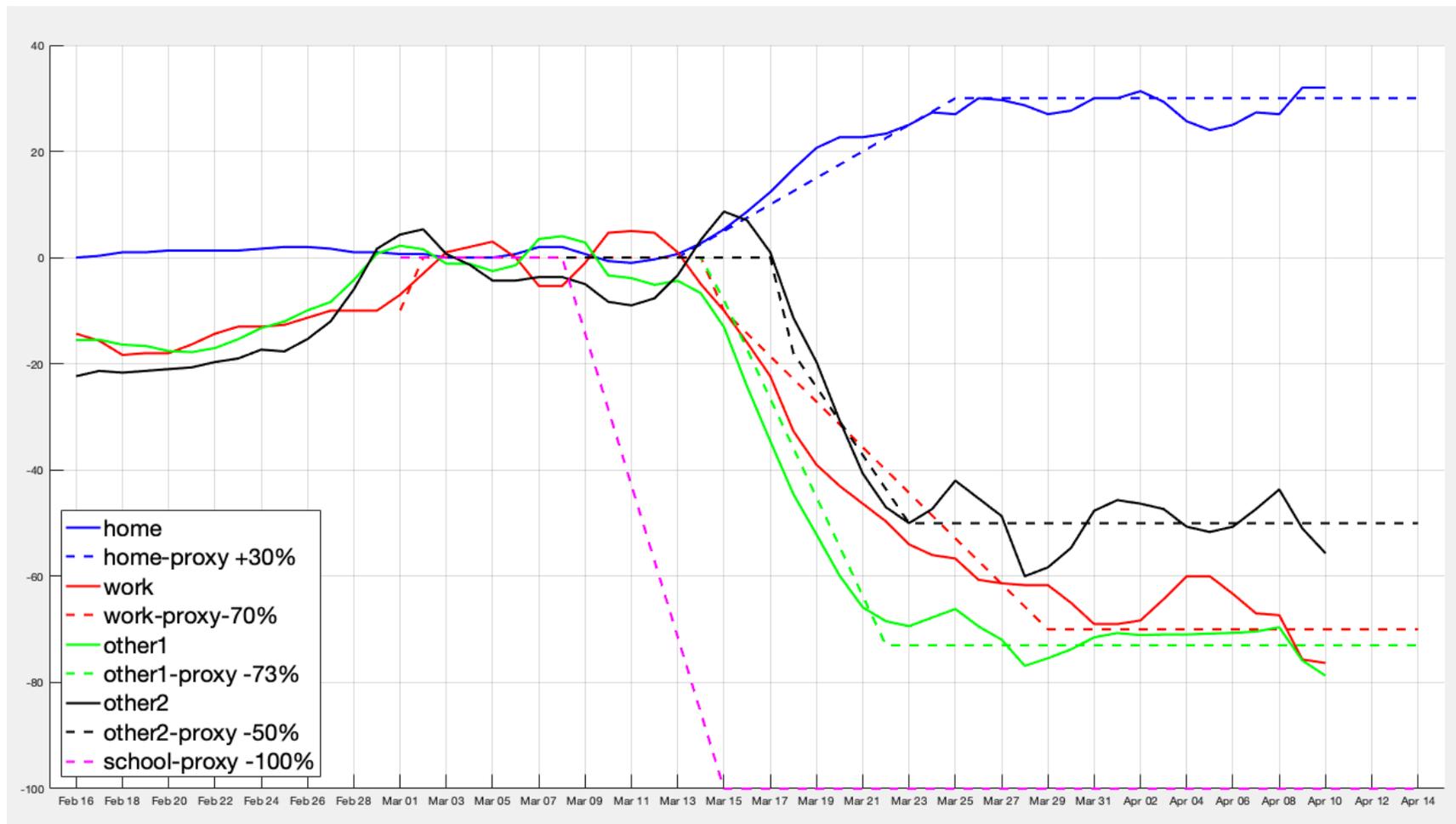
# matrices de contacto $C_{ij}$



Basadas en Prem et al 2017 e interpoladas de 16 a 9 clases de edad

# parámetros

Para simular la situación actual y los escenarios se pueden usar como referencia las variaciones de actividad en la RM tomando como referencia los valores a inicios de Marzo



Se asume que la reducción o aumento en la tasa de contactos  $C$  es proporcional a la variación de la actividad

En *home* y *other* se asume que el impacto es mayor sobre la población más joven, en *work* sobre la población adulta

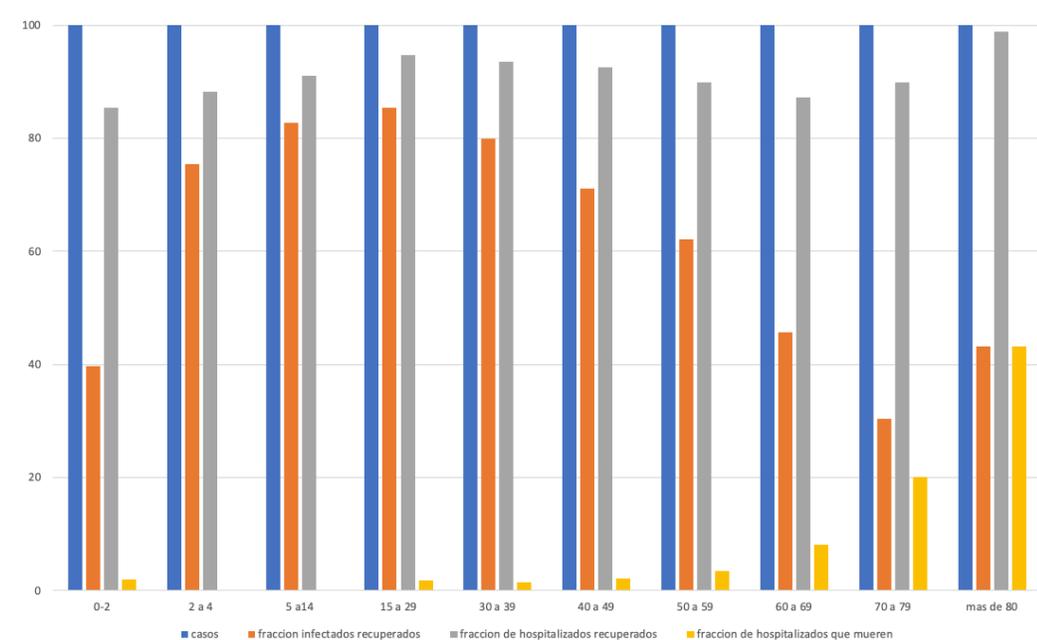
home: actividad residencial  
work: actividad en lugares de trabajo

other1: retail-ocio (60%), tránsito (30%), esparcimiento (10%)  
other2: alimentos y farmacia

Basado en Google Activity Reports 2020

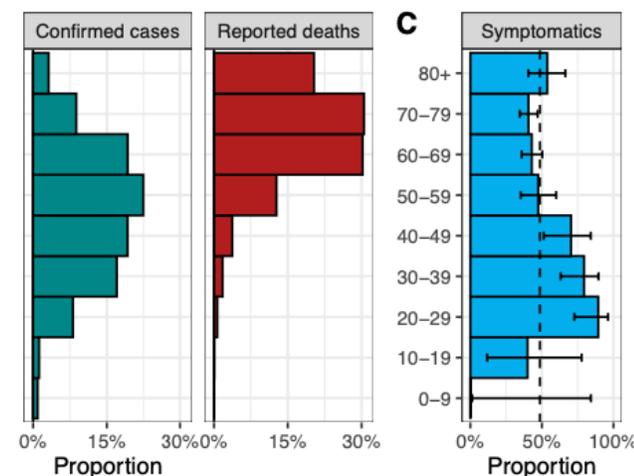
# parámetros

- **Tasa de mortalidad** por edad: *Riou et al 2020, Adjusted age-specific case fatality ratio during the Covid-19 epidemic in Hubei, China, January and February 2020, medRxiv*
- **Fracción de infectados que se recuperan** por edad: *España Informe COVID-19 no 23. 16 de abril de 2020*
- **Fracción de asintomáticos** por edad: *Riou et al, Adjusted age-specific case fatality ratio during the Covid-19 epidemic in Hubei, China, January and February 2020, medRxiv*



España COVID report 16-4-2020

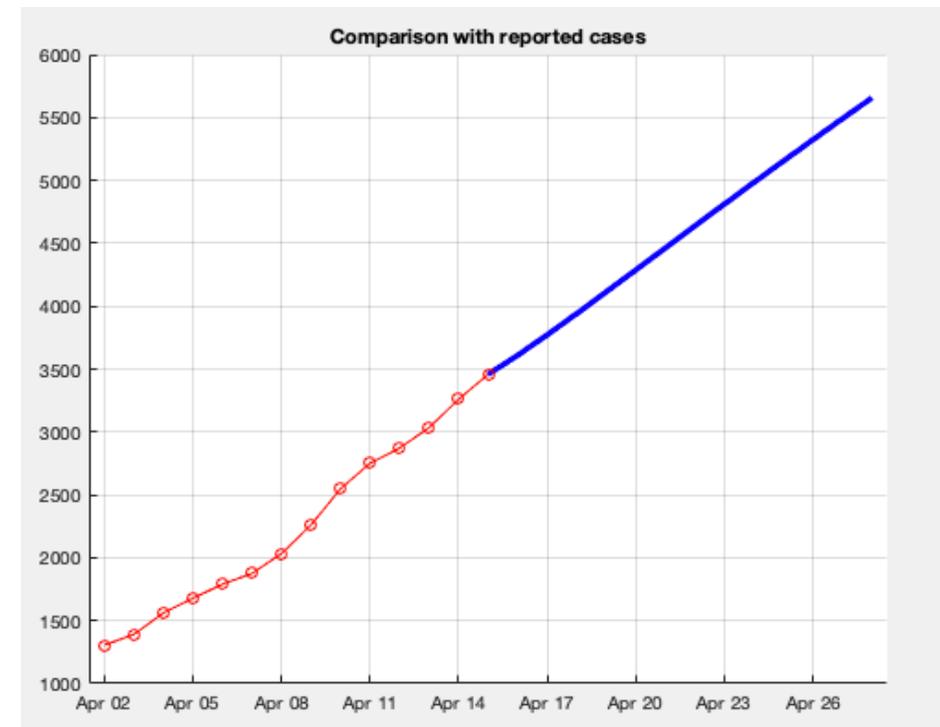
Se consideran sólo estos parámetros dependientes de la edad, los demás la mayoría se asumen constantes y se ajustan según las recomendaciones de los informes COVID del CMM para tener coherencia con el modelo original.



Riou et al 2020

# Ajuste del modelo

- Se ponderan las tasas de contacto y se buscan condiciones iniciales para fitear los datos de infectados reportados (variable  $I_s$ ) desde 14 días antes (no se considera subreporte).



CMM | COVID-19



CMM | Sitio

**CMM**  
Centro de  
Modelamiento  
Matemático



Facultad de Medicina  
Clínica Alemana - Universidad del Desarrollo  
Centro de Epidemiología y Políticas de la Salud



**GRACIAS!**

Los reportes técnicos de respaldo están disponibles en el sitio

<http://covid-19.cmm.uchile.cl/>