

Modelos de Simulación para Escenarios de Covid-19 en Argentina

Interdisciplina desde las trincheras para el apoyo de Políticas Públicas
en contexto de emergencia



Rodrigo Castro
rcastro@dc.uba.ar



Laboratorio de Simulación de Eventos Discretos (SED)
Departamento de Computación (DC) FCEyN-UBA
Instituto de Ciencias de la Computación (ICC) UBA-CONICET

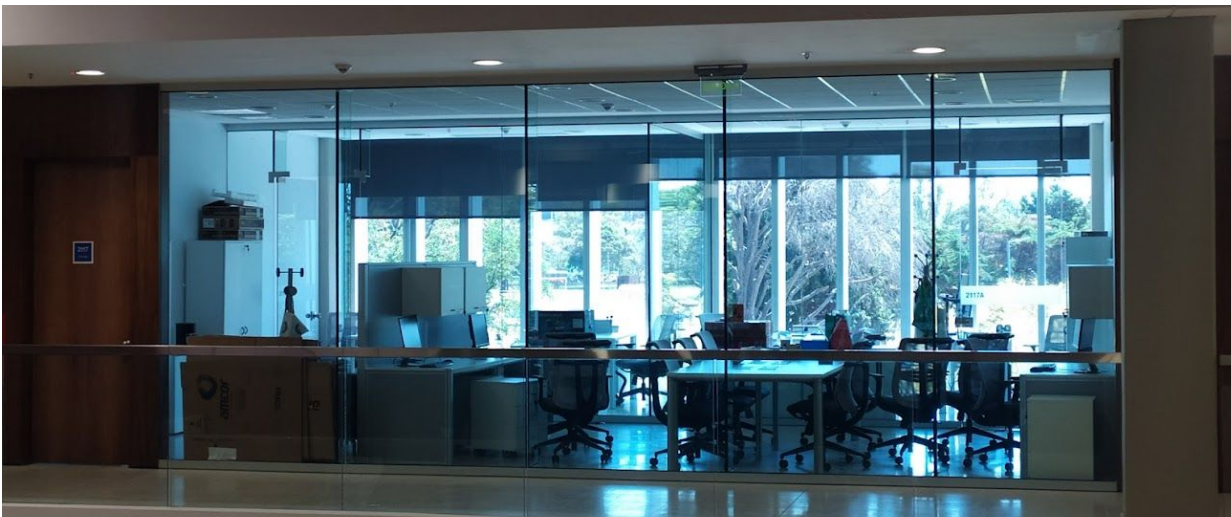


<https://modsimu.exp.dc.uba.ar>



 Alejandro Mignarelli Licenciatura en Cs. de la Computación	 Valentin Paz Marcolla Licenciatura en Cs. de la Computación	 Leandro Gómez Vidal Licenciatura en Cs. de la Computación	 Ezequiel Armando Puerta Licenciatura en Cs. de la Computación
 Leandro Groisman Licenciatura en Cs. de la Computación	 Francisco Roslan Licenciatura en Cs. de la Computación	 Lucas Figarola Licenciatura en Cs. de la Computación	 Gisela Confalonieri Licenciatura en Cs. de la Computación
 Alejandro Danós Licenciatura en Cs. de la	 Lucas Rossi Licenciatura en Cs. de la	 Diego García Licenciatura en Cs. de la	

 Lic. Daniel Foguelman Doctorado en Cs. de la Computación	 Ing. Ezequiel Pecker Marcosig Doctorado en Ingeniería
Estudiantes de Doctorado co-supervisados	
 Alexis Trach Doctorado en Cs. de la Computación Director: Esteban Mocskos (FCEN-UBA)	 Sebastián Pessah Doctorado en Ciencias Agrarias Director: Diego Ferraro (FA-UBA)



 Dr. Matias Bonaventura Simulación de redes de datos	 Dr. Esteban Lanzarotti Simulación de sistemas biológicos	 Dr. Lucio Santi Simulación de sistemas de partículas	 Dr. Rodrigo Castro Profesor Adjunto UBA Investigador Adjunto CONICET
---	--	--	---



<https://modsimu.exp.dc.uba.ar>

Transferencias, consultorías, exportaciones...



Fermilab

Simulación de trayectoria de partículas en física de altas energías.



CERN

Simulación de redes de datos complejas para experimentos físicos de gran escala.



LAR-FIUBA

Modelado, simulación y control híbrido de sistemas ciberfísicos.



Linköping University

LIU

Herramientas y metodologías de simulación basadas en Modelica. Modelos Globales.



RTSync

Herramientas y metodologías de simulación basadas en DEVS.



FAUBA

FAUBA

Modelado y simulación basada en agentes para sistemas socio-ambientales con aplicación a la agricultura.



Fundación Sadosky

Nuevas tecnologías aplicadas a la educación.

Modelos de Simulación para Escenarios de Covid-19 en Argentina

Interdisciplina desde las trincheras para el apoyo de Políticas Públicas en contexto de emergencia



Rodrigo Castro
rcastro@dc.uba.ar



Laboratorio de Simulación de Eventos Discretos (SED)
Departamento de Computación (DC) FCEyN-UBA
Instituto de Ciencias de la Computación (ICC) UBA-CONICET

**“LO QUE LA
PANDEMIA
NOS DEJÓ”**



14/09/2022

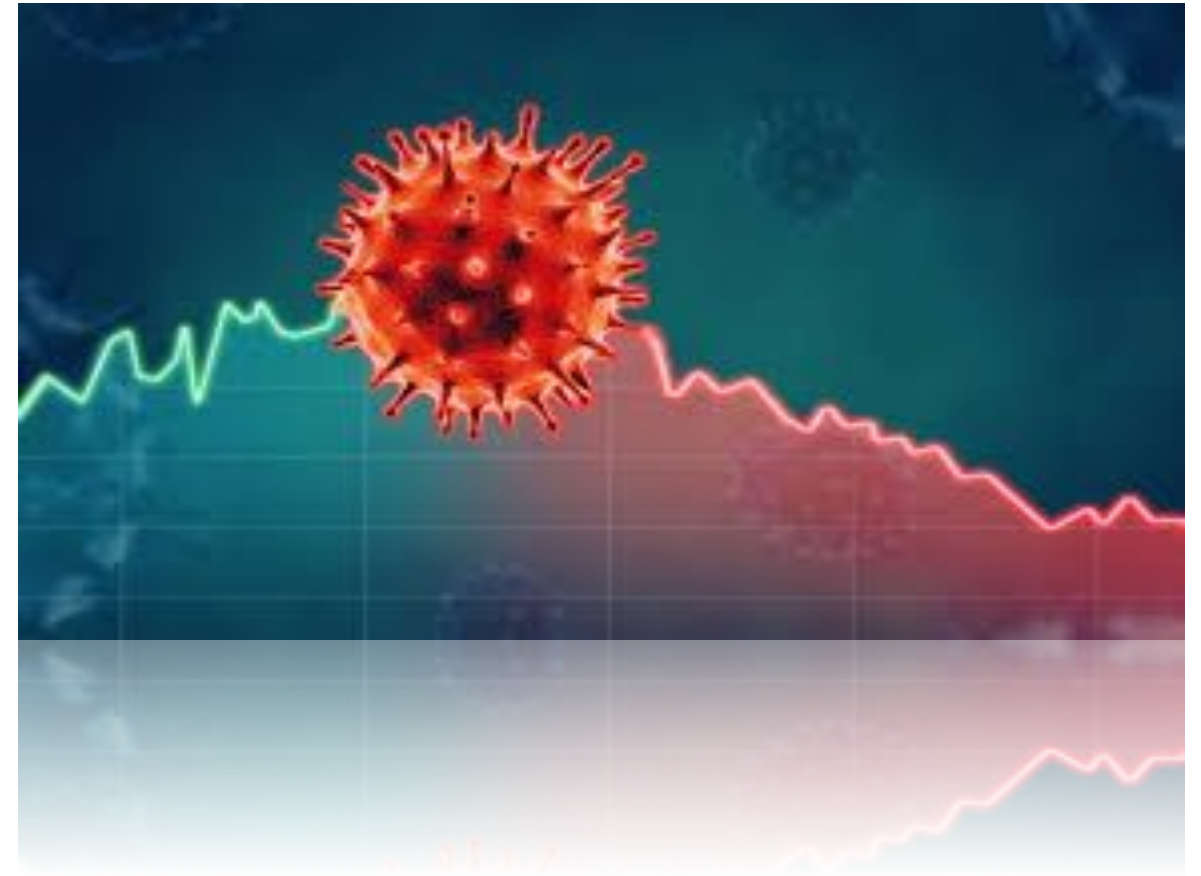


31º JORNADAS NACIONALES Y 30º JORNADAS INTERNACIONALES DE ECONOMÍA DE LA SALUD



SEDE: MARCELO ONDARCUHU - UNIVERSIDAD ISALUD - VENEZUELA 847 - CABA

- **Introducción y contexto**
- Modelos de compartimientos
- Parámetros característicos
- Estrategias de control posibles
- Heterogeneidad de modelos
- **Algunas conclusiones**



“Proyección de tendencias y evaluación de escenarios de intervención para la epidemia COVID-19 en Argentina mediante Modelado y Simulación Computacional”

- Subsidios ANPCYT Ideas-Proyecto COVID-19



Agencia I+D+i

Idea-Proyecto IP-311

**Apoyo público y
privado**

- Fundación para el Desarrollo Argentino

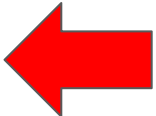


fundar

- Amazon Argentina



Grupo interdisciplinario de investigación y transferencia de resultados

- Foco en Matemática, Computación y Ciencia de Datos. **Más de 60 investigadores de Exactas-UBA** + colaboradores de otras universidades (UNSAM, UNQ, UNGS, UNR)
- **Objetivo:** poner a disposición de las Administraciones Públicas herramientas de recomendaciones producto de la aplicación de modelos matemático-computacionales y de ciencias de datos a distintos problemas derivados de la aparición de la pandemia Covid-19
- Grupos (*coordinadores*):
 - **Modelos de Simulación (R. Castro)**  Esta charla
 - Modelos de Datos (*R. Etchenique*)
 - Probabilidad Aplicada (*J.P. Pinasco*)
 - Estadística Aplicada (*M. Valdora*)
 - Visualizaciones (*I. Caridi*)
 - Inteligencia Artificial (*L. Ferrer*)
 - Optimización y logística (*J. Marengo*)
 - + Red de apoyo de **especialistas en medicina, biología, epidemiología, infectología, sociología, etc.**

Grupo interdisciplinario de investigación y transferencia de resultados

- Colaboraciones con administraciones públicas para apoyo en la toma de decisiones:
 - **Convenio** Provincia de Buenos Aires/FCEyN-UBA
 - Acuerdo de Cooperación Interinstitucional con el Ministerio de Salud de la Provincia de Buenos Aires: herramientas matemático-computacionales para predicción, control, monitoreo y supresión de la pandemia
 - **Convenio** Municipio de Marcos Paz/FCEyN-UBA
 - Herramientas matemático-computacionales para el monitoreo, control y definición de escenarios para la toma de decisiones en el marco de la pandemia
- Participación en proyectos financiados y/o impulsados por el estado:
 - **Proyecto** COVID-19 ANPCyT (Rodrigo Castro)
 - Proyección de tendencias y evaluación de escenarios de intervención para la epidemia Covid-19 en Argentina mediante Modelado y Simulación Computacional
 - **Proyecto** COVID-19 ANPCyT (Roberto Etchenique)
 - Diagnóstico molecular de SARS-CoV2 por RT-qPCR: optimización, escalamiento y estratificación del riesgo
 - **App** Cuidar
 - Definición de requerimientos, seguimiento y desarrollo del sistema de 'Pasaporte Sanitario'

Modelos de compartimientos. Procesos de contagio vía contactos.

- Clasificamos una población **según su estado** en el proceso (epidemia)
 - Aplicable a otros **procesos sociales** (contagio de creencias/preferencias)

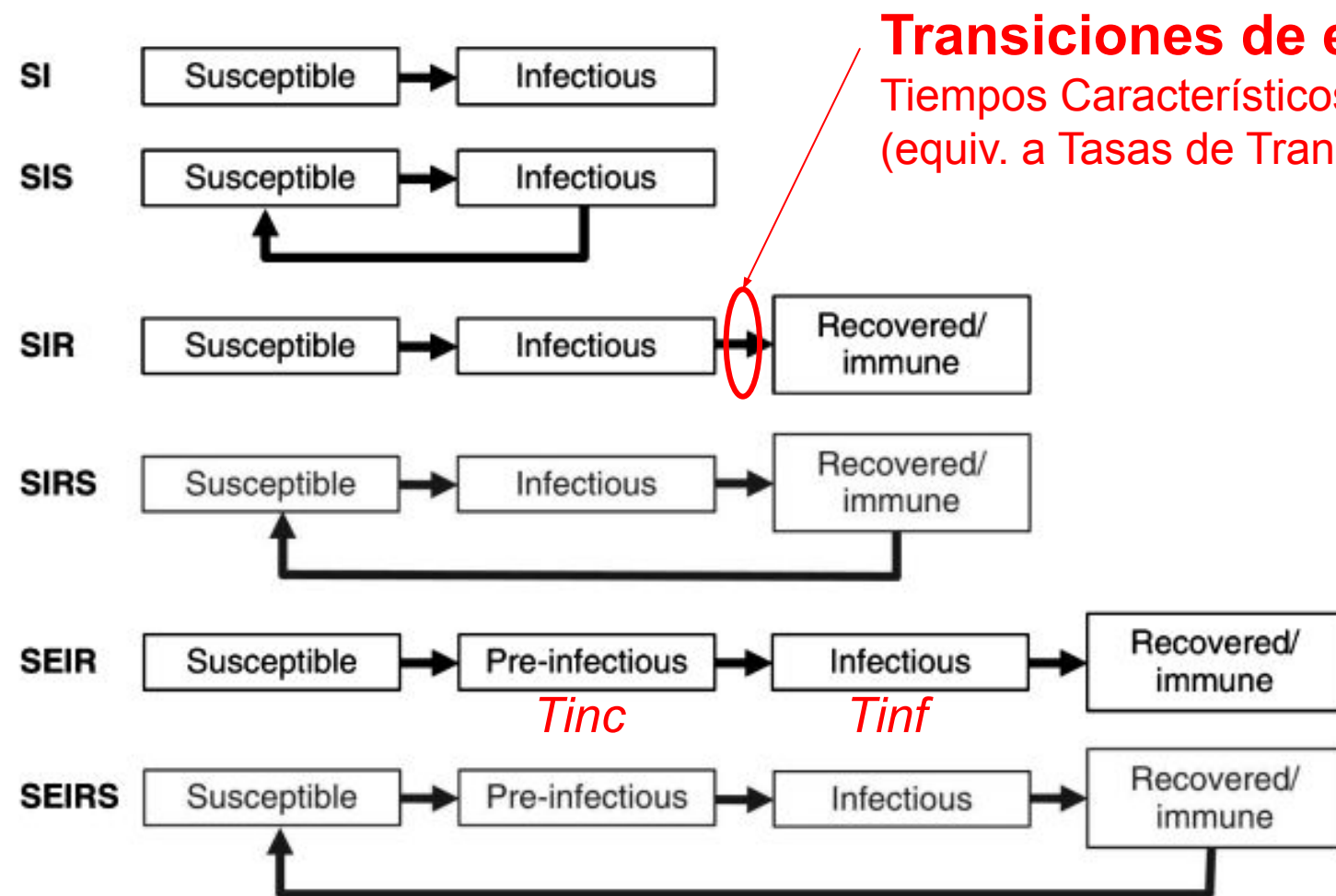


Fig. 2.2 Common structures for models used to describe the transmission of infections.

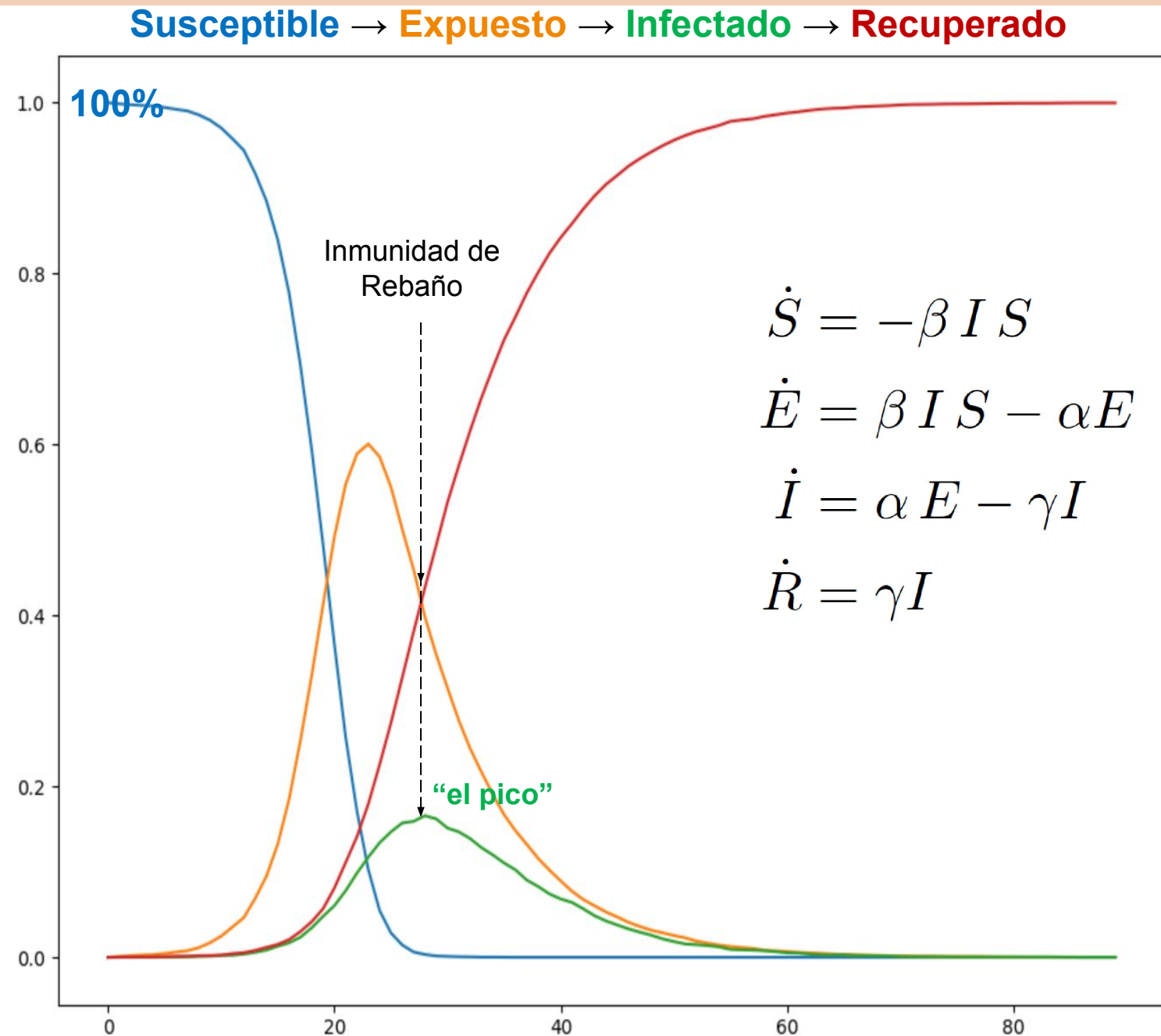
- Enfermedades contagiosas
- Posiciones políticas
- Rumores
- Preferencias
- Creencias religiosas
- Marketing viral
- Burbujas financieras

T_{inc} : Tiempo de Incubación (no infectivo)
Tasa = $1/T_{inc}$

T_{inf} : Tiempo de infectividad
Tasa = $1/T_{inf}$

Un modelo SEIR clásico

- Algunas propiedades estilizadas:
 - $S(t)+E(t)+I(t)+R(t) = N$ cte. = Pob. Total
Sistema conservativo.
 - Susceptibles y Recuperados** tienen soluciones monótonas decrecientes y crecientes (resp.)
 - Retardo entre picos de **Expuestos e Infectados**
 - Expresión analítica cerrada para **I_{max}**.
 - Todas definidas y acotadas para $t > 0$
 - $S(t=0) \approx N > 0$, $0 < E(t=0) \ll N$
 - $I(t=0)=0$, $R(t=0)=0$
 - $I(t \rightarrow \infty)=0$



El número de reproducción efectivo R

La solución de la dinámica de infectados es $I(t) = I_0 e^{\int_0^t [\beta S(\tau) - \gamma] d\tau}$



$[\beta S(t) - \gamma]$ define una bifurcación de dinámica entorno a 0

$$Rt = \frac{\beta S(t)}{\gamma} = \beta S(t) \underline{D_{inf}} = \text{número de reproducción efectivo}$$

Conceptualmente:

Rt: “*Cantidad promedio de nuevos contagios que produce cada infectado durante su período infectivo*”

R0: Válido al comienzo de la epidemia **cuando toda la población es susceptible.**

————→ $R_0 = \frac{\beta S_0}{\gamma} \approx \frac{\beta}{\gamma} N = \text{número de reproducción básico}$

Epidemia	$Rt > 1 \Leftarrow$	$[\beta S(\tau) - \gamma] > 0$	$I \uparrow \downarrow$ (con un único máximo I_{max})
Endemia	$Rt = 1$		
Supresión	$Rt < 1 \Leftarrow$	$[\beta S(\tau) - \gamma] < 0$	$I \downarrow$

El número de reproducción efectivo R

Review

> Comput Math Methods Med. 2011;2011:527610. doi: 10.1155/2011/527610.

Epub 2011 Aug 16.

La solución

The failure of Ro

Jing Li ¹, Daniel Blakeley, Robert J Smith

Affiliations + expand

PMID: 21860658 PMCID: [PMC3157160](#) DOI: [10.1155/2011/527610](#)

Free PMC article

$R_t =$

Abstract

The basic reproductive ratio, $R(0)$, is one of the fundamental concepts in mathematical biology. It is a threshold parameter, intended to quantify the spread of disease by estimating the average number of secondary infections in a wholly susceptible population, giving an indication of the invasion strength of an epidemic: if $R(0) < 1$, the disease dies out, whereas if $R(0) > 1$, the disease persists. $R(0)$ has been widely used as a measure of disease strength to estimate the effectiveness of control measures and to form the backbone of disease-management policy. However, in almost every aspect that matters, $R(0)$ is flawed. Diseases can persist with $R(0) < 1$, while diseases with $R(0) > 1$ can die out. We show that the same model of malaria gives many different values of $R(0)$, depending on the method used, with the sole common property that they have a threshold at 1. We also survey estimated values of $R(0)$ for a variety of diseases, and examine some of the alternatives that have been proposed. If $R(0)$ is to be used, it must be accompanied by caveats about the method of calculation, underlying model assumptions and evidence that it is actually a threshold. Otherwise, the concept is meaningless.

$d\tau$

Conceptualmente:
Rt: “*Cantidad promedio de nuevos contagios que produce cada infectado durante su período infectivo*”

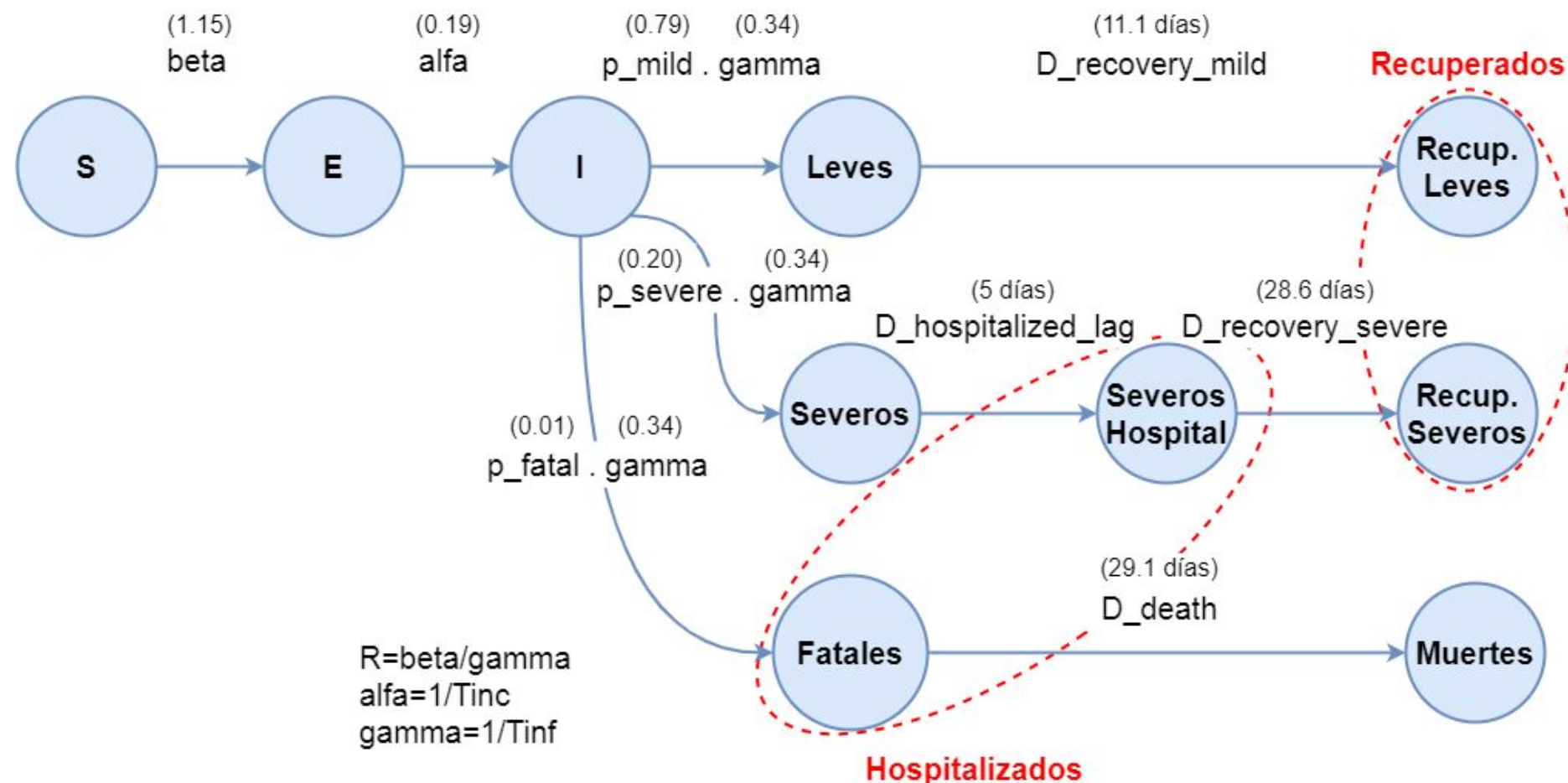
<https://doi.org/10.1155/2011/527610>

R0: Válido al comienzo de la epidemia cuando toda la población es susceptible.

Epidemia	$R_t > 1 \Leftarrow$	$[\beta S(\tau) - \gamma] > 0$	$I \uparrow \downarrow$ (con un único máximo I_{max})
Endemia	$R_t = 1$		
Supresión	$R_t < 1 \Leftarrow$	$[\beta S(\tau) - \gamma] < 0$	$I \downarrow$

Agregando compartimientos: Nivel de severidad. Dinámica sanitaria.

- Modelo de compartimientos tipo SEIR-H homogéneo en cohortes y espacio. Distingue Infectados Leves, Severos y Fatales. Distingue Hospitalizados.
- Asume 11 días entre el 1er. **confirmado** oficial (3/3) y el 1er. (supuesto) **infectado** (21/2).
 - Tiempo Incubación ($T_{inc} \approx 5$) + Tiempo Contagiosidad ($T_{inf} \approx 3$) + Tiempo Test (≈ 4) ≈ 11 días.
- Número de reproducción “libre” estimado en $R_0 \approx 3.3$
 - Mediante optimización sobre datos de confirmados oficiales (del 7/3/20 hasta el 20/3/20).



Modelo SEIR-H

$$\dot{S} = -\beta I S$$

$$\dot{E} = \beta I S - \alpha E$$

$$\dot{I} = \alpha E - \gamma I$$

$$\dot{R} = \gamma I$$

$$\dot{Mild} = p_{mild} \gamma I - \frac{1}{D_{recovery_mild}} Mild$$

$$\dot{Severe} = p_{severe} \gamma I - \frac{1}{D_{hospital_lag}} Severe$$

$$\dot{SevereH} = \frac{1}{D_{hospital_lag}} Severe - \frac{1}{D_{recovery_severe}} SevereH$$

$$\dot{Fatal} = p_{fatal} \gamma I - \frac{1}{D_{death}} Fatal$$

$$\dot{R}_{Mild} = \frac{1}{D_{recovery_mild}} Mild$$

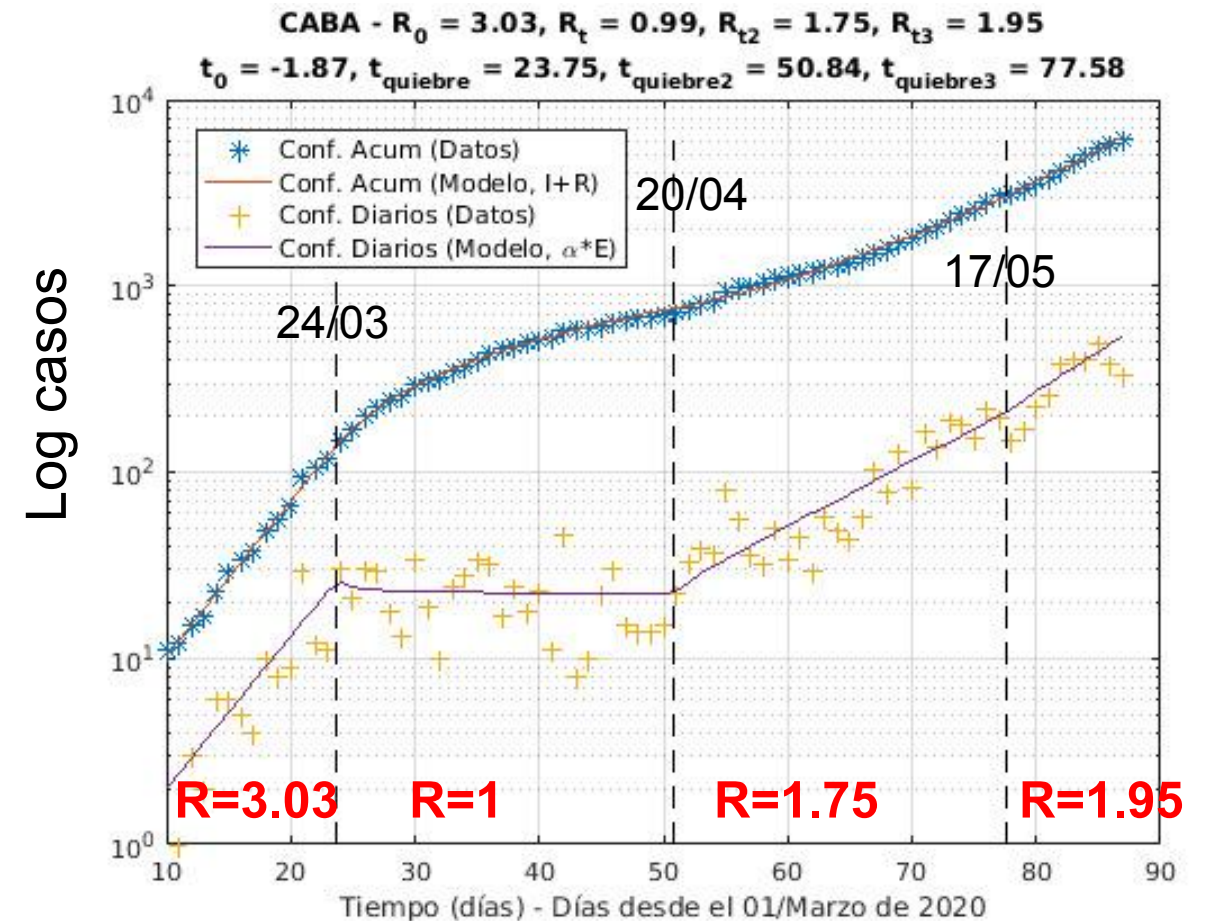
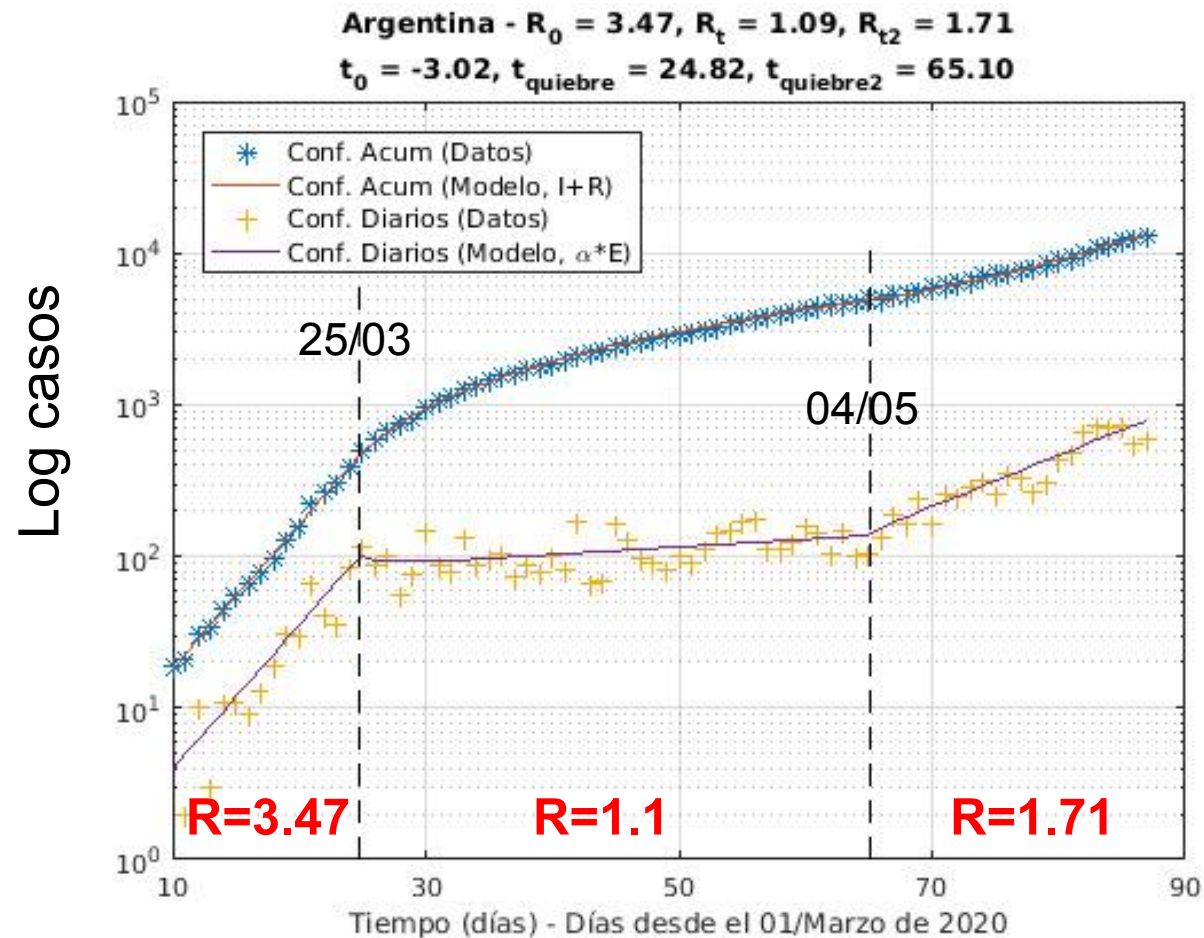
$$\dot{R}_{Severe} = \frac{1}{D_{recovery_severe}} SevereH$$

$$\dot{R}_{Fatal} = \frac{1}{D_{death}} Fatal$$

$$1 = p_{mild} + p_{severe} + p_{fatal}$$

Ajuste de R mediante modelos de simulación

- Primeros ejemplos para Argentina y CABA (Marzo/Abril/Mayo 2020)



Ejemplo de aplicación: Planteo de Escenarios. Apoyar la toma de decisiones.

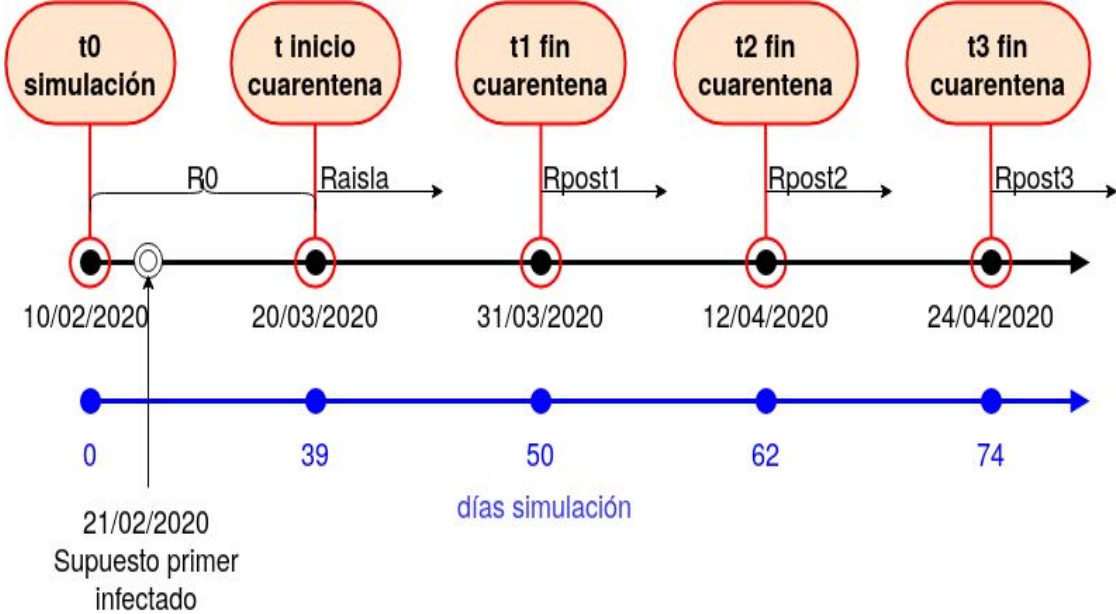
- Estudio de órdenes de magnitud de infectados y fechas, considerando el ASPO iniciado el 20/3 y conjuntos de variaciones posibles.
- Responder preguntas del siguiente tipo:
 - ¿Sería posible manejar la epidemia con una estrategia de un único aislamiento sin saturar el sistema sanitario?
 - En caso negativo ¿Cuál serían **alternativas viables**?

Ejemplo de aplicación: Planteo de Escenarios. Apoyar la toma de decisiones.

- Estudio de órdenes de magnitud de infectados y fechas, considerando el ASPO iniciado el 20/3 y conjuntos de variaciones posibles.
- Responder preguntas del siguiente tipo:
 - ¿Sería posible manejar la epidemia con una estrategia de un único aislamiento sin saturar el sistema sanitario?
 - En caso negativo ¿Cuál serían **alternativas viables**?
- No se trata de “predicciones” sino de “escenarios estilizados”
 - Importantes **dinámicas microscópicas** son abstraídas a **nivel macroscópico**
 - Importantes **heterogeneidades** son homogeneizadas
 - **Rt** es un ejemplo de **variable macroscópica emergente**
 - **Suponemos:** **Acciones (políticas) sobre la red microscópica de agentes tienen su equivalente macroscópico.** Escenarios tipo “qué pasaría si...”
 - Los “**picos**” no “**llegan**”, sino que se diseñan mediante políticas públicas.
- El modelista es responsable de controlar e informar sobre:
 - Las simplificaciones subyacentes
 - Las interpretaciones válidas y las inválidas

Escenarios 1)

¿Es viable manejar la epidemia con **un único** período de aislamiento acotado?



3 escenarios para **duración del aislamiento**: 12, 24 y 36 días

$R_0=3.3$
 $R>1$: Mitigación
 $R=1$: Estabilidad
 $R<1$: Supresión

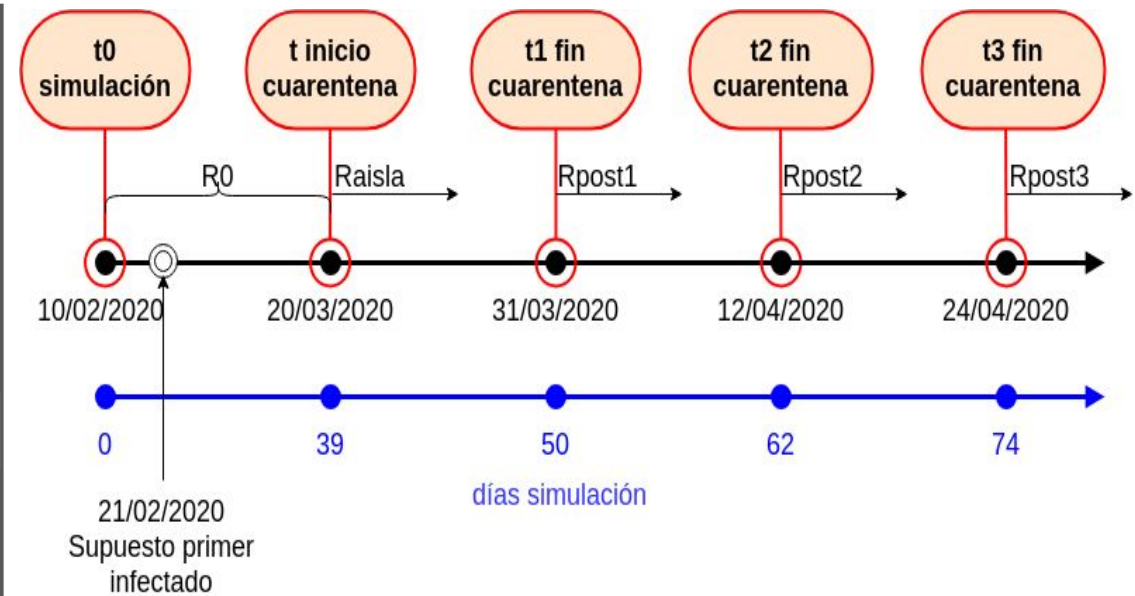
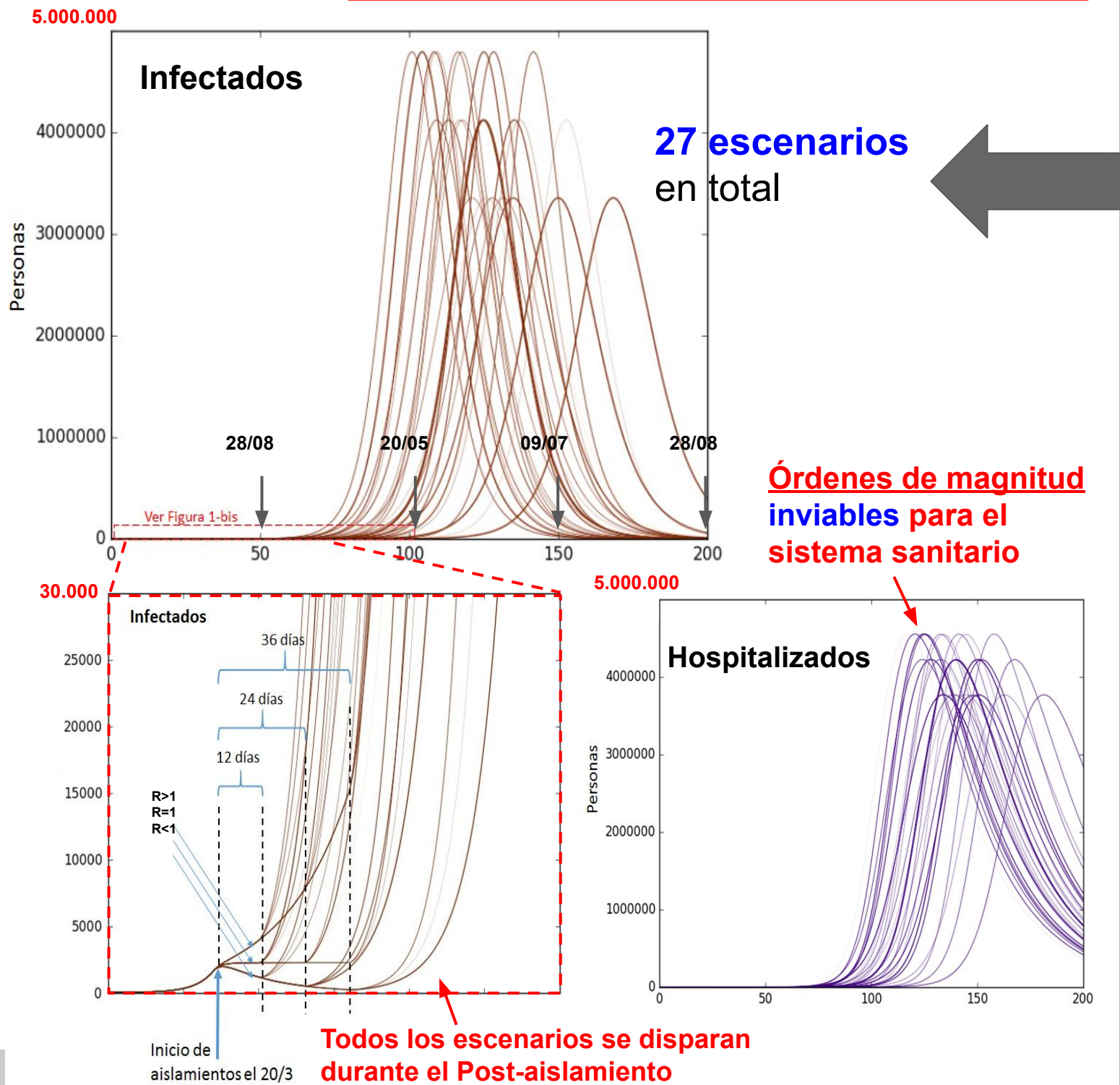
Números de Reproducción R

Raisla Rpost	Raisla		
	Optimista	Moderado	Pesimista
Optimista	0.5 / 2.3	1 / 2.3	1.5 / 2.3
Moderado	0.5 / 2.7	1 / 2.7	1.5 / 2.7
Pesimista	0.5 / 3	1 / 3	1.5 / 3

9 escenarios de **efectividad** para:
Aislamiento (Raisl) y **Post-aislamiento (Rpost)**

Escenarios 1)

Ningún escenario considerado luce efectivo con un único aislamiento



3 escenarios para duración del aislamiento: 12, 24 y 36 días

R0=3.3
R>1: Mitigación
R=1: Estabilidad
R<1: Supresión

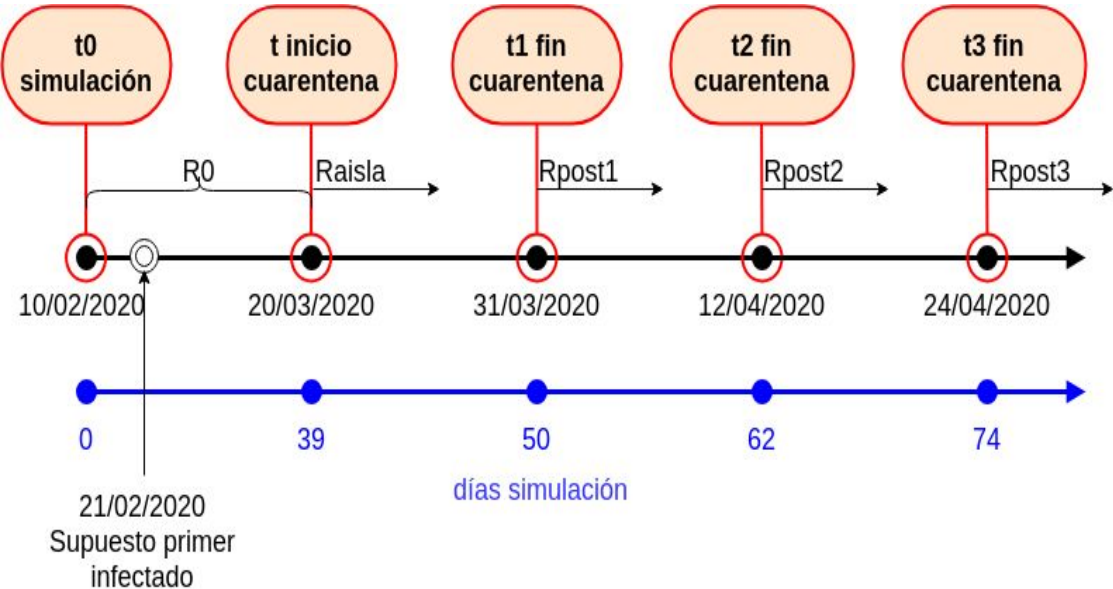
Números de Reproducción R

Raisla	Rpost		
	Optimista	Moderado	Pesimista
Optimista	0.5 2.3	1 2.3	1.5 2.3
Moderado	0.5 2.7	1 2.7	1.5 2.7
Pesimista	0.5 3	1 3	1.5 3

9 escenarios de efectividad para: Aislamiento (Raisl) y Post-aislamiento (Rpost)

Escenarios 2)

¿Existen alternativas viables?



3 escenarios para duración del aislamiento: 12, 24 y 36 días

$R_0=3.3$
 $R>1$: Mitigación
 $R=1$: Estabilidad
 $R<1$: Supresión

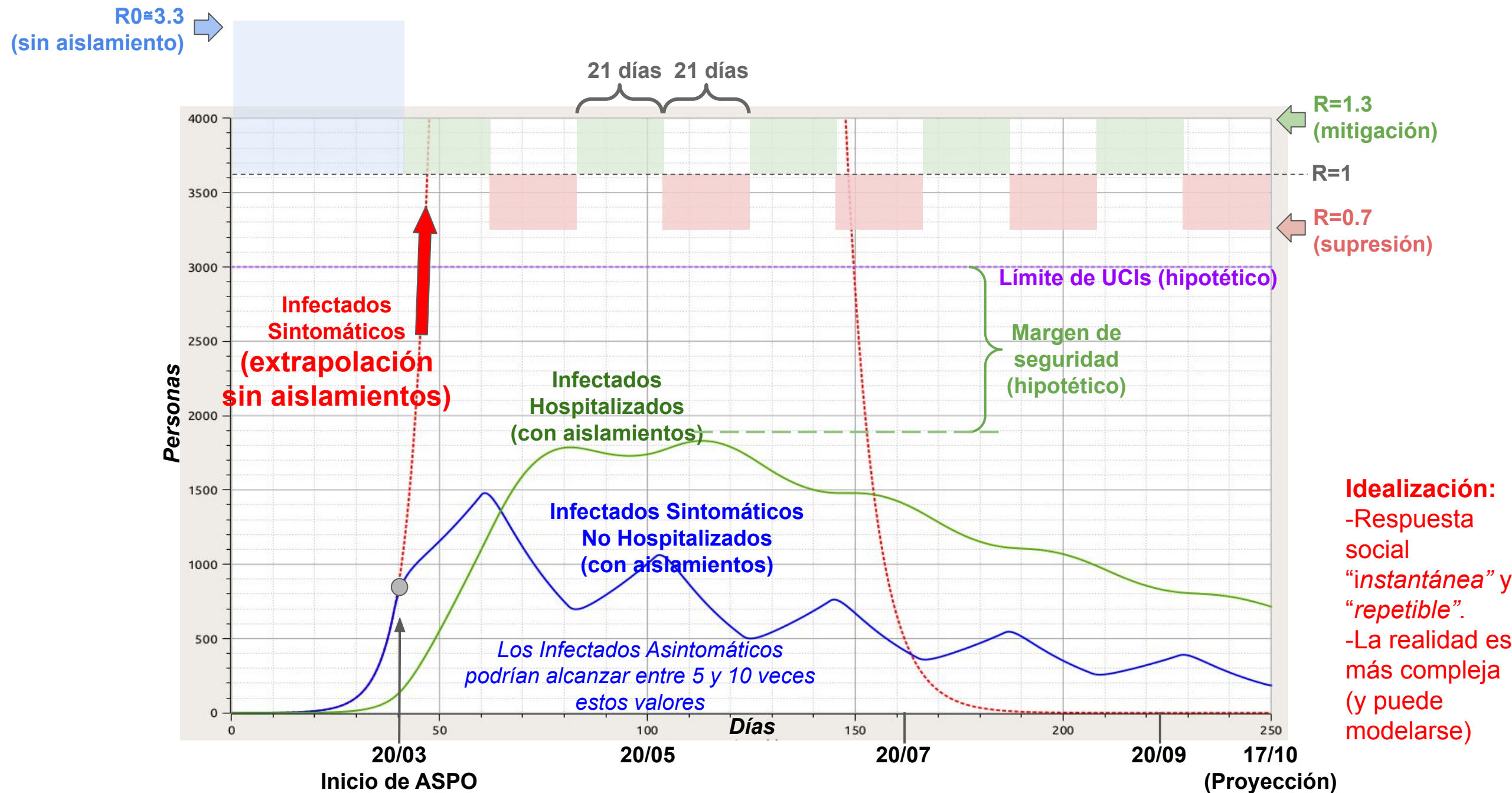
Números de Reproducción R

Raisla Rpost	Raisla		
	Optimista	Moderado	Pesimista
Optimista	0.5 / 2.3	1 / 2.3	1.5 / 2.3
Moderado	0.5 / 2.7	1 / 2.7	1.5 / 2.7
Pesimista	0.5 / 3	1 / 3	1.5 / 3

9 escenarios de efectividad para:
Aislamiento (Raisl) y Post-aislamiento (Rpost)

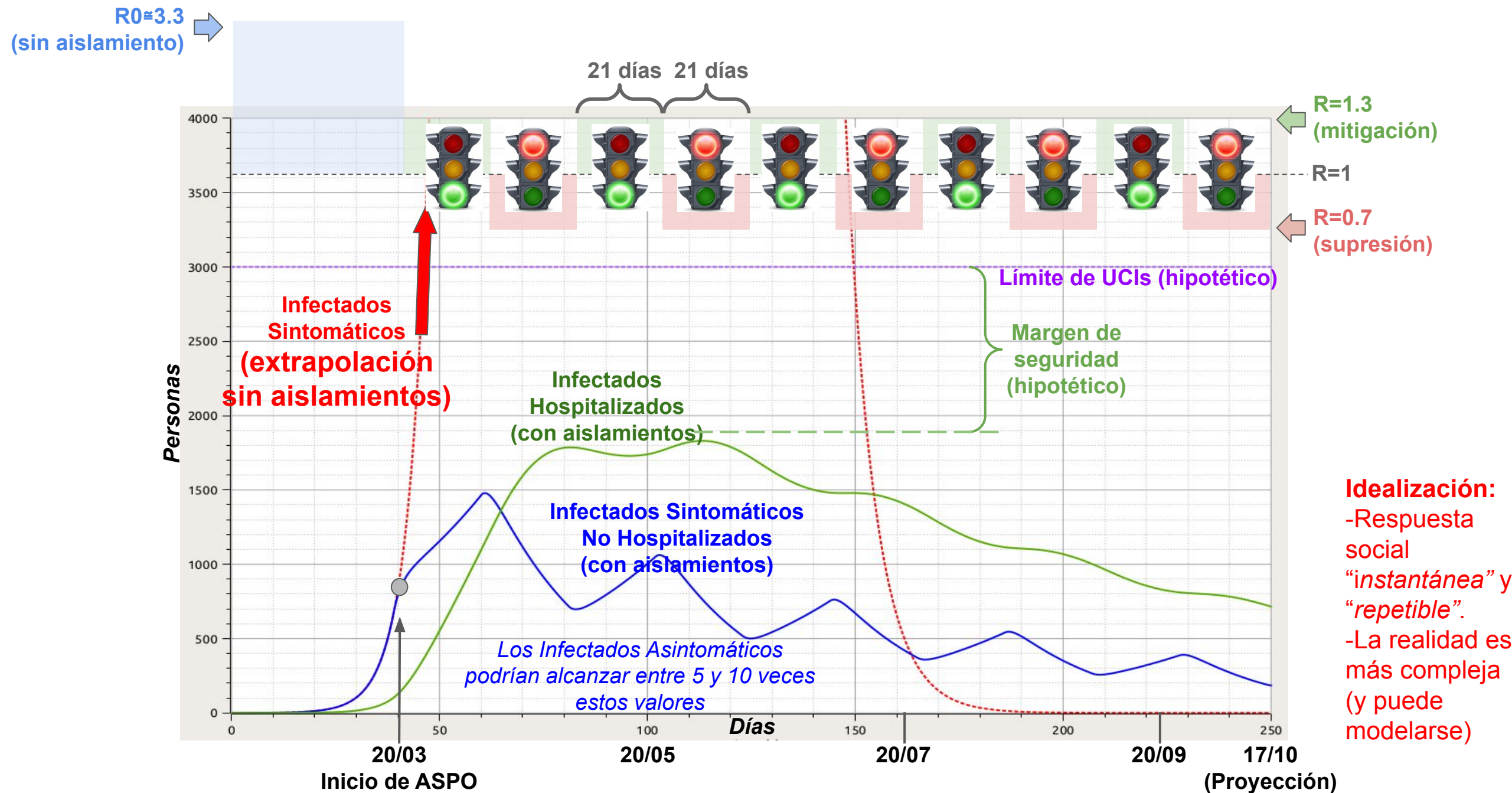
Escenarios 2)

Existen combinaciones de **aislamientos intermitentes** compatibles con la **capacidad sanitaria** y con cierta **reactivación socioeconómica**

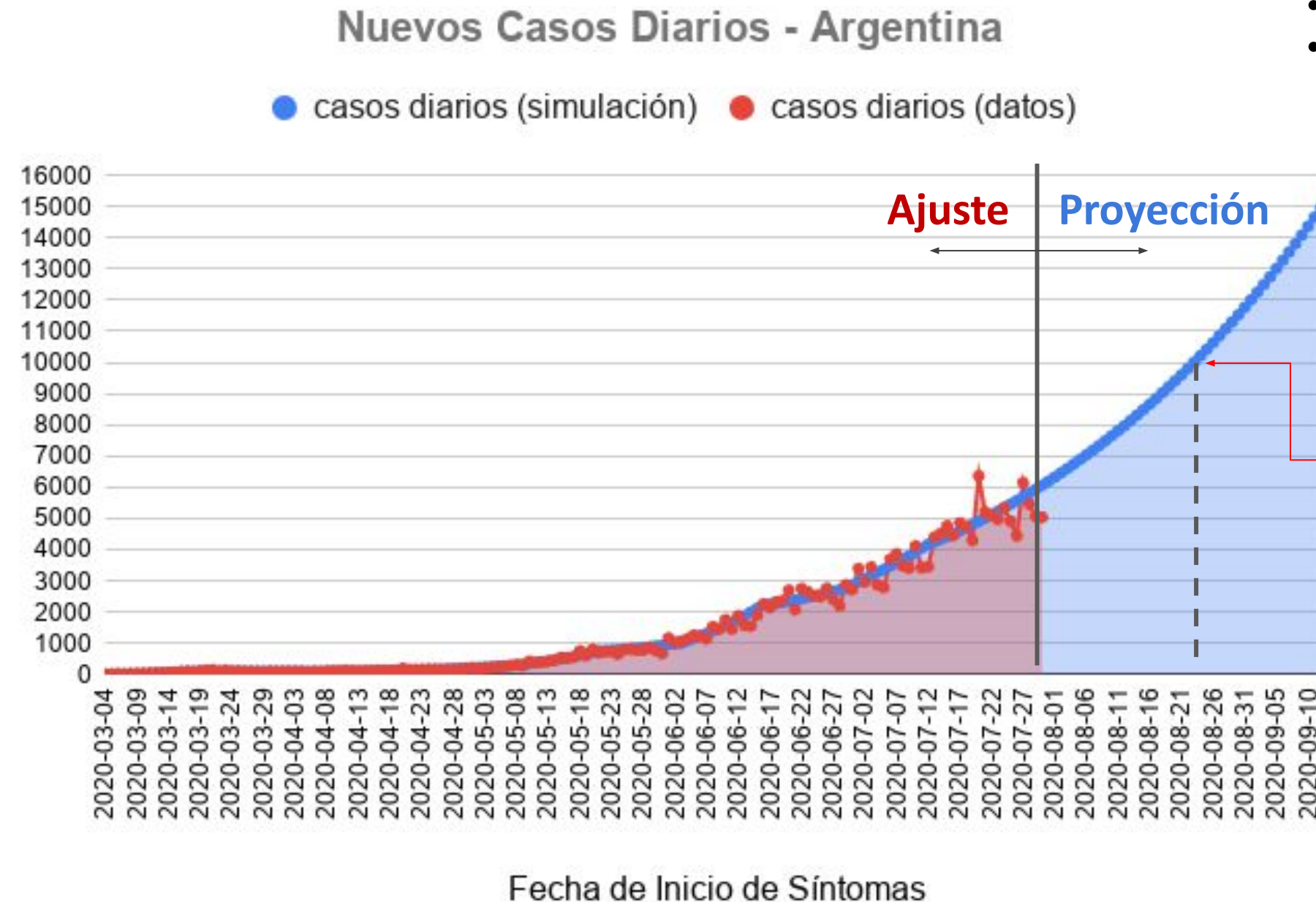


Escenarios 2)

Existen combinaciones de **aislamientos intermitentes** compatibles con la **capacidad sanitaria** y con cierta **reactivación socioeconómica**



• Curva de incidencia de casos a nivel nacional



- **Proyección realizada el 10/08:**
- **De continuar la tendencia actual se alcanzan, en promedio, los siguientes valores:**

- Orden de 15.000 casos diarios → 2da. semana de septiembre (acumulados aprox.: 660.000 detectados, 12.000 fallecidos)

- Orden de 10.000 casos diarios → 4ta. semana de agosto

- Número reproductivo $R \approx 1.2$

Modelos matemáticos para epidemias

Proyecciones acertadas para nivel nacional
*(comunicadas desde la 1er. conferencia de prensa
de la **Iniciativa por el Resguardo de los DDHH el 11/08)***

- ✓ **Hacia el 23/08:** Crecimiento hasta 10.000 casos diarios
- ✓ **Hacia el 02/09:** Crecimiento hasta 12.000 casos diarios
- ✓ **Hacia el 16/09:** Acumulación de 12.000 fallecimientos
- ✓ **Hacia el 16/10:** Acumulación de 25.000 fallecimientos

Modelos matemáticos para epidemias

Proyecciones acertadas para nivel nacional
(comunicadas desde la 1er. conferencia de prensa de la **Iniciativa por el Resguardo de los DDHH el 11/08**)

- ✓ Hacia el 23/08: Crecimiento hasta 10.000 casos diarios
- ✓ Hacia el 02/09: Crecimiento hasta 12.000 casos diarios
- ✓ Hacia el 16/09: Acumulación de 12.000 fallecimientos
- ✓ Hacia el 16/10: Acumulación de 25.000 fallecimientos

CONFERENCIA DE PRENSA
PANDEMIA COVID-19
LA HORA MÁS DIFÍCIL
LA VIDA Y LA SALUD SON DERECHOS HUMANOS QUE LOS ESTADOS DEBEN GARANTIZAR

PARTICIPAN:
TATY ALMEIDA, ADOLFO PÉREZ ESQUIVEL,
VERA JARACH, ALFREDO ZAIAT, FRANCO MARSICO,
ANGÉLICA GRACIANO, ROBERTO BARADEL,
RODRIGO CASTRO, ERNESTO KOFFMAN,
DANIEL CATALANO.
MODERA: MABEL CAREAGA.

MARTES 11 DE AGOSTO - 12 HS
VÍA ZOOM. ID de reunión: 464 957 5031
Código de acceso: irdharg



Mesa debate con científicos del Conicet

BOTÓN ROJO Y AISLAMIENTO INTERMITENTE: UN CAMBIO DE ESTRATEGIA PARA FRENAR LA PANDEMIA

Diálogo entre el Conicet y los trabajadores de salud: la ciencia al servicio del pueblo.

SÁBADO 17 DE OCTUBRE - 10 HS

zoom ID DE REUNIÓN: 854 8014 8422 CÓDIGO DE ACCESO: 188361

ORGANIZA: ASAMBLEA DE TRABAJADORES POR LA SALUD COLECTIVA

<https://tinyurl.com/ASPlenArgentina>

CONFERENCIA DE PRENSA FEDERAL

UNA ACCIÓN URGENTE Y SOLIDARIA PARA SALVAR VIDAS EN LA PANDEMIA COVID-19

APERTURA A CARGO DE:
TATY ALMEIDA, VERA JARACH,
ALBERTO KORNBLITT, RODRIGO CASTRO.

ANALISTAS: ELISA ESTENSSORO,
RODRIGO QUIROGA, FRANCO MARSICO.

MODERAN: MABEL CAREAGA Y HECTOR FRANCISSETTI.

ORADORES POR PROVINCIA

Jujuy: Rafael Vargas, Celina Castellon, Ricardo Mariano Cuenca, Berta Lozano, Alejandro Gravanago, Gustavo Tissera, Oscar Atienza, Ilda Bustos, Kaufman, Victoria Paulon, Elsa Splendiani, Golovin, Liliana Berg, Pablo Ferrari, Patricia Imhoff, Rio Negro: Paula Ocariz, Emiliano Santoro, Graciano, Ricardo Carrizo, Iván W...

JUEVES 17/09 12HS

VÍA ZOOM

ID de reunión: 597 789 2352
Código de acceso: irdharg

<https://www.elcohetealaluna.com/muertes-evitables>

INICIO

HORACIO VERBITSKY

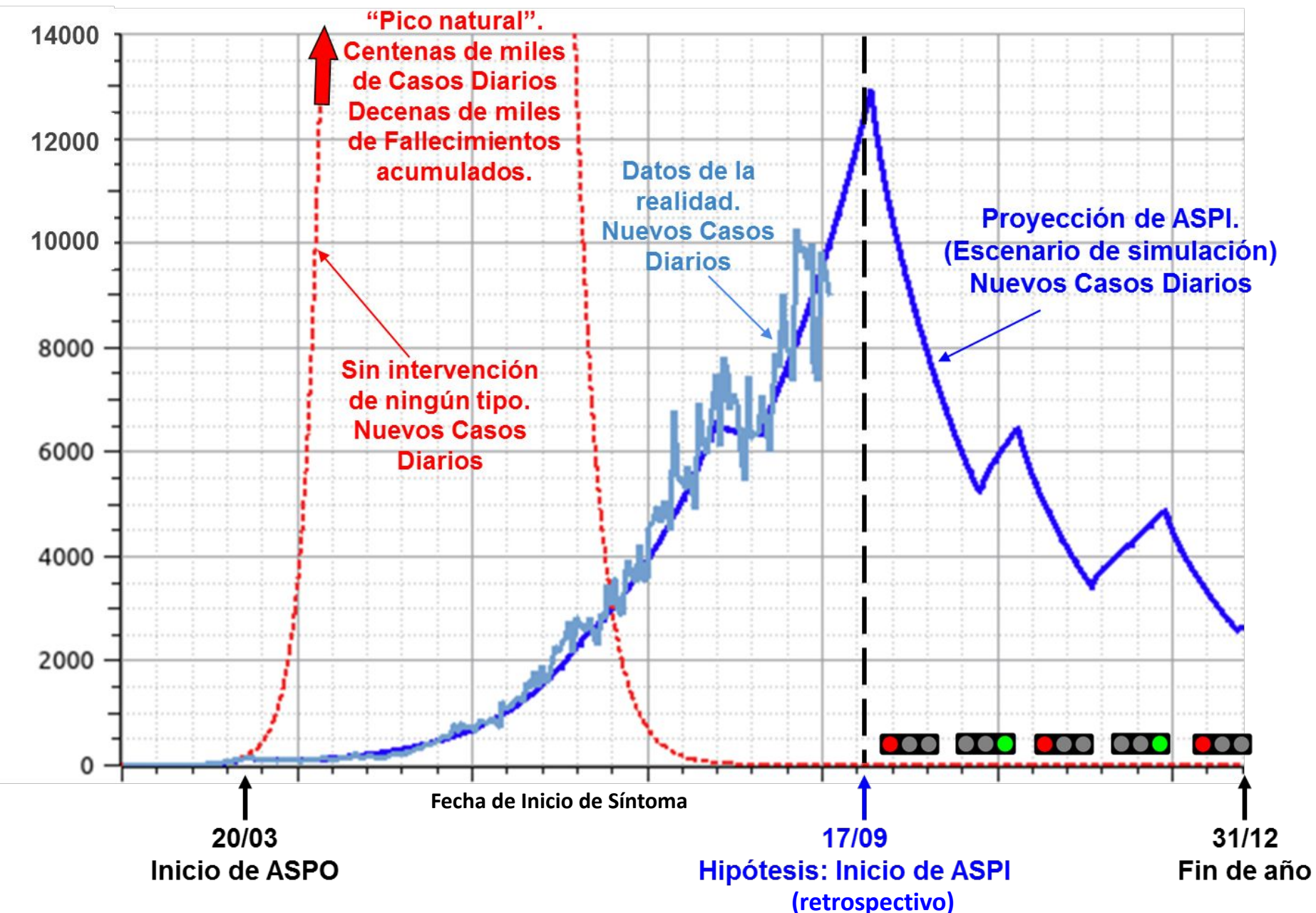
NUESTRA TRIPULACIÓN

EDICIONES ANTERIORES

MUERTES EVITABLES

Carta al Presidente y llamado a tomar conciencia de la catástrofe invisibilizada

Evolución: De una **ASPO** desvirtuada a una **ASPI** virtuosa



- **Aislamientos:**

- **Selectivos:**

- Por zona geográfica y por actividad económica

- **Planificados:**

- Diseñados con antelación. Previsibles. **Opuesto a “ir viendo cómo viene la curva”**

- **Intermitentes:**

- Períodos de

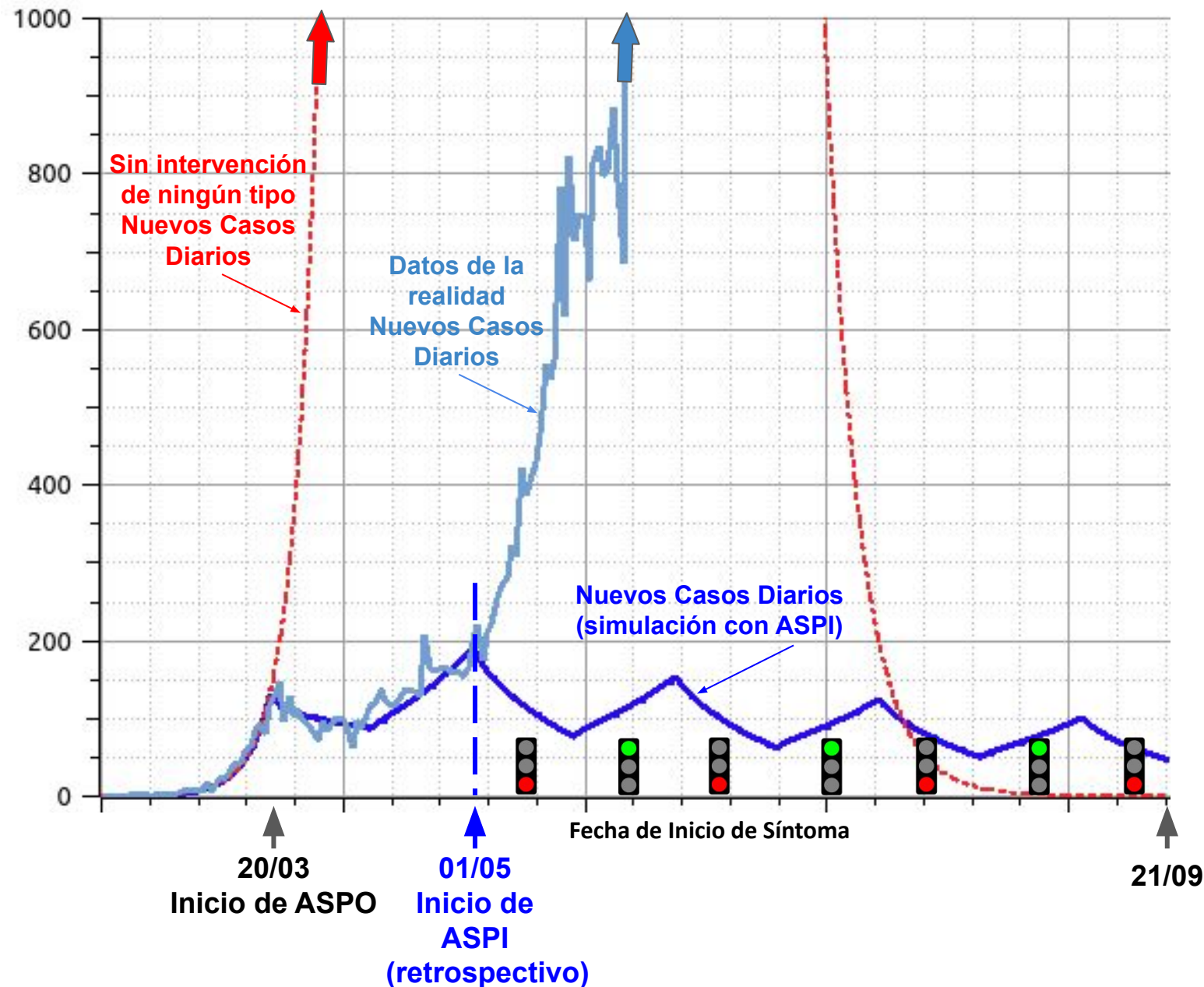
- **cierres eficientes** (supresión) seguidos de períodos de
 - **reactivación controlada** (mitigación)

- Se podría haber iniciado un camino a reducir los casos **hacia fin de año** alcanzando:

- Cerca de 2.000 casos/día
- Orden de 35.000 fallecimientos acumulados

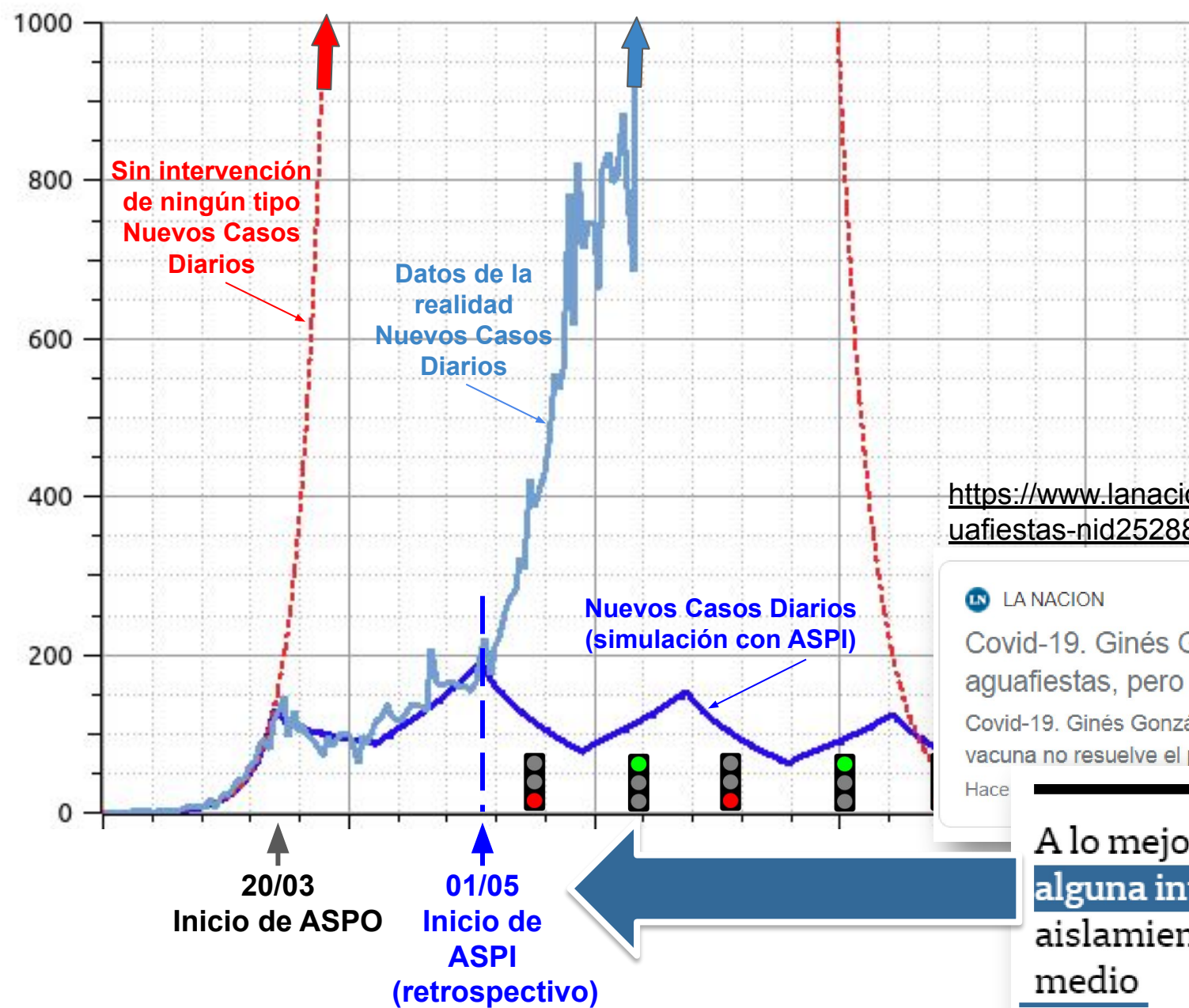
- Esto no se intentó

Evolución: De una ASPO desvirtuada a una ASPI virtuosa



- Aislamientos:
 - **Selectivos:**
Por zona geográfica y por actividad económica
 - **Planificados:**
Diseñados con antelación. Previsibles. **Opuesto a “ir viendo cómo viene la curva”**
 - **Intermitentes:**
Períodos de
 - **cierres eficientes** (supresión) seguidos de períodos de
 - **reactivación controlada** (mitigación)
- Si se hubiese aplicado una ASPI el 1ro. de Mayo podríamos haber llegado al **día de la primavera de 2020** con:
 - Menos de 1.000 fallecimientos acumulados
 - Menos de 100 casos diarios

Evolución: De una ASPO desvirtuada a una ASPI virtuosa



<https://www.lanacion.com.ar/sociedad/gines-gonzalez-garcia-no-quiero-ser-aguafiestas-nid2528826>

LN LA NACION

03-12-2020

Covid-19. Ginés González García: No quiero ser aguafiestas, pero la vacuna no resuelve el problema

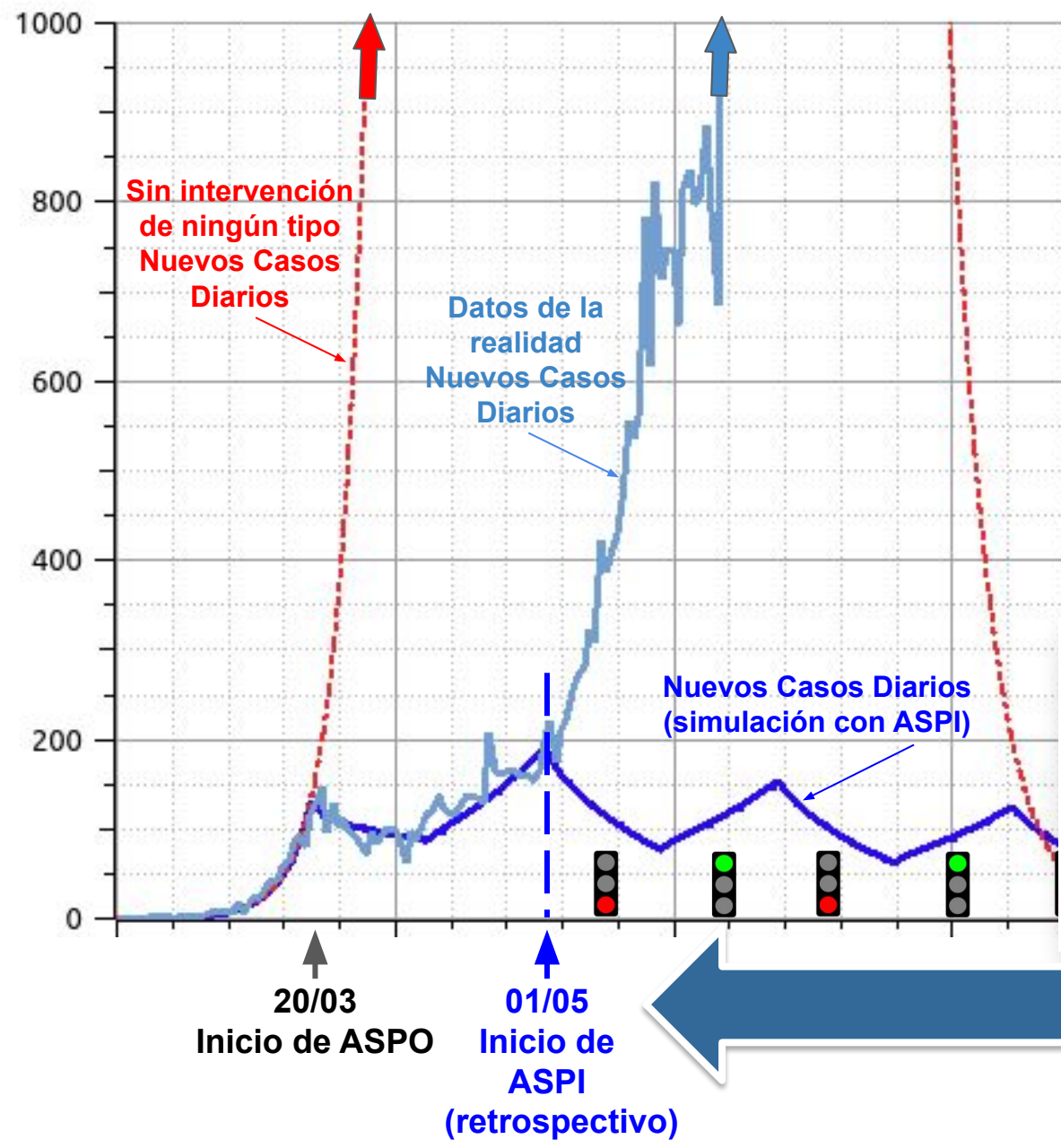
Covid-19. Ginés González García: "No quiero ser aguafiestas, pero la vacuna no resuelve el problema".

Hace

A lo mejor, deberíamos haber tenido alguna intermitencia en el aislamiento después de un mes y medio

Ginés González García

Evolución: De una ASPO desvirtuada a una ASPI virtuosa



<https://www.lanacion.com.ar/politica/coronavirus-axel-kicillof-recomendo-cuarentena-previa-14-nid2534056>

LN LA NACION

08-12-2020

Coronavirus: Axel Kicillof recomendó una **cuarentena previa** de 14 días para evitar contagios en Navidad y Año...

Coronavirus: Axel Kicillof recomendó una "cuarentena previa" de 14 días para evitar contagios en Navidad y Año Nuevo. Las ...

Hace 1 semana

<https://www.lanacion.com.ar/sociedad/gines-gonzalez-garcia-no-quiero-ser-aguafiestas-nid2528826>

LN LA NACION

03-12-2020

Covid-19. Ginés González García: No quiero ser aguafiestas, pero la vacuna no resuelve el problema

Covid-19. Ginés González García: "No quiero ser aguafiestas, pero la vacuna no resuelve el problema".

Hace

A lo mejor, deberíamos haber tenido **alguna intermitencia** en el aislamiento después de un mes y medio

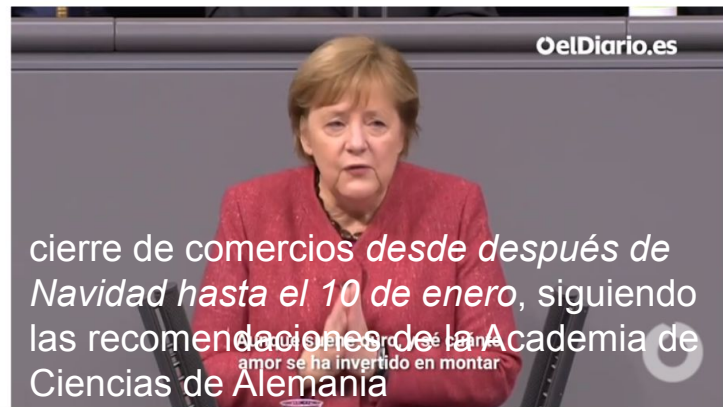
Ginés González García

Evolución: De una ASPO desvirtuada a una ASPI virtuosa

https://www.eldiario.es/internacional/merkel-pide-restricciones-discurso-emotivo_1_6490774.html

Merkel pide más restricciones: "No puede ser que ahora tengamos muchos contactos y sean las últimas navidades con los abuelos" 09-12-2020

La canciller ha mostrado su apoyo al cierre de comercios desde después de Navidad hasta el 10 de enero, siguiendo las recomendaciones de la Academia de Ciencias de Alemania, y ha insistido en que el número de fallecidos en estos momentos es "inaceptable"



cierre de comercios desde después de Navidad hasta el 10 de enero, siguiendo las recomendaciones de la Academia de Ciencias de Alemania

<https://www.lanacion.com.ar/politica/coronavirus-axel-kicillof-recomendo-cuarentena-previa-14-nid2534056>

LA NACION

08-12-2020

Coronavirus: Axel Kicillof recomendó una **cuarentena previa** de 14 días para evitar contagios en Navidad y Año...

Coronavirus: Axel Kicillof recomendó una **"cuarentena previa"** de 14 días para evitar contagios en Navidad y Año Nuevo. Las ...

Hace 1 semana

<https://www.lanacion.com.ar/sociedad/gines-gonzalez-garcia-no-quiero-ser-aguafeistas-nid2528826>

LA NACION

03-12-2020

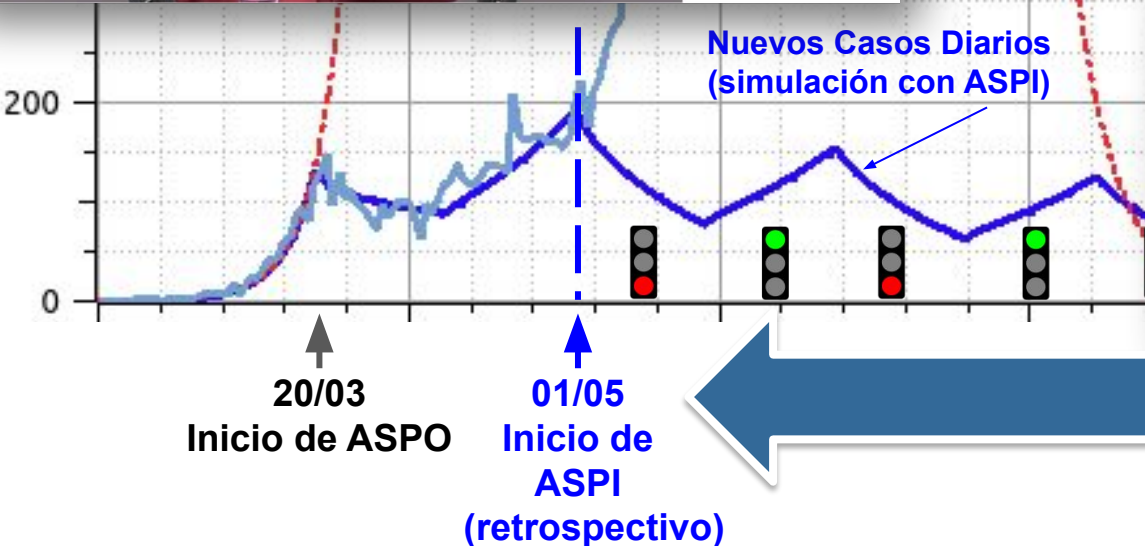
Covid-19. Ginés González García: No quiero ser aguafeistas, pero la vacuna no resuelve el problema

Covid-19. Ginés González García: "No quiero ser aguafeistas, pero la vacuna no resuelve el problema".

Hace

A lo mejor, deberíamos haber tenido **alguna intermitencia** en el aislamiento después de un mes y medio

Ginés González García



Aprobación de proyecto ASPI en el Concejo Municipal de Rosario (Junio 2021)

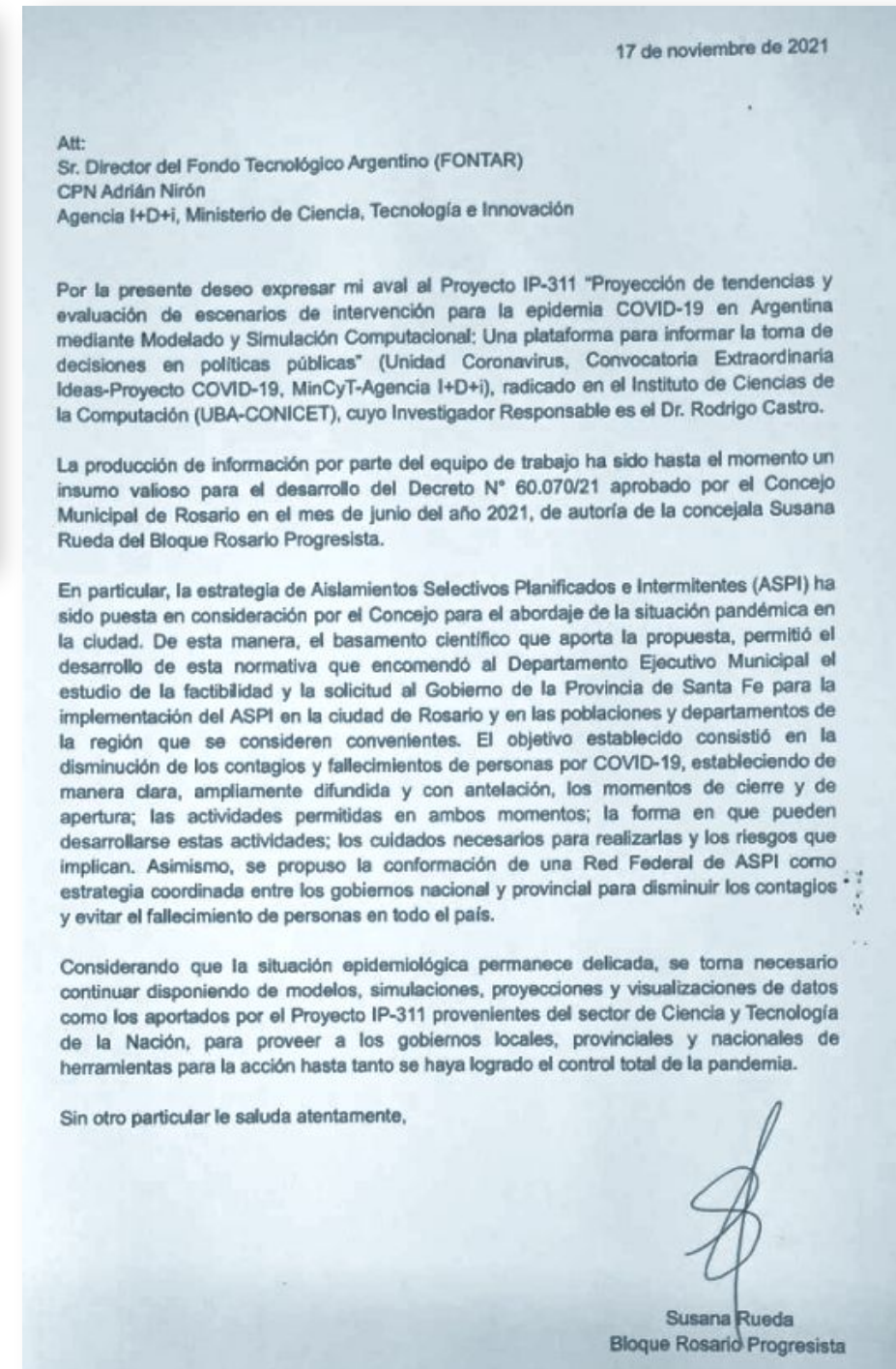
- Concejala Susana Rueda
- Bloque Rosario Progresista



Sesión Ordinaria del Concejo 3/6/2021: <https://youtu.be/jjj8rU9gv98?t=3306>

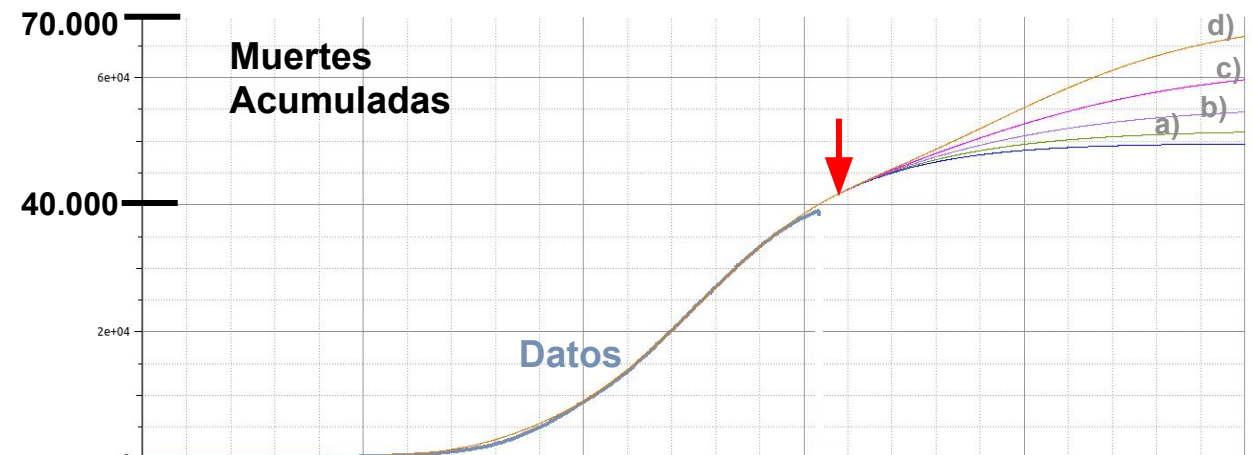
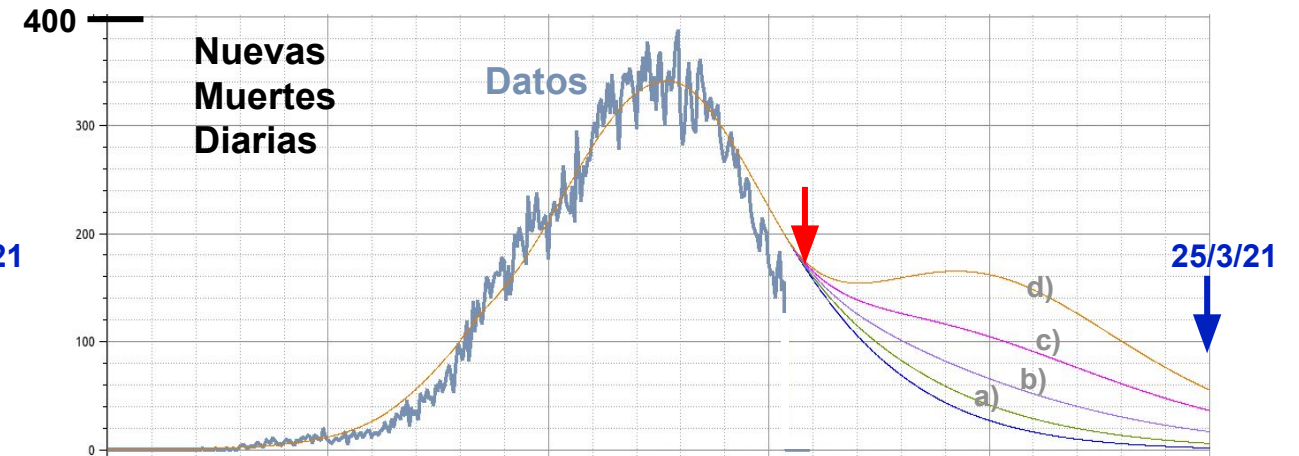
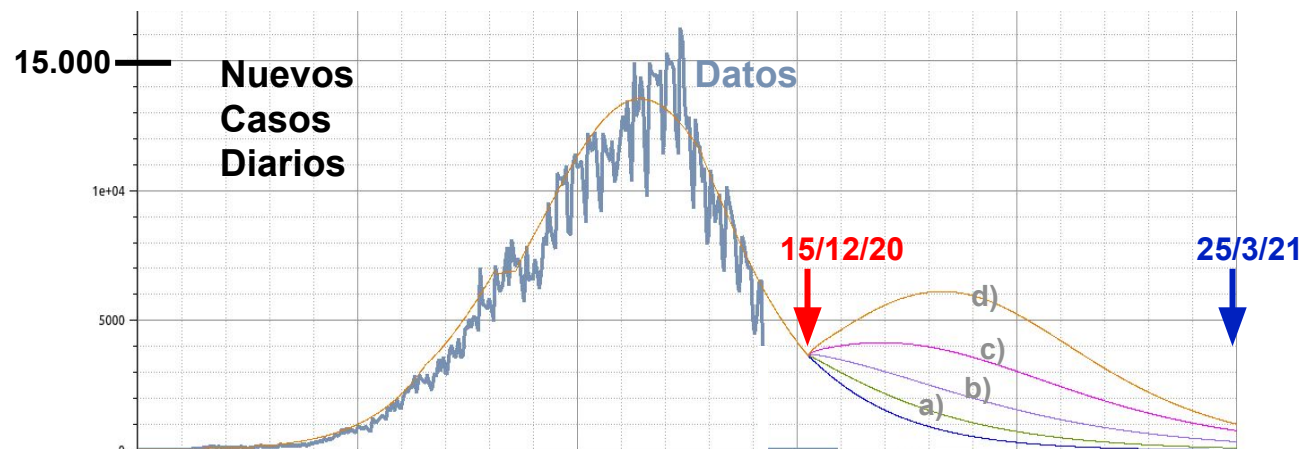


<https://www.lacapital.com.ar/la-ciudad/el-concejo-aprobo-el-proyecto-aislamiento-selectivo-planificado-e-intermitente-n2665327.html>



Posibles dinámicas de incremento de contagios. El rol de los asintomáticos.

- Ajustes que explican la disminución de casos (compatibles con*):
IFR: 0.3% , Ratio Casos-a-Infectados (FQ): 8.5 , Pob. Infectada: 33%



- Simulación de proyecciones:** Posibles efectos de “relajamientos de fin de año y vacaciones” incrementando la intensidad de transmisión en un: **a)** +10%, **b)** +20%, **c)** +30% y **d)** +40%. (Sin considerar vacunación)

** Usando las muertes y la seroprevalencia de España por rango etario, se ha estimado el número de infectados reales en los diferentes distritos de la Argentina utilizando el número de fallecidos y la distribución etaria de cada población (Actualización al 11/12/2020): FQ=8.29, IFR=0.34%, Pob Infec: 27.2% (R. Maidana, R. Quiroga, R. Etchenique, G. Durán)*

Reuniones de trabajo con gestiones municipales, provinciales y nacionales

Reuniones de trabajo para comunicación de capacidades del proyecto y reporte de resultados obtenidos con las siguientes autoridades e instituciones:

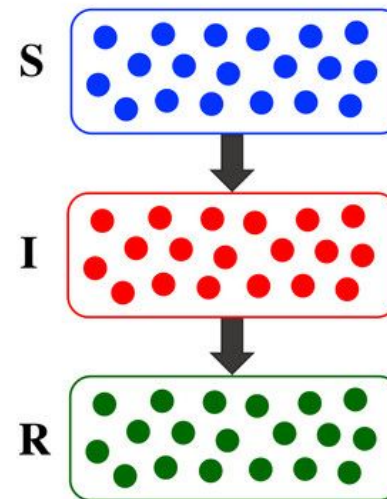
- Carla Vizzotti (Secretaria de Acceso a la Salud), Analía Rearte y equipo (**Ministerio de Salud de la Nación**)
- Nicolás Kreplak (Ministro de Salud), Enio García (Jefe de Asesores) y equipo (Ministerio de Salud, **Gobierno de la Provincia de Buenos Aires**)
- Horacio Rodríguez Larreta (Jefe de Gobierno), Fernán Quirós y equipo (Ministerio de Salud, **Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires**)
- Pablo Javkin (Intendente) y representantes de las Secretarías de Salud y de Producción (**Gobierno de la Ciudad de Rosario, Santa Fe**)
- Ricardo Curutchet (Intendente) y representantes de la Secretaría de Salud (**Gobierno del Municipio de Marcos Paz, Buenos Aires**)
- Luis Castellano (Intendente) y representantes de la Secretaría de Salud (**Gobierno de la Ciudad de Rafaela, Santa Fe**)
- Esteban Martín Piaggio (Intendente) y representantes de la Secretaría de Salud (**Gobierno de la Ciudad de Gualeguaychú, Santa Fe**)
- Pablo Zurro (Intendente) y representantes de la Secretaría de Salud (**Gobierno de la Ciudad de Pehuajó, Buenos Aires**)
- Miguel Fernández (Intendente) y representantes de la Secretaría de Salud (**Gobierno de la Ciudad de Trenque Lauquen**)
- Jorge Abel González (Ministro de Gobierno, Justicia, Seguridad y Trabajo de la **Provincia de Formosa**)
- Alicia Bañuelos (Ministra de Ciencia y Tecnología de la **Provincia de San Luis**)
- Susana Rueda (Concejala del Partido Progresista de la **Ciudad de Rosario, Santa Fe**)
- Entre muchas otras.

Incorporando Heterogeneidad

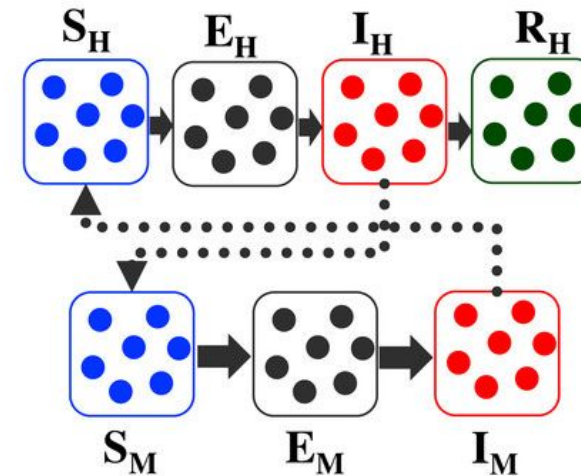
- ¿Qué modelo “se merece” una pregunta?

- No existe un modelo “*demasiado sencillo*”, sino mas bien:
- Para una *pregunta de partida* existen modelos:
 - Adecuados/Inadecuados
 - Eficientes/Ineficientes
 - Correctos/Incorrectosy sus interpretaciones
 - Válidas/Inválidas
- Ante una situación compleja (¿una pandemia?) lo más probable es que se necesiten *diversos modelos*, para atacar *diversas preguntas*, que sean *cambiantes en el tiempo*.

A. Compartmental model



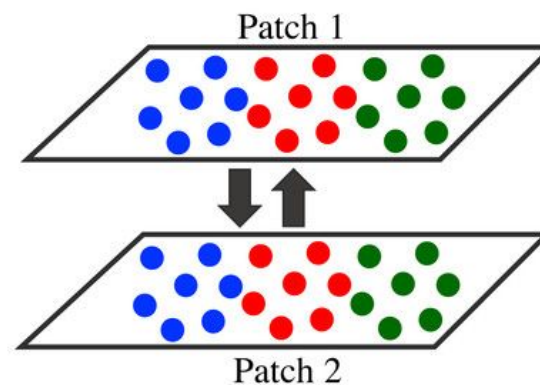
B. Vector-borne compartmental model



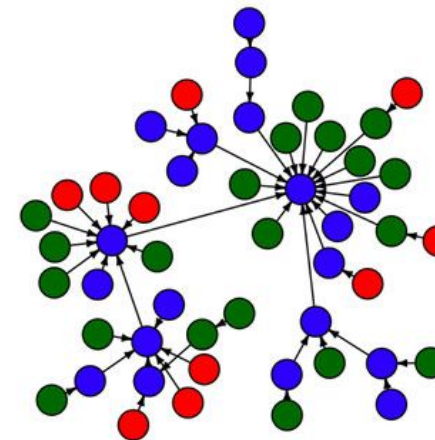
C. Spatial model



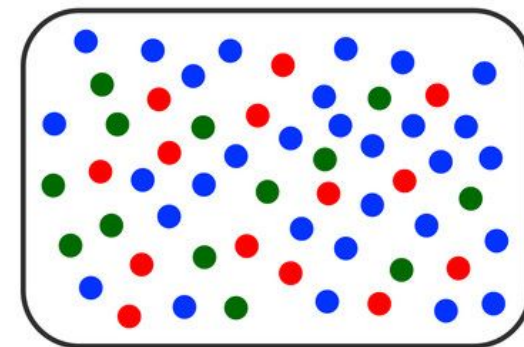
D. Metapopulation model



E. Network model



F. Individual-based model

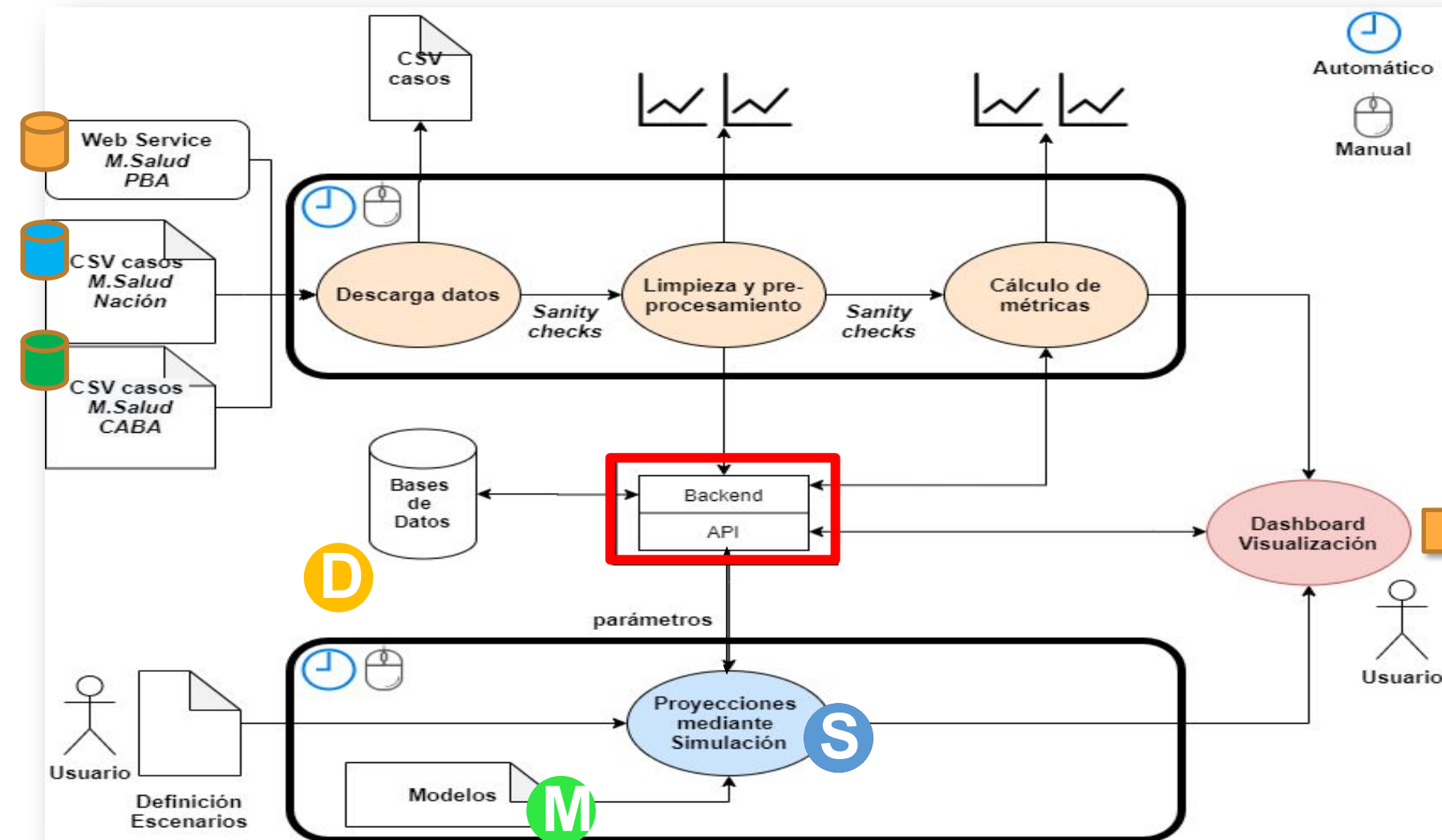


[W18] Wiratsudakul A, Suparit P, Modchang C. 2018. Dynamics of Zika virus outbreaks: an overview of mathematical modeling approaches. PeerJ 6:e4526

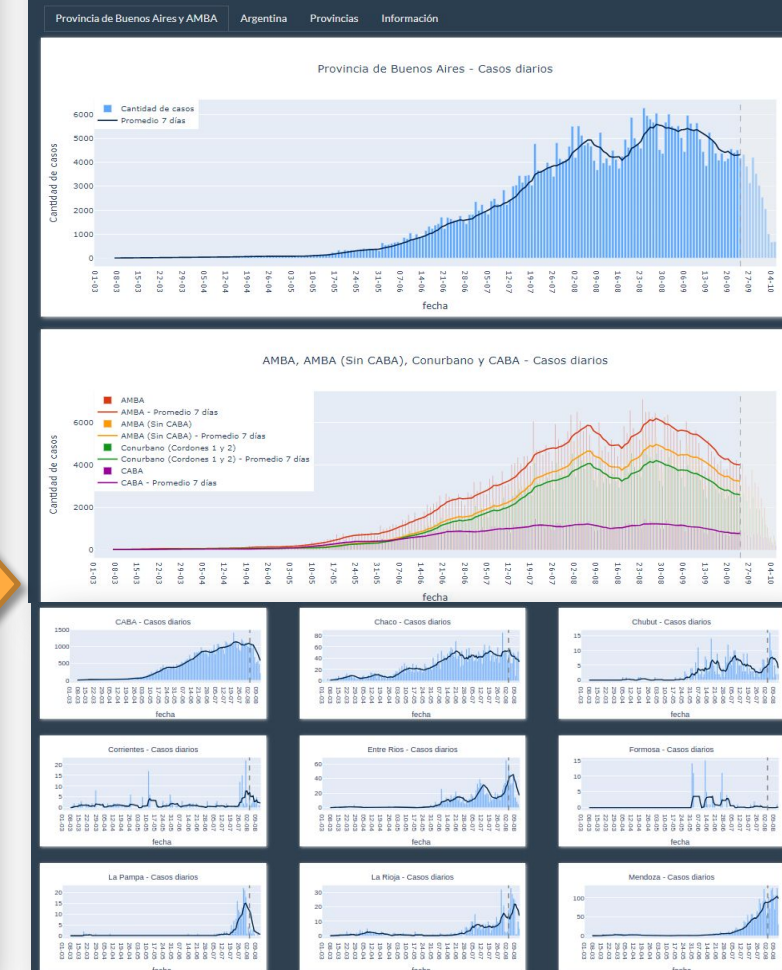
Automatización de Procesos basados en Datos



sedcovid.exp.dc.uba.ar/

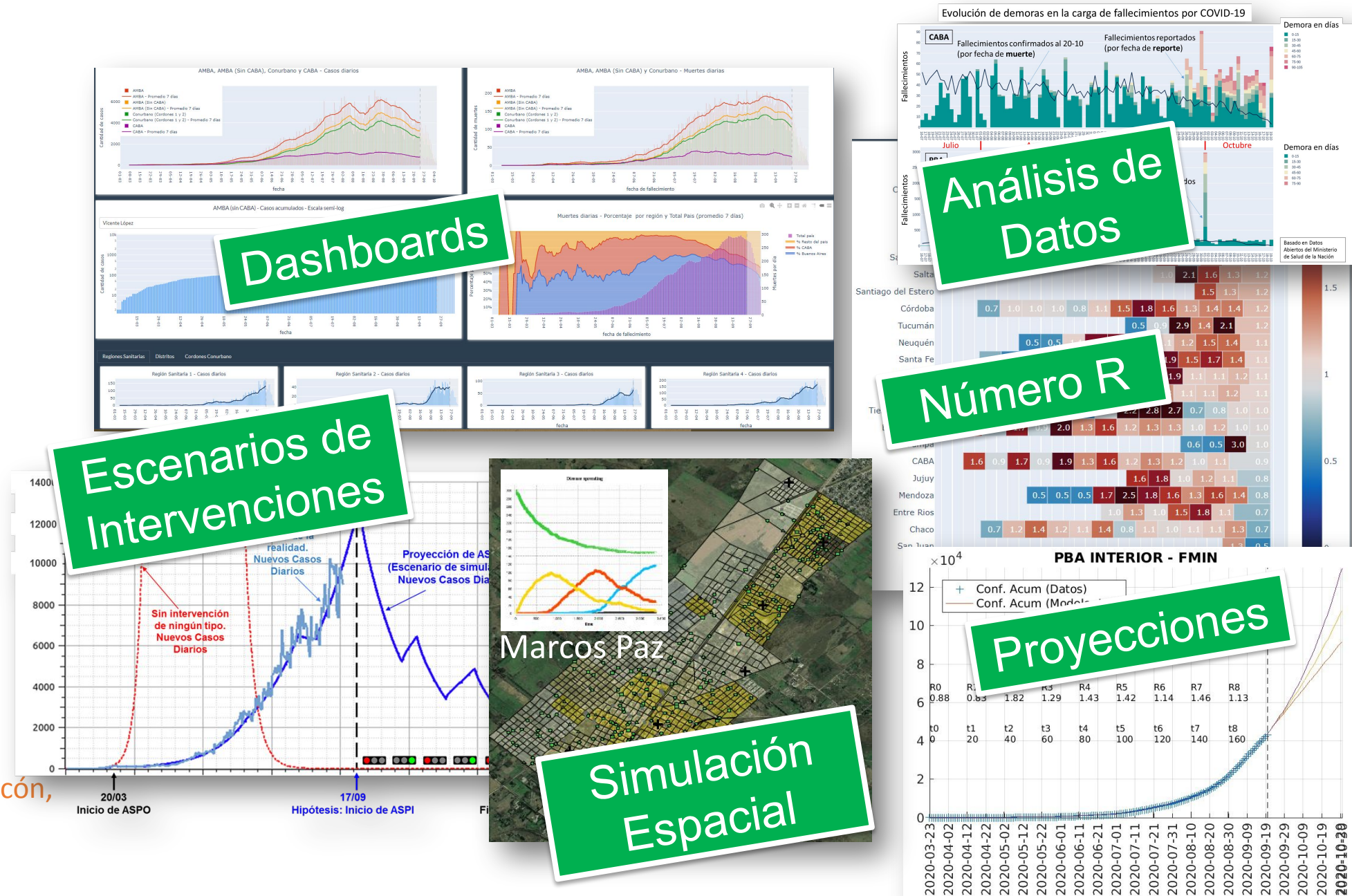


Análisis y Control basado en Datos - COVID-19 en Argentina Instituto UBA-CONICET de Ciencias de la Computación



Herramientas

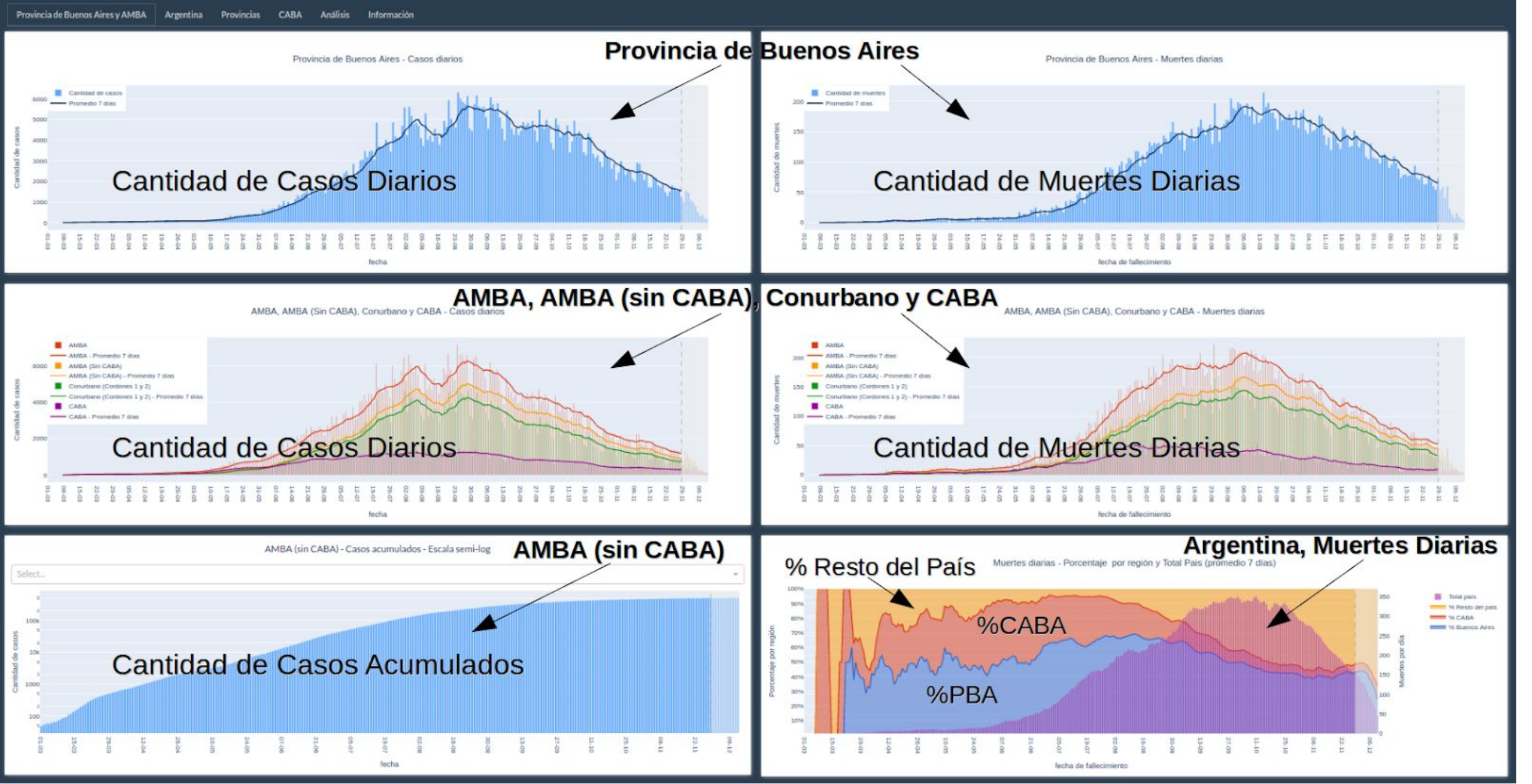
- Dashboards
 - Identificación de parámetros
 - Proyecciones
 - Escenarios
-
- 550 departamentos
 - 25 conglomerados de interés
 - Asesoramientos:
 - Prov. de Buenos Aires
 - Prov. de Formosa
 - Prov. De Santa Fe
 - Municipios de M. Paz, Bahía Blanca, Rosario, Rafaela, Rincón, ...



Ajustes, visualizaciones, simulaciones, proyecciones.

Análisis y Control basado en Datos - COVID-19 en Argentina

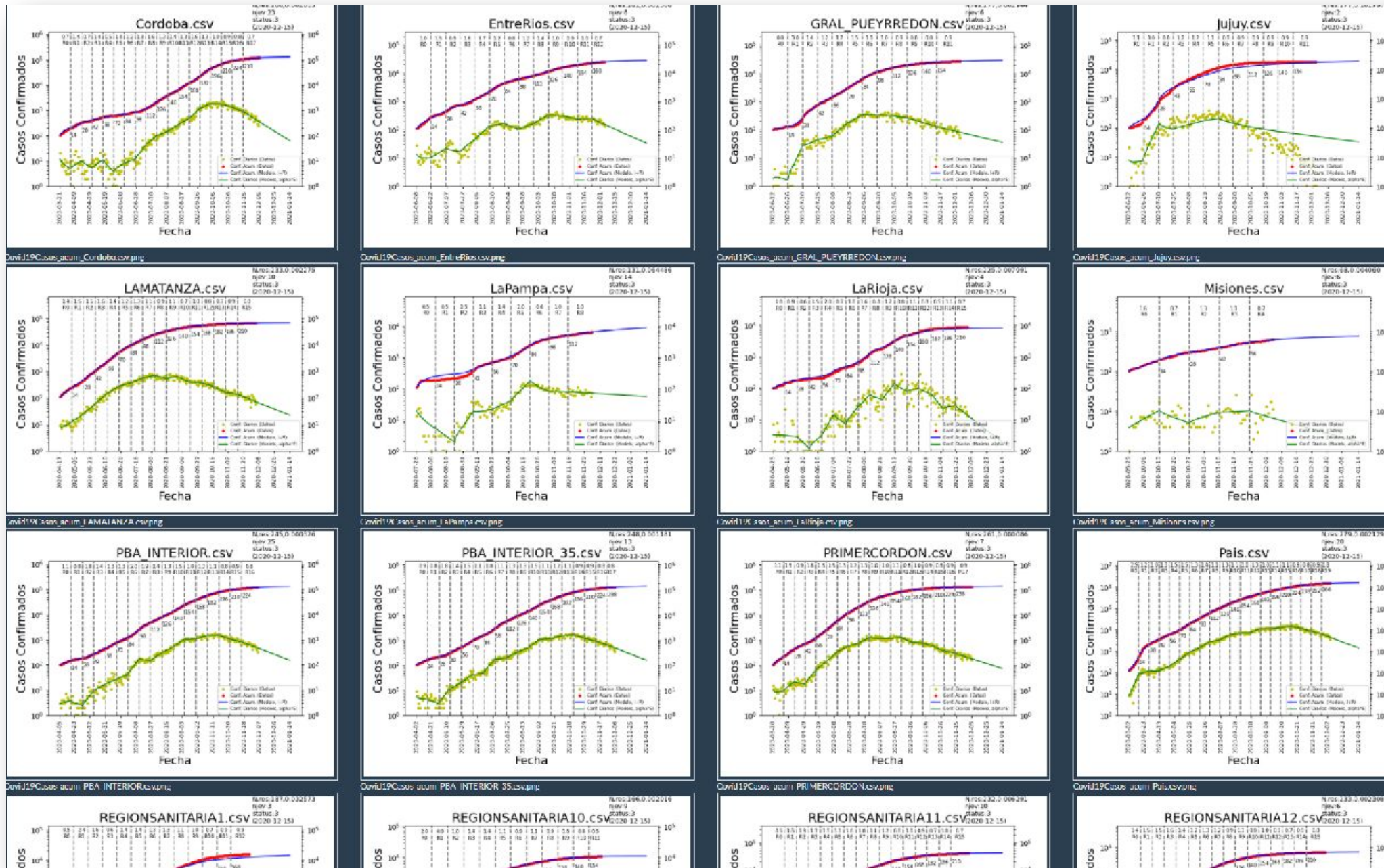
Instituto UBA-CONICET de Ciencias de la Computación



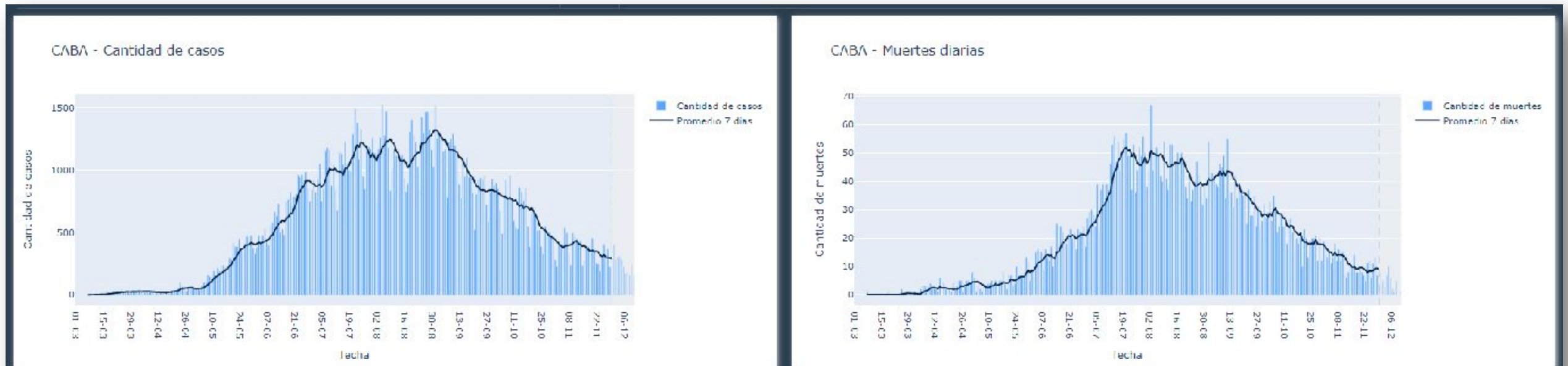
Ajustes, visualizaciones, simulaciones, proyecciones.

- Actualización diaria. 550 departamentos, 26 aglomerados.

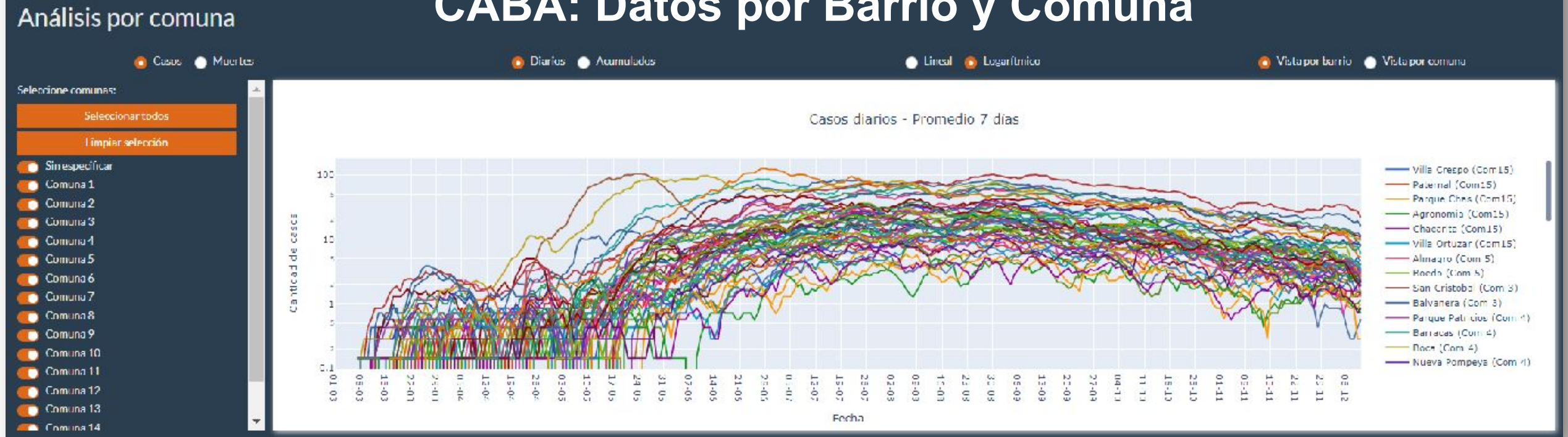
- Actualización diaria
- Insumo para alimentar otras líneas de trabajo



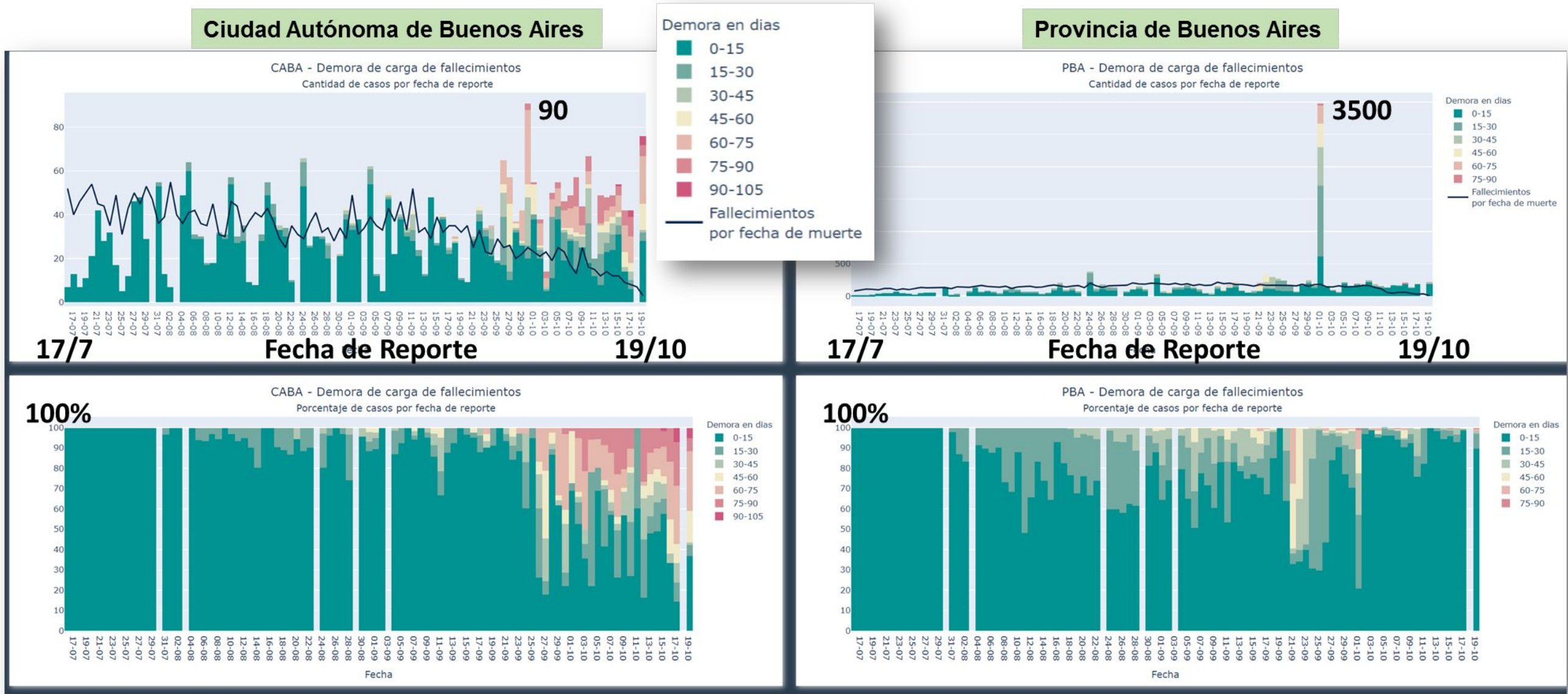
Ajustes, visualizaciones, simulaciones, proyecciones.



CABA: Datos por Barrio y Comuna



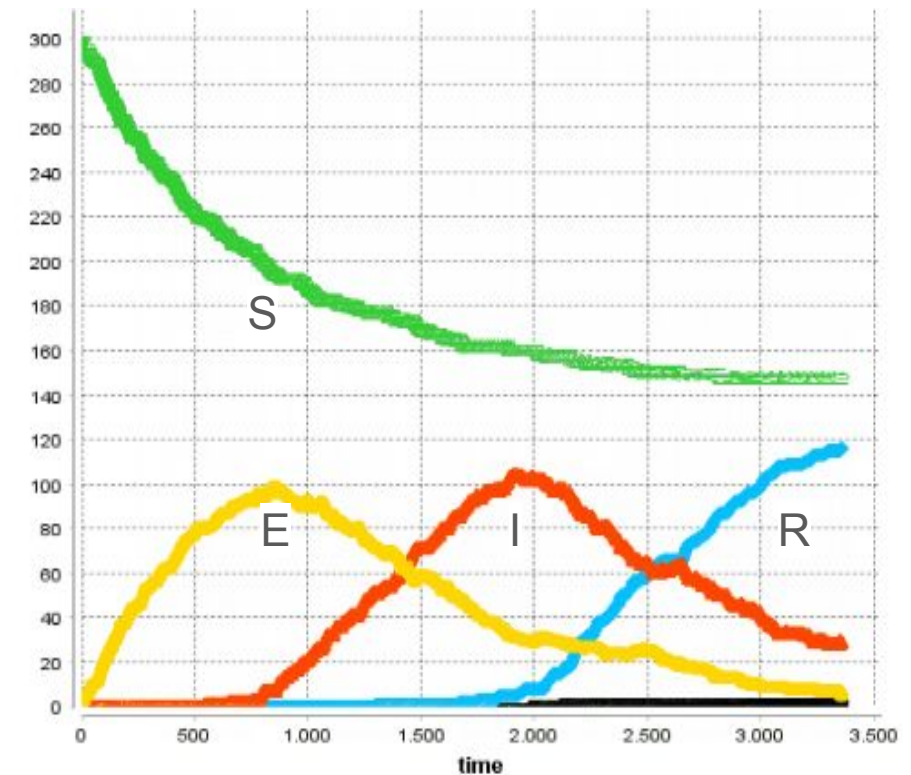
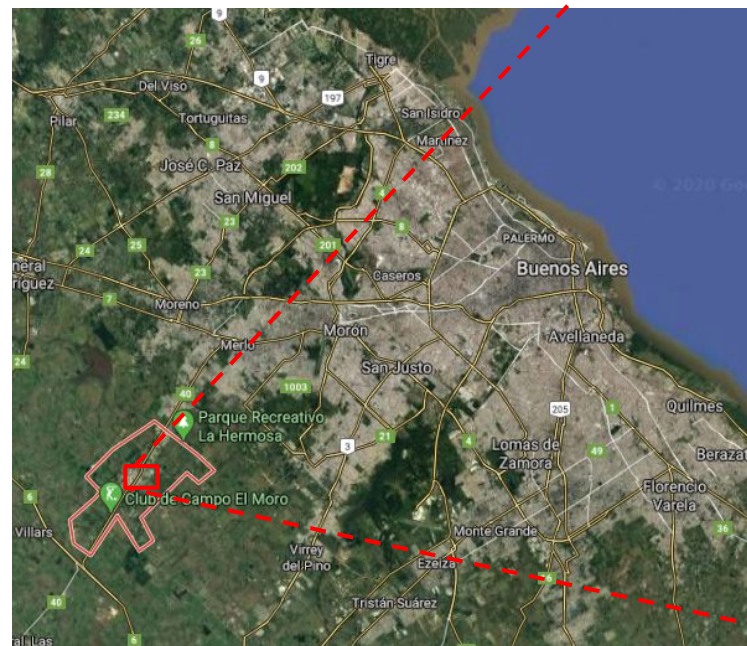
Ajustes, visualizaciones, simulaciones, proyecciones.



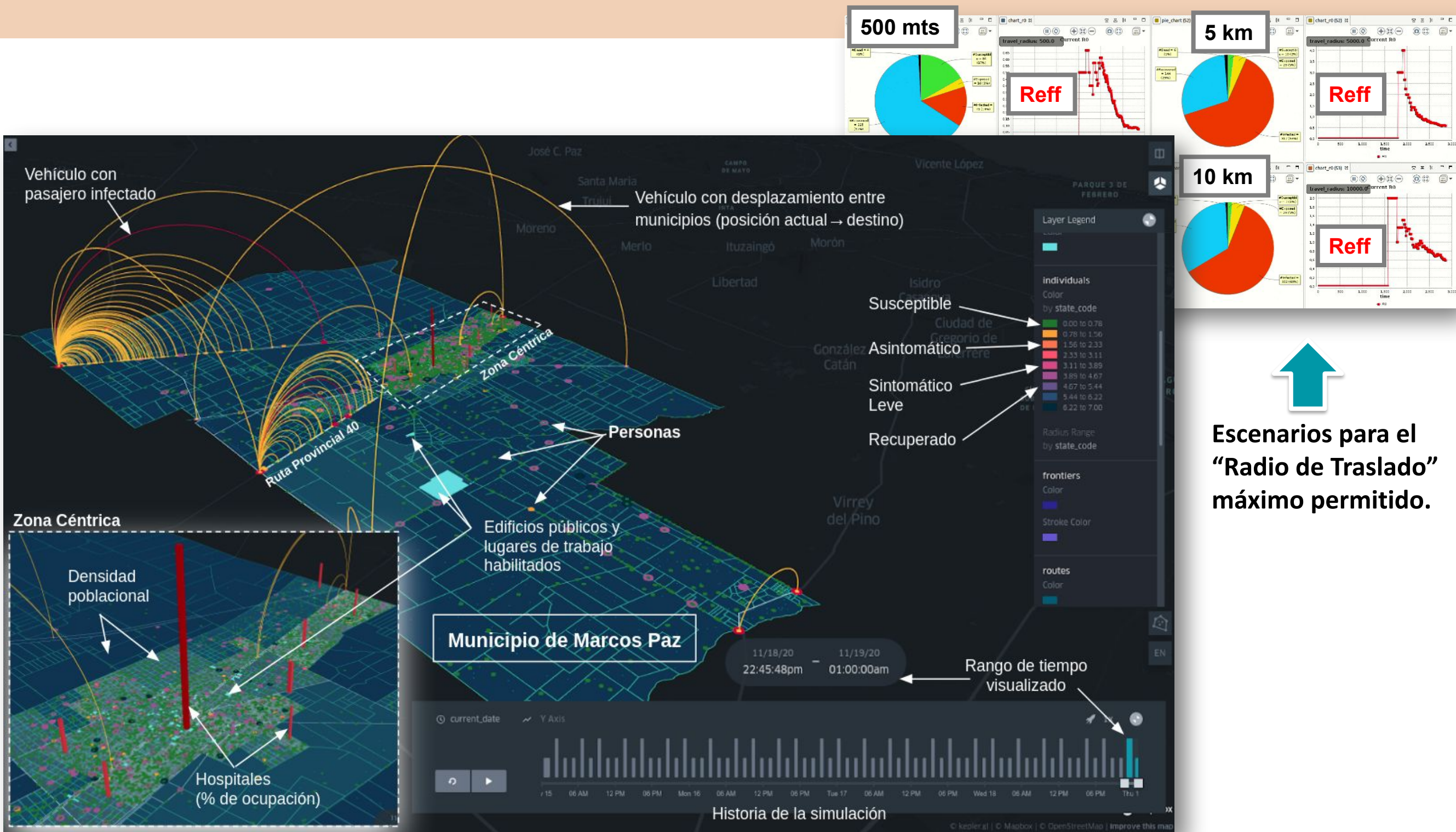
Microsimulación basada en agentes. Convenio con el Municipio de Marcos Paz.

- Modelo detallado. Considera:
 - 10 cohortes: 0-9, 10-19, ..., 90-99 años
 - Radio máximo de “paseo” = 2 km
 - Radio máximo de infección = 2 metros
 - Probabilidad de infección efectiva
- Infectados Sintomáticos y Asintomáticos
- Infección vía carga viral en edificios
- Densidad poblacional
- Indicadores de Calidad de Vida
- Conectividad vía Ruta 40

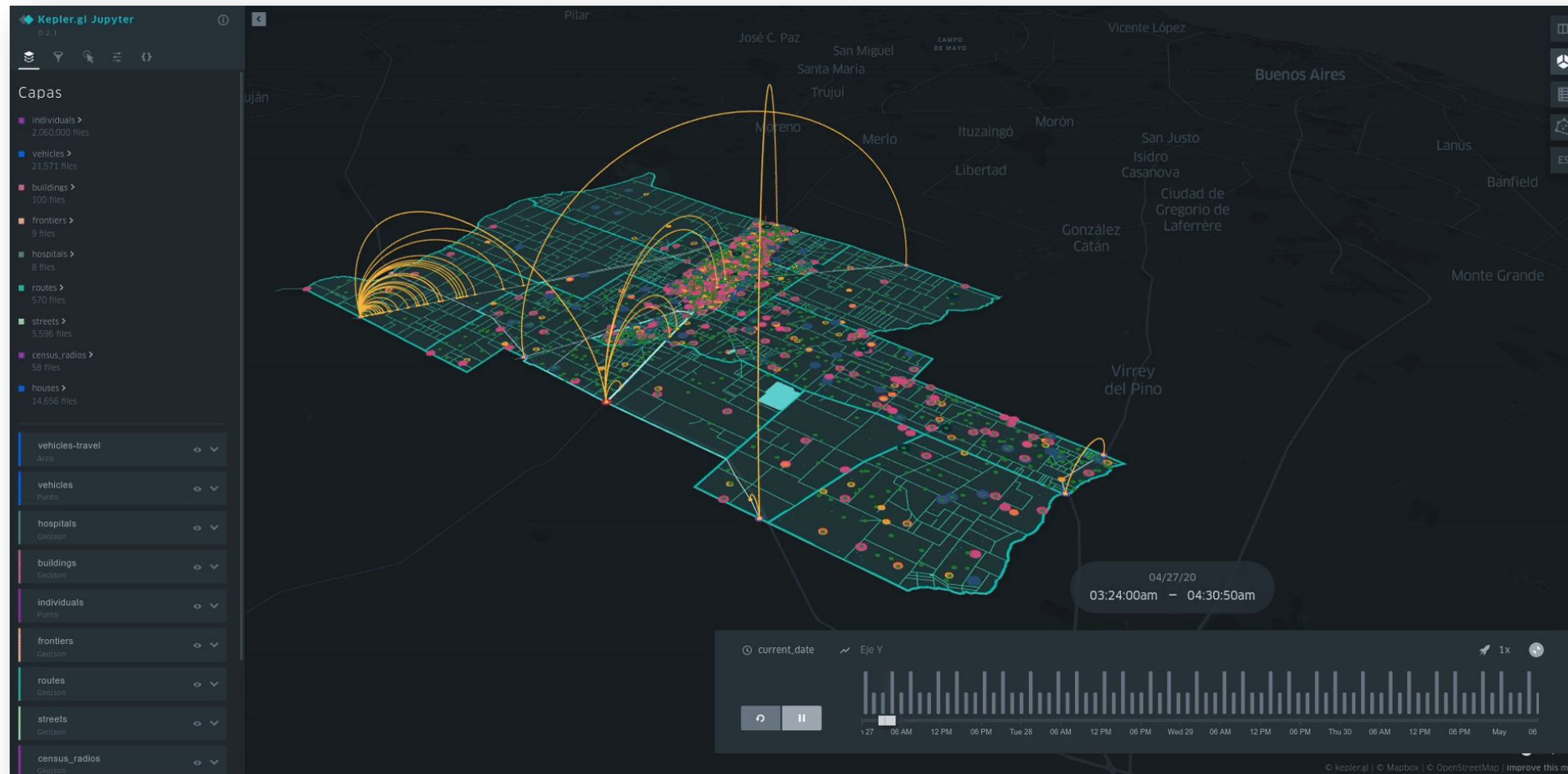
Zona Centro del Municipio de Marcos Paz



Simulación Espacial de Agentes. Municipio de Marcos Paz.

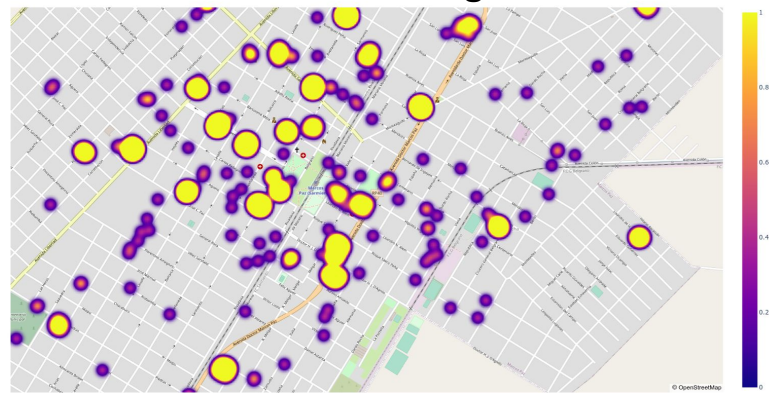


Simulación Espacial de Agentes. Municipio de Marcos Paz.

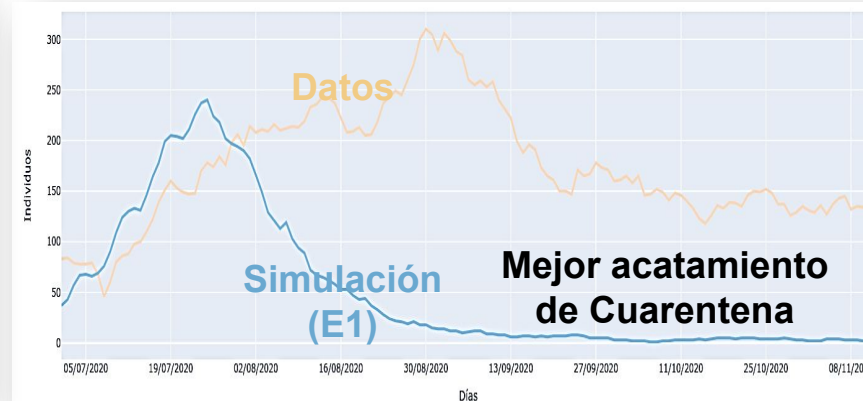


- Permite identificar dinámicas territoriales
- Permite identificar posibles estrategias de reordenamiento urbano
- Adaptación del flujo de movilidad de personas y vehículos en base a criterios relacionados con la evolución epidemiológica

Focos de Contagios



Infectados Detectados



Reflexiones sobre las experiencias en la producción colectiva de conocimiento

- No se hace interdisciplina de manera instantánea
- **COVID-19: un catalizador de dinámicas interdisciplinarias**
 - Tanto las buenas como malas
 - Grandes actitudes generosas, honestidad intelectual, despojo de vanidades
 - Mini actitudes refractarias, narcisismo disciplinar, delirios de grandeza
 - Es necesario co-pensar un sistema complejo multicausal como lo es una pandemia
- Carencia de canales maduros para facilitar el diálogo ciencia-política
- Tensión con **posturas científicas**: producción de **conocimiento transitorio y perfectible** para ofrecer **herramientas para la toma de decisiones**
 - Con impacto inmediato en término de vidas humanas
 - En tiempo limitado
 - Con recursos e información limitada
 - Con impacto de costo político
 - Influenciada por la comunicación pública
 - **Atravesada por la necesidad de aplicar el Principio Precautorio**

Conclusiones (1)

- La capacidad de **automatizar simulaciones** para barrer múltiples escenarios es una herramienta eficaz para lidiar con las **notables incertidumbres existentes**
 - En los parámetros de los modelos, y en los tipos de modelos que conviene usar
 - En los tipos de políticas públicas que puedan aplicarse
- Es posible dar respuestas consistentes (no predicciones) para la evaluación de **múltiples escenarios posibles**, y así poder aplicar **criterios de precaución** en la toma de decisiones para políticas públicas.
- Es posible dar mensajes claros acerca de **algunas opciones viables y otras opciones inviables**
 - Por ejemplo, para confrontar las siguientes falacias:
 - “busquemos inmunidad del rebaño sin acceso a vacuna”
 - “tuvimos una cuarentena exitosa, ya se puede terminar”
 - “estamos con $R > 1$ pero podemos salir a correr y a tomar cerveza, pero con cuidado”
 - “la curva bajó, ya llega la vacuna y ya se termina el año, covid ya fue”

Conclusiones (2)

- Covid-19 llevó al límite todas las relaciones sociotécnicas de nuestro mundo
 - La disciplina de la modelización matemática y la simulación computacional no fue una excepción
- Nos enfrentamos a un flujo frenético de nuevas preguntas, en un contexto de perplejidad
 - Nos esforzamos por ayudar a los responsables políticos a salvar vidas mediante decisiones mejor informadas
 - con la presión de dar respuestas en tiempos mucho más cortos de lo que estamos acostumbrados en ciencia

Conclusiones (3)

- **El lado positivo:**

- Varios grupos ya contaban con experiencia y herramientas listas para ser adaptadas a las necesidades
- También vimos un fuerte compromiso de estudiantes e investigadores para cambiar drásticamente sus líneas de trabajo y dedicarse a estudiar la pandemia

- **Entre los puntos negativos:**

- Estructuras gubernamentales inmaduras para articular resultados de la ciencia de datos, la modelización y la simulación con los y las responsables de las políticas públicas.
- El acceso oportuno a datos de calidad también fue un problema

- **Lección aprendida:**

- Es necesario fortalecer nuestras instituciones para proporcionar mejores mecanismos de articulación
 - cuando la necesidad va más allá de garantizar un flujo de publicaciones científicas, y requiere una rápida transferencia de conocimientos desde el laboratorio de Modelado y Simulación a la toma de decisiones

¡Gracias!

Interdisciplina Interinstitucional

Institutos CONICET:

- ICC-FCEyN/UBA
- IC-FCEyN/UBA
- IMAS-FCEyN/UBA
- IFIBYNE-FCEyN/UBA
- CIFASIS-UNR
- 3iA-UNSAM
- IT-UNSAM
- IECS



¡Gracias!

¿Preguntas?

En colaboración con

- Dr. Ezequiel Pecker-Marcosig
- Dr. Esteban Lanzarotti
- Dr. Lucio Santi
- Ing. Mariana Bergonzi
- Prof. Dr. Ernesto Kofman
- Prof. Dr. Daniel Feierstein
- Francisco Roslan
- Leandro Groisman

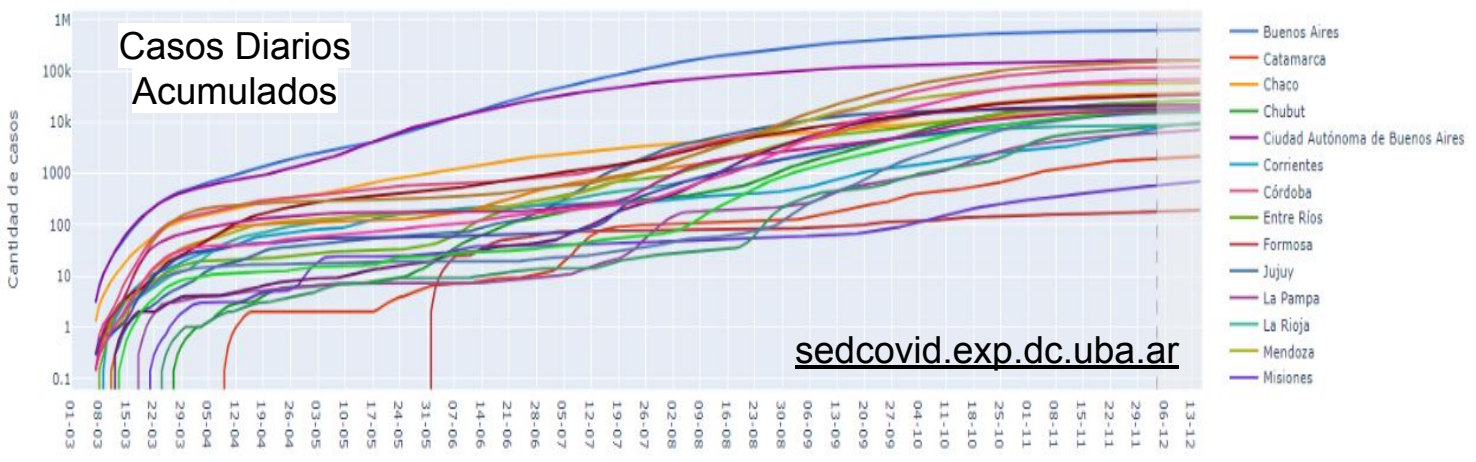
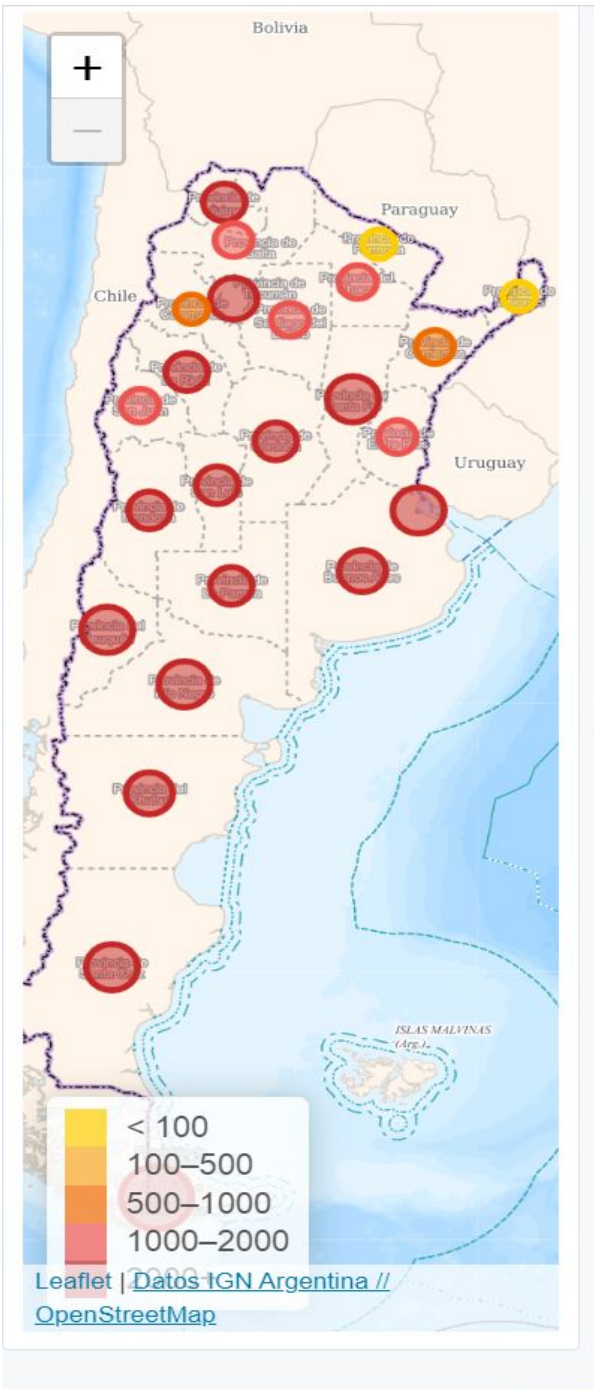
Rodrigo Castro, PhD
rcastro@dc.uba.ar

Laboratorio de Simulación de Eventos Discretos
<https://modsimu.exp.dc.uba.ar/>
Universidad de Buenos Aires, Argentina

Breve estado de situación en Argentina

(ejemplo: situación al 17/12/2020)

Casos c/100.000 hab



Confirmados **1517046** Importados **10548** Contactos **302498** Comunitarios **1083034**

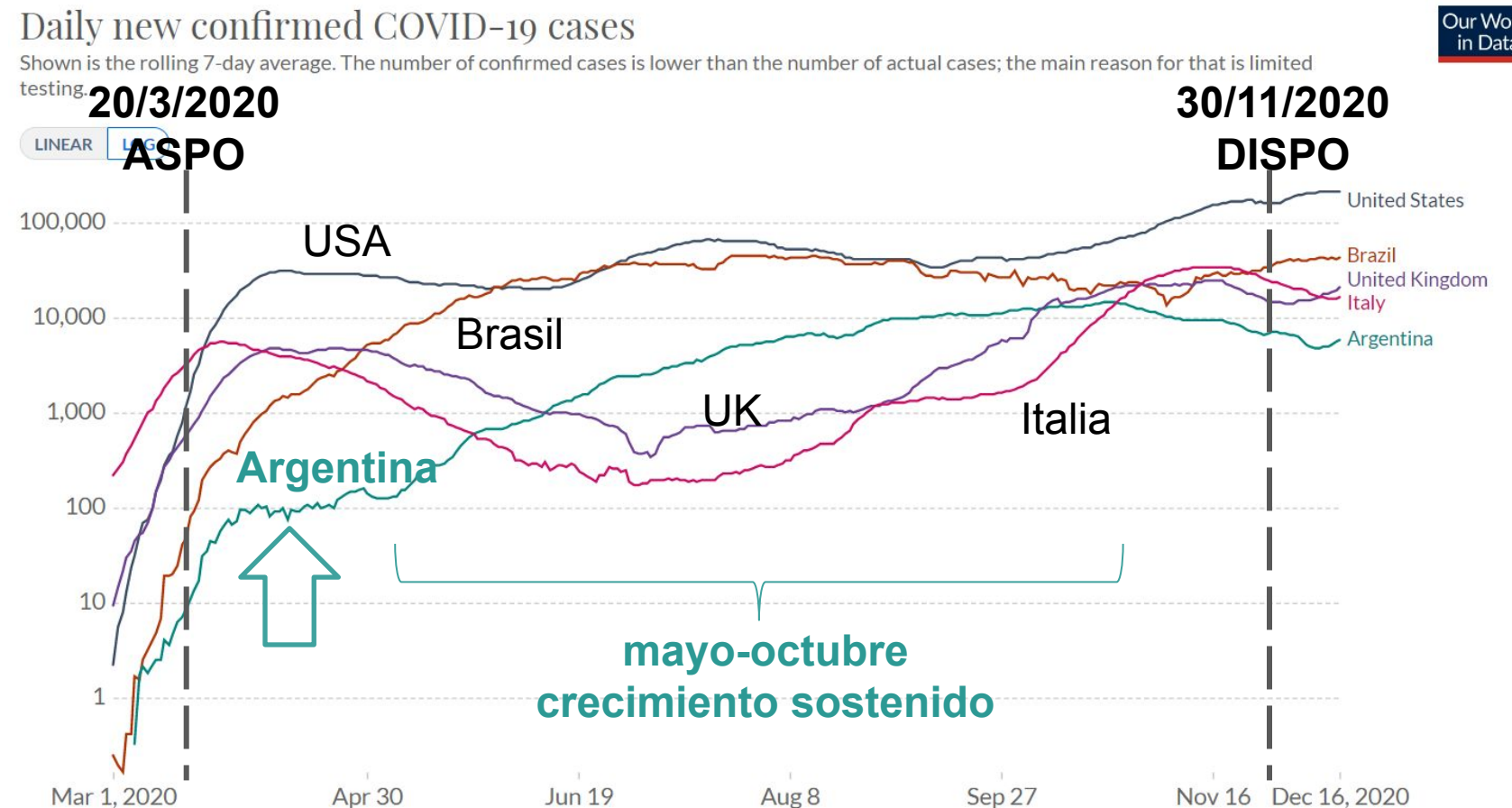
Fallecidos Totales **41365**



ABREVIATURA	CONFIRMADOS
BUE	644108
CABA	164102
SFE	163087
CBA	121029
TUC	69083
MZA	58674
NQN	37335
RNG	34881
CHU	27043
ERI	26169
CHA	22215
SAL	21732
SCR	19620
JUY	18460
TDF	17797
SGO	16625
SLU	15728
CTE	9907
SJU	9834
LRJ	8963
LPA	7494
CAT	2210
MIS	748
FOR	202

Breve estado de situación en Argentina

- 12/3 Cierre de espectáculos
- 12/3 Cuarentena de viajeros
- 15/3 Suspensión de fútbol y clases
- 16/3 Cierre de fronteras
- 20/3 Inicio ASPO
- 30/11 Inicio DISPO



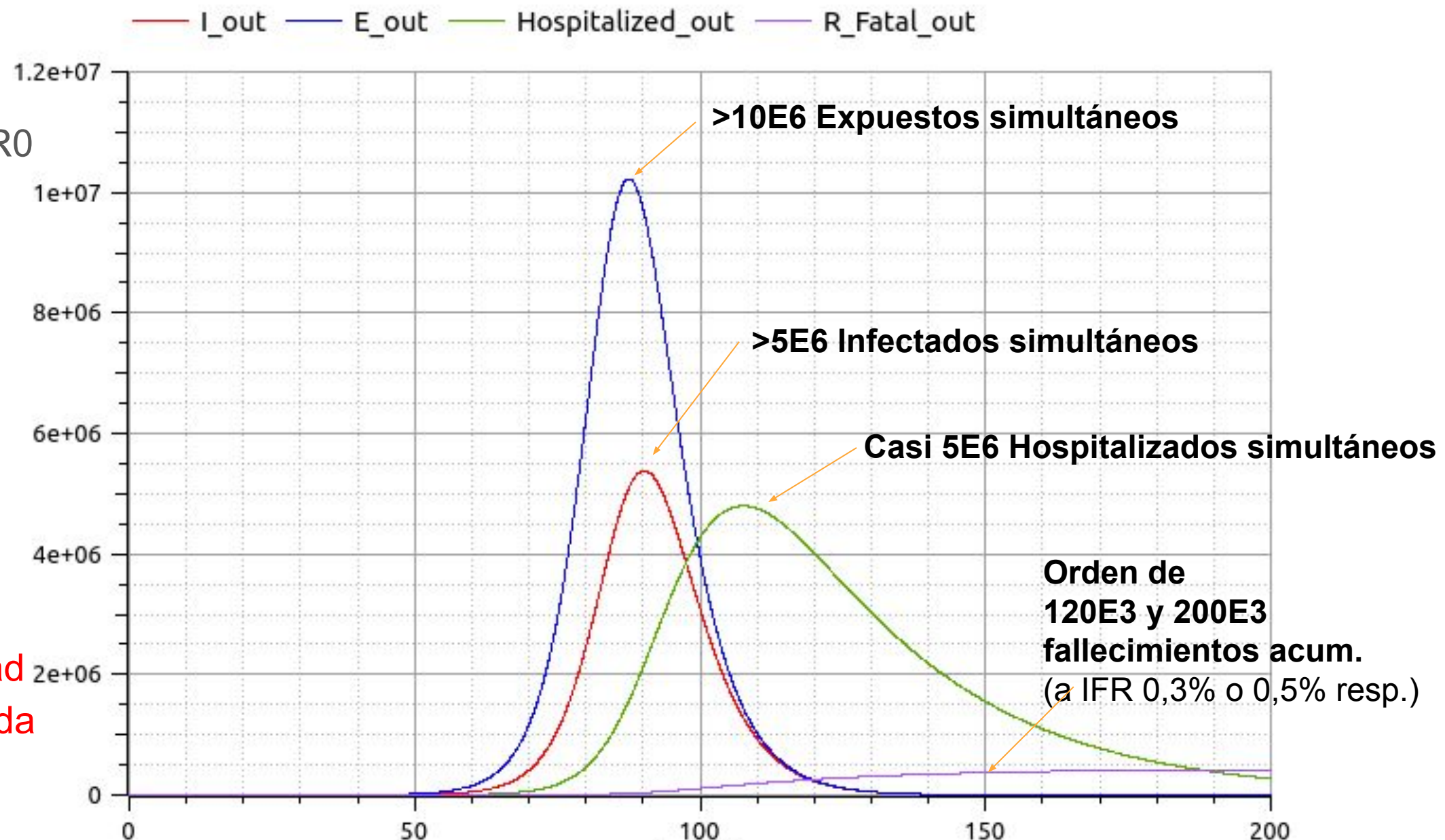
SEIR de Covid-19 para Argentina. Idealización “sin intervención” (evolución libre).

- Evolución “libre” con $R_0 \approx 3.34$. Ajuste para Argentina.

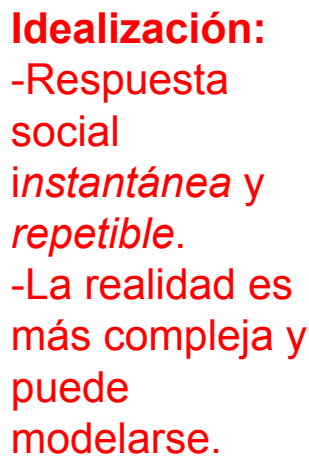
- Aproximación:
Mezcla
homogénea en R_0
de **importados**
($R_{0imp} \approx 5$) y
contactos
comunitarios
($R_{0com} \approx 3$)

- Proyección
cualitativa
“de referencia”

- **Ninguna sociedad**
“se queda sentada
esperando que
llegue el pico”



- Existen resultados matemáticos bien conocidos que establecen límites dentro de los cuales esta estrategia puede (o no) ser efectiva.
- Ejemplo: Las frecuencias de las intervenciones de control están limitadas superiormente por la frecuencia característica del sistema a controlar. **El R efectivo resultante debe ser $R < 1$.**



Alternativa: Modelo SEIRD a Tiempo Discreto y con Retardos Explícitos

Mariana Bergonzi

CIFASIS-CONICET, FCEIA-UNR
Rosario, Argentina
bergonzi@cifasis-conicet.gov.ar

Ezequiel Pecker-Marcosig

ICC-CONICET, FI-UBA
Buenos Aires, Argentina
emarcosig@dc.uba.ar

Ernesto Kofman

CIFASIS-CONICET, FCEIA-UNR
Rosario, Argentina
kofman@cifasis-conicet.gov.ar

Rodrigo Castro

ICC-CONICET, FCEyN-UBA
Buenos Aires, Argentina
rcastro@dc.uba.ar

IEEE Xplore® Browse ▾ My Settings ▾ Help ▾ Institutional Sign In

All ▾

Journals & Magazines > Computing in Science & Engine... > Early Access ⓘ

Discrete-Time Modeling of COVID-19 Propagation in Argentina with Explicit Delays

Publisher: IEEE Cite This PDF

Mariana Bergonzi ; Ezequiel Pecker-Marcosig ; Ernesto Kofman ; Rodrigo Daniel Castro

Free

Abstract

Abstract:
We present a new deterministic discrete time compartmental model that includes relevant delays related to the stages of the disease, its distribution, and the presence of imported cases. In addition to developing a parameter fitting mechanism using official data on the spread of the disease, the model consistently reflects the behaviour of the disease with respect to the incubation period, report of cases (confirmed and dead) and allows for the estimation of the reproductive number and in the mortality factor. We also present simulation results assuming different future scenarios. We include a usage of the model in a closed loop control scheme, where the explicit presence of delays plays a key role in projecting more realistic dynamics than that of classic continuous time models

$$\begin{aligned}N^E(t+1) &= \beta(t) \cdot I(t) \cdot S(t) + U(t+1)/d_f \\S(t+1) &= S(t) - \beta(t) \cdot I(t) \cdot S(t) \\E(t+1) &= E(t) + N^E(t+1) \\&\quad - N^E(t+1 - \tau_I) \\I(t+1) &= I(t) + N^E(t+1 - \tau_I) \\&\quad - N^E(t+1 - \tau_R) \\R(t+1) &= R(t) + N^E(t+1 - \tau_R)\end{aligned}$$

<https://doi.org/10.1109/MCSE.2020.3040700>

Alternativa: Modelo SEIRD a Tiempo Discreto y con Retardos Explícitos

the number of *Daily Exposed* people in the last T days: $N^E(t), N^E(t-1), \dots, N^E(t-T)$, where T is the maximum delay in the model.

Imported

$$N^E(t+1) = \beta(t) \cdot I(t) \cdot S(t) + U(t+1)/d_f$$

$$S(t+1) = S(t) - \beta(t) \cdot I(t) \cdot S(t)$$

$$E(t+1) = E(t) + N^E(t+1)$$

$$- N^E(t+1 - \tau_I)$$

$$I(t+1) = I(t) + N^E(t+1 - \tau_I)$$

$$- N^E(t+1 - \tau_R)$$

$$R(t+1) = R(t) + N^E(t+1 - \tau_R)$$

$$D(t+1) = D(t) + (c_{fr} \cdot d_f) \cdot N^E(t+1 - \tau_M)$$

$$I_D(t+1) = I_D(t) + d_f \cdot N^E(t+1 - \tau_D)$$

From data

**Infected
Detected**

$$\beta(t) = R_0(t) / (\tau_R - \tau_I) \quad \text{Infection rate}$$

$S(t)$: Susceptible population

$E(t)$: Exposed population

$I(t)$: Infectious population

$R(t)$: Removed population

$D(t)$: Dead population

Alternativa: Modelo SEIRD a Tiempo Discreto y con Retardos Explícitos

the number of *Daily Exposed* people in the last T days: $N^E(t), N^E(t-1), \dots, N^E(t-T)$, where T is the maximum delay in the model.

$$N^E(t+1) = \beta(t) \cdot I(t) \cdot S(t) + \text{Imported } U(t+1)/d_f$$

$$S(t+1) = S(t) - \beta(t) \cdot I(t) \cdot S(t)$$

$$E(t+1) = E(t) + N^E(t+1)$$

$$- N^E(t+1 - \tau_I)$$

$$I(t+1) = I(t) + N^E(t+1 - \tau_I)$$

$$- N^E(t+1 - \tau_R)$$

$$R(t+1) = R(t) + N^E(t+1 - \tau_R)$$

$$D(t+1) = D(t) + (c_{fr} \cdot d_f) \cdot N^E(t+1 - \tau_M)$$

$$I_D(t+1) = I_D(t) + d_f \cdot N^E(t+1 - \tau_D)$$

**Infected
Detected**

**From
data**

$$\beta(t) = R_0(t) / (\tau_R - \tau_I) \quad \text{Infection rate}$$

› τ_I : Latent Time: The time elapsed since an individual is exposed until becoming infectious.

› τ_R : Removal Time. The time elapsed since an individual is exposed until he or she no longer infects others. Notice that $\tau_R - \tau_I = \tau_{Inf}$ is the duration of the infectious period. This time depends not only on the time it takes to reduce the virus load, but also on the policies applied to isolate individuals after detecting or suspecting the possibility of infection.

› d_f : Diagnostic Factor. The fraction of positive cases that are eventually diagnosed. Notice that this value depends on testing and diagnosis policies.

› $c_{fr}(t)$: Case Fatality Rate: The fraction of confirmed cases that eventually die. We assume that c_{fr} may change over time.

› τ_D : Diagnosis Time: Time elapsed since exposure until diagnosis. This delay depends not only on biological features (such as symptoms onset) but also on testing and reporting policies.

› τ_M : Time of Death: Time elapsed since exposure until death.

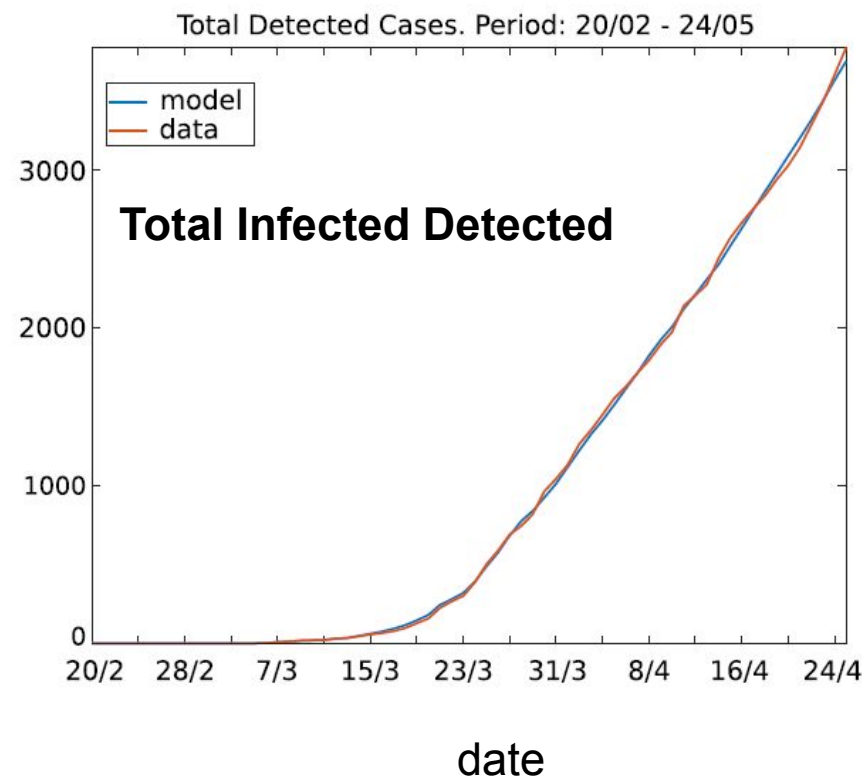
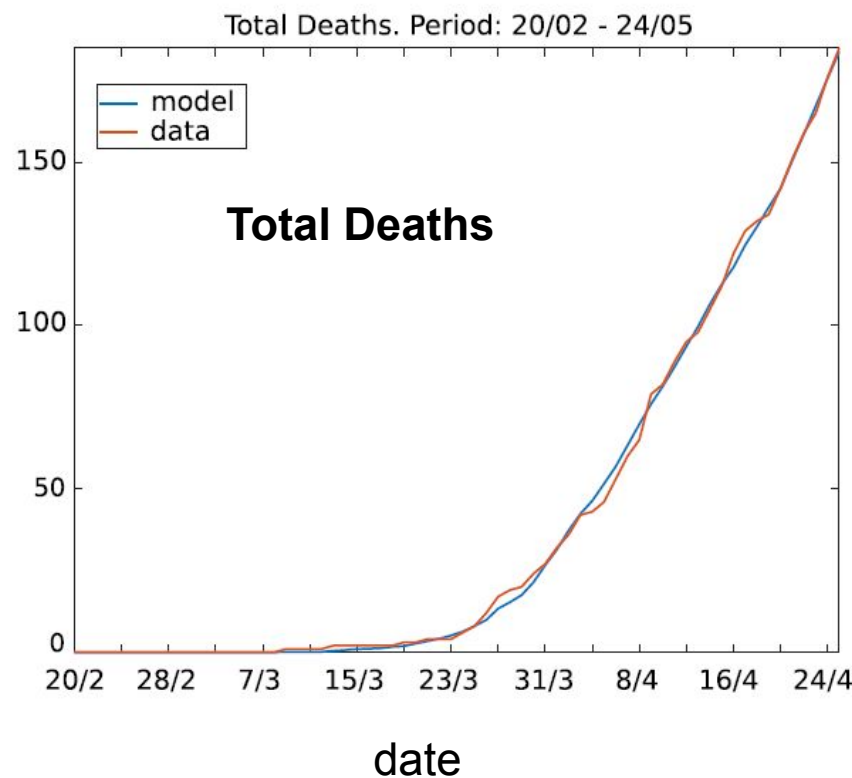
Delays

Delays

SEIRD a Tiempo Discreto y Retardos. Ajuste de Parámetros.

delays $\tau_I = 5$, $\tau_D = 11$, $\tau_R = 12$, and $\tau_M = 17$, minimize the quadratic cost

$$\|x_{\text{data}} - x_{\text{sim}}\| / \|x_{\text{data}}\| = 0.0613$$



2 months period

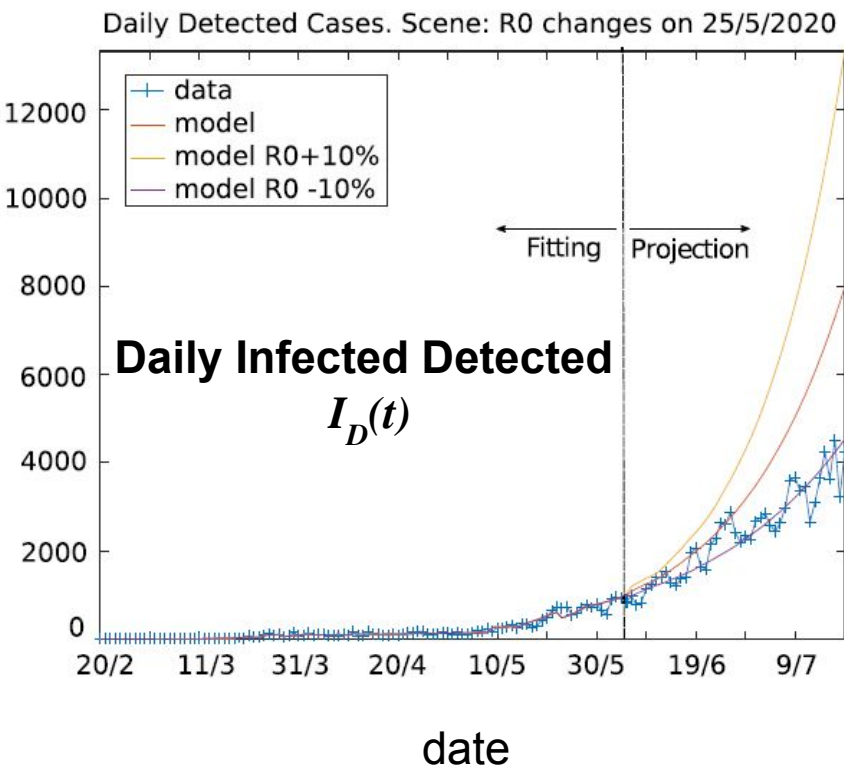
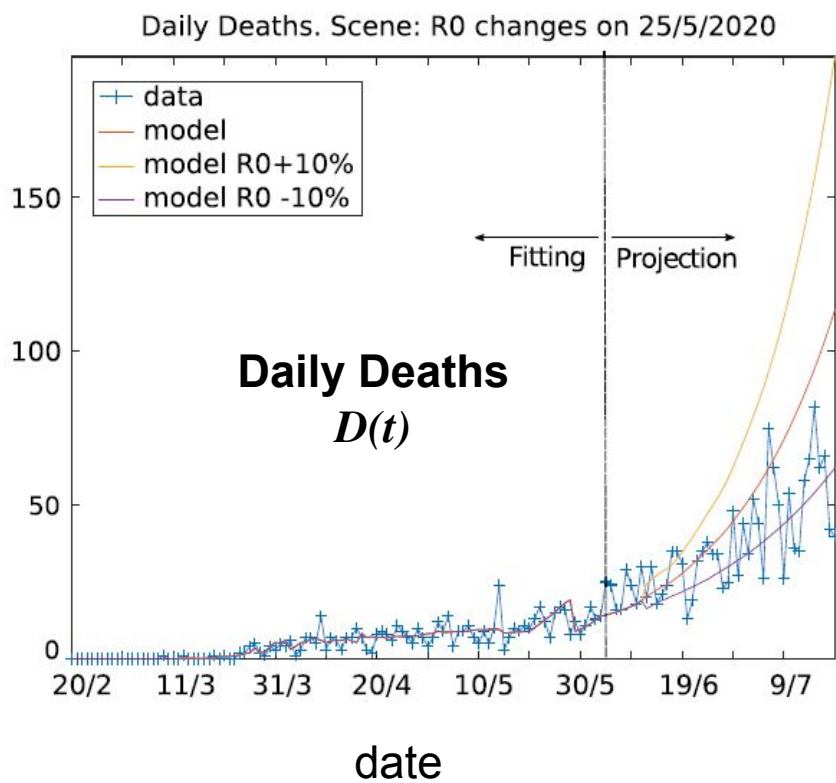
$$R_0(t) = \begin{cases} 2.267 & t < 17/3 \\ 0.886 & 17/3 \leq t < 3/4 \\ 1.104 & t \geq 3/4 \end{cases}$$

$$c_{\text{fr}}(t) = \begin{cases} 0.054 & t < 17/3 \\ 0.061 & 17/3 \leq t < 3/4 \\ 0.072 & t \geq 3/4 \end{cases}$$

SEIRD a Tiempo Discreto y Retardos. Proyecciones.

delays $\tau_I = 5, \tau_D = 11, \tau_R = 12$, and $\tau_M = 17$, minimize the quadratic cost

$$\|x_{\text{data}} - x_{\text{sim}}\| / \|x_{\text{data}}\| = 0.015$$



$$R_0(t) = \begin{cases} 2.396 & t < 16/3 \\ 0.898 & 16/3 \leq t < 29/3 \\ 1.051 & 30/3 \leq t < 12/4 \\ 1.078 & 13/4 \leq t < 26/4 \\ 2.042 & 27/4 \leq t < 10/5 \\ 1.523 & t \geq 11/5 \end{cases}$$

$$c_{\text{fr}}(t) = \begin{cases} 0.054 & t < 16/3 \\ 0.061 & 16/3 \leq t < 29/3 \\ 0.064 & 30/3 \leq t < 12/4 \\ 0.068 & 13/4 \leq t < 26/4 \\ 0.031 & 27/4 \leq t < 10/5 \\ 0.018 & t \geq 11/5 \end{cases}$$

5 months period

Adjusted every 2 weeks

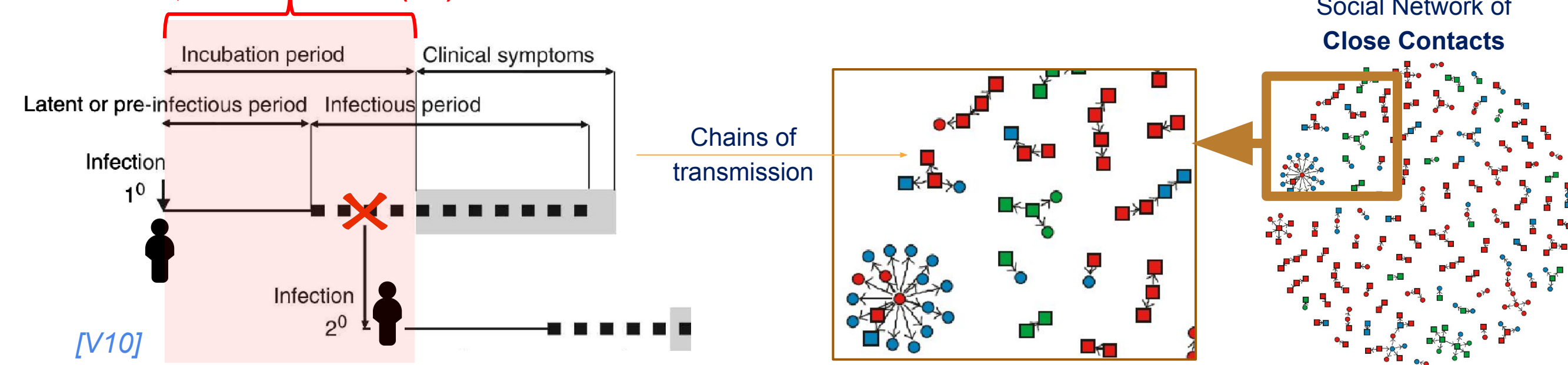
Example 1)
**Contact Tracing Interventions and
Shared Space-Driven Contagions**

Example 1) Contact Tracing and Shared Space-Driven Contagions

- Known facts about Covid-19:

- Infectious period starts before symptoms (for symptomatic cases)
- The main driver for contagions is indoor airborne transmission

Window of Opportunity to
Test, Trace and Isolate (TTI)



- Research question:

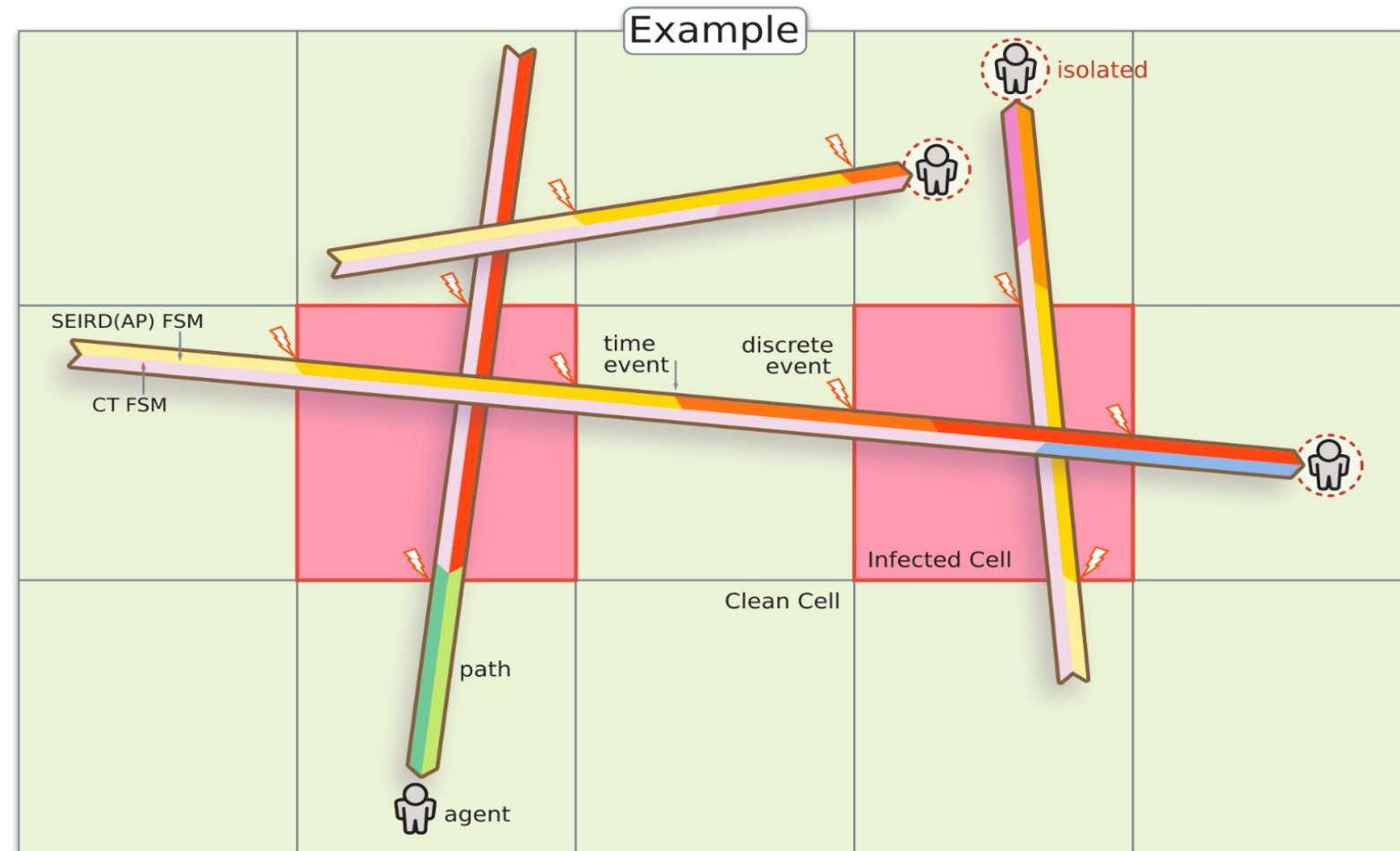
- How to make a **smart use of the limited resources available** for contact tracing?

- Approach:

- Agent-based simulation at the individual scale. Combine: **top-down** strategies (contact tracing) with **bottom-up** emergent phenomena (contagion networks)

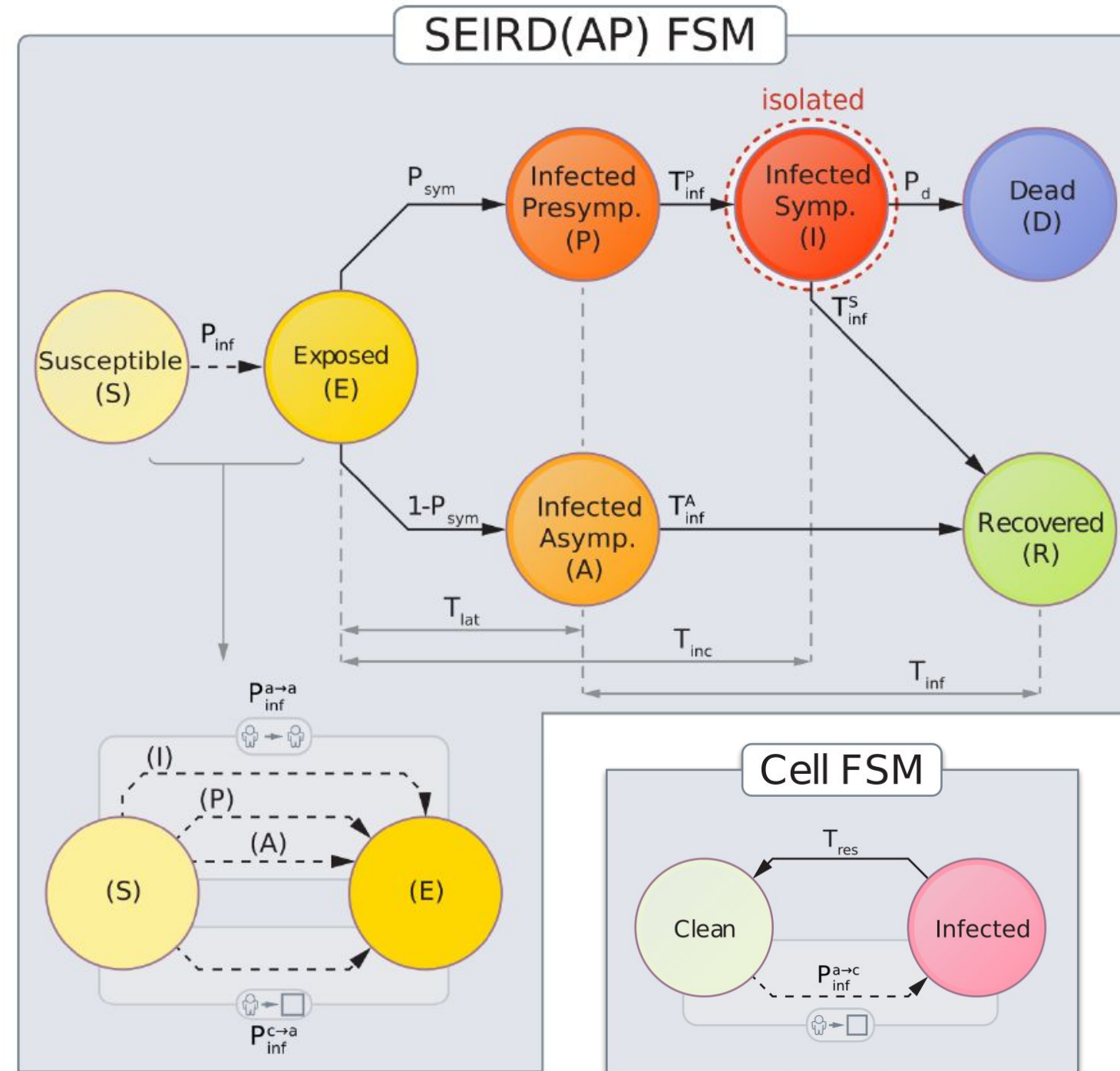
Example 1) Modeling of airborne transmission in shared spaces

- Combine discrete (time- or state-) events with continuous dynamics
- Agents:** move in a 2D grid (kinematic laws of motion)
- Cells:** **clean** or **infected** shared spaces
- Multiple **interacting FSMs**
 - Agent epidemic states: **SEIRD(AP) FSM**
 - Agent Contact Tracing states: **CT FSM**
 - Cell states: **Cell FSM**



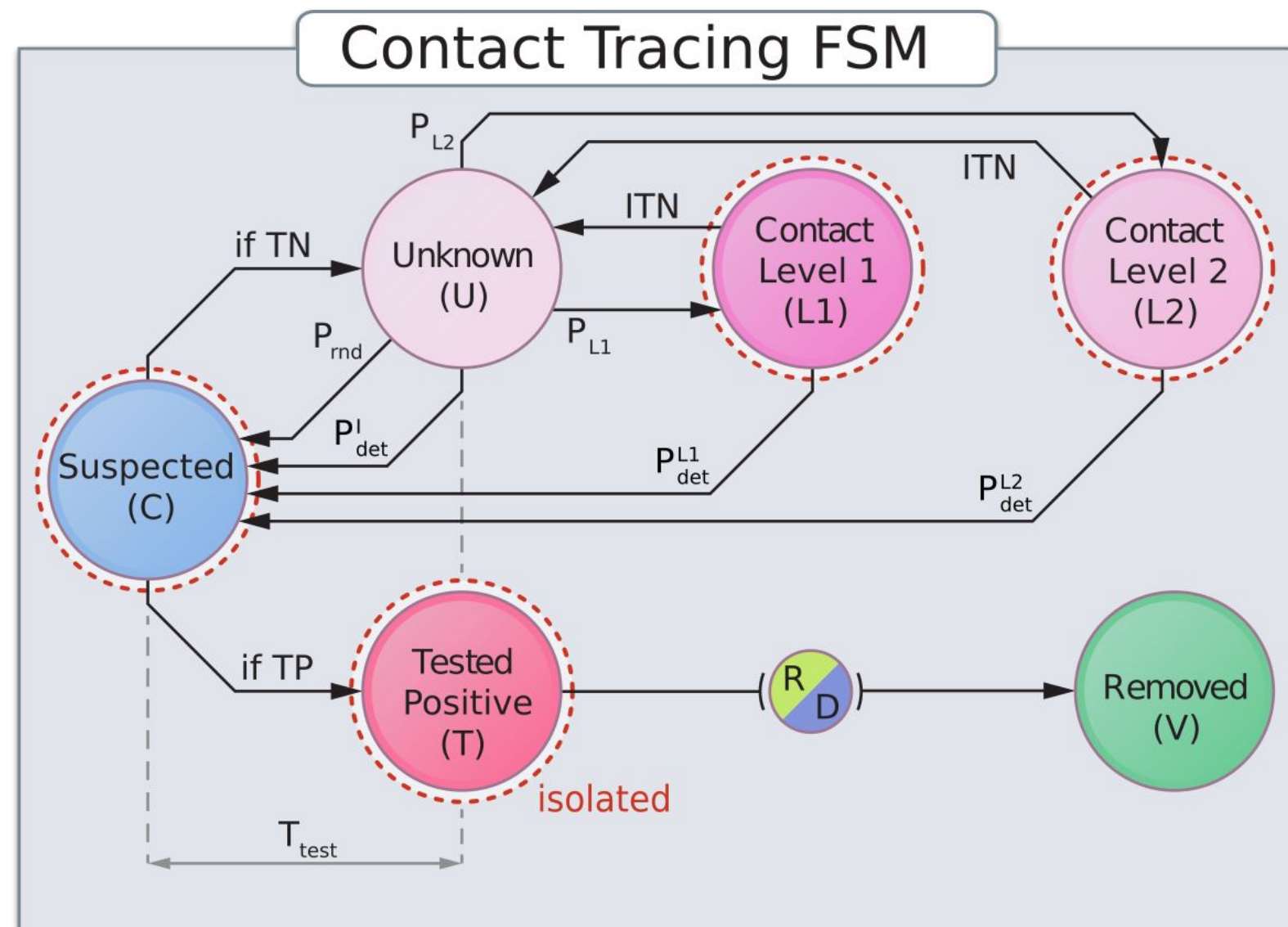
Example 1) Agent epidemic states and shared space states

- SEIRD(AP) FSM defines epidemic agent states
- Besides the SEIR states, agents also feature Asymptomatic and Presymptomatic states
- Cells have **Clean** and **Infected** states.
 - they can **infect agents** when they are in **Infected** state



Example 1) Intervention strategies: Contact Tracing

- Two contact levels:
 - Level 1 (L1)
(contact of index case)
 - Level 2 (L2)
(contact of a contact)
- Agent gets **isolated** if:
 - Suspected
 - Tested Positive
 - Level 1
 - Level 2



- TP: Tested Positive
- TN: Tested Negative
- ITN: Index Case Tested Negative

Example 1) The overall picture

Proceedings of the 2021 Winter Simulation Conference
S. Kim, B. Feng, K. Smith, S. Masoud, Z. Zheng, C. Szabo, and M. Loper, eds.

A MULTI-ASPECT AGENT-BASED MODEL OF COVID-19: DISEASE DYNAMICS, CONTACT TRACING INTERVENTIONS AND SHARED SPACE-DRIVEN CONTAGIONS

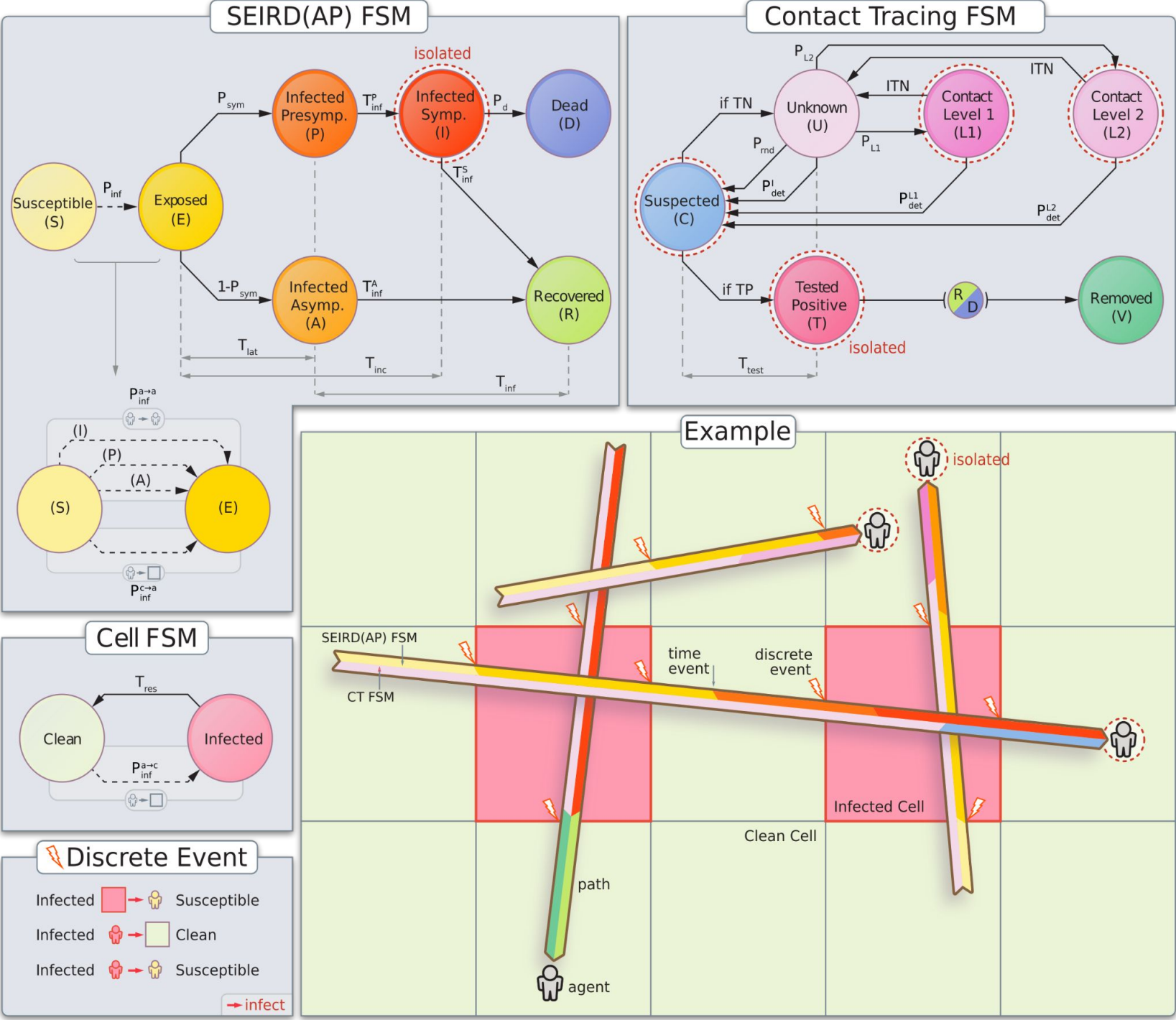
Esteban Lanzarotti
Lucio Santi
Rodrigo Castro

ICC-CONICET
FCEyN, UBA
Ciudad Universitaria, Pabellón 1
C1428EGA, Buenos Aires, ARGENTINA

Francisco Roslan
Leandro Groisman

Departamento de Computación
FCEyN, UBA
Ciudad Universitaria, Pabellón 1
C1428EGA, Buenos Aires, ARGENTINA

<https://doi.org/10.1109/WSC52266.2021.9715445>



Example 1) Equation-Based Modeling with Modelica

```
...  
equation  
  
for i in 1:N loop  
  
    // Movement in the x-y plane  
    der(x[i]) = vx[i];  
    der(y[i]) = vy[i];  
  
    // No acceleration  
    der(vx[i]) = 0;  
    der(vy[i]) = 0;  
  
end for;  
...
```

Define **equations** for each agent
Modelica ***equation*** section



2D laws of motion of particles
Classical mechanics
Velocity = d/dt (Position)



retQSS (reticulated Quantized State Systems) framework for Modelica

- Functions: `particle_nextCrossingTime()`, `onNextCross()`, `onExposition()`, ...

Time arrays: `expositionTime`, `infectionStartTime`, ...

```
...
algorithm

for i in 1:N loop
  // Agent: enters a new cell
  when time > particle_nextCrossingTime(i, ...) then
    (expositionTime, ...) := onNextCross(i,time, ...);
  end when;

  // Agent: changes to Exposed state
  when time > expositionTime[i] then
    infectionStartTime[i] := onExposition(i,time,...);
  end when;
  ...
end for;
```

Define
Discrete Events
for each agent

Spatial
Discrete Event
(state event)

Epidemiological
Discrete Event
(time event)

[S22] Santi, L., Fernández, J., Kofman, E., Castro, R. 2022. retQSS: A novel methodology for efficient modeling and simulation of particle systems In reticulated geometries. Computer Physics Communications, 270, 108157.

retQSS (reticulated Quantized State Systems) framework for Modelica

- Discrete Event modeling with **retQSS**
- Express all types of *events* (*state or time*) as *time events* (a collection of clocks and actions)

...

algorithm

for i in 1:N loop

// Agent: enters a new cell



```
when time > particle_nextCrossingTime(i, ...) then  
    (expositionTime, ...) := onNextCross(i, time, ...);  
end when;
```

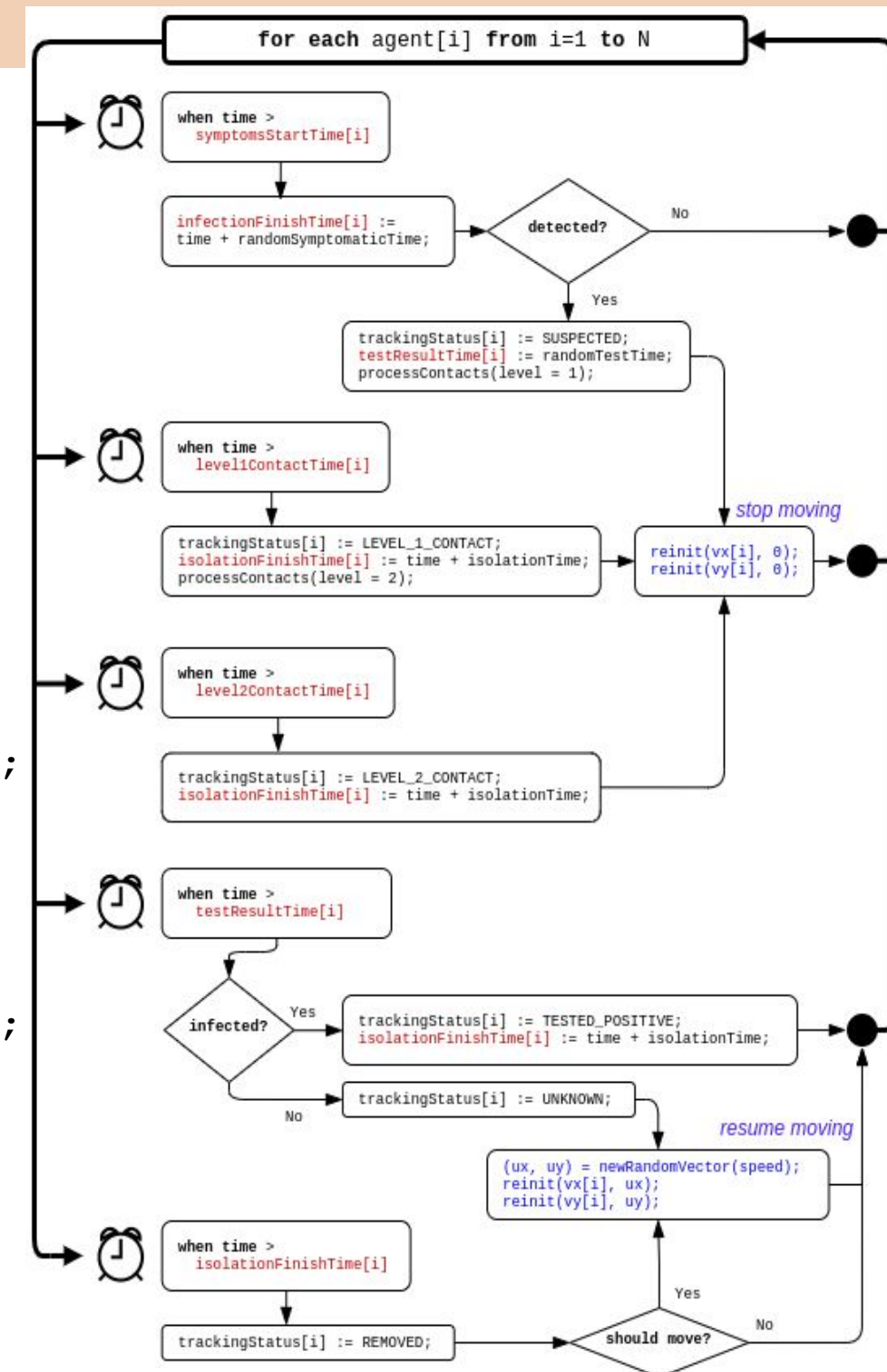
// Agent: changes to Exposed state



```
when time > expositionTime[i] then  
    infectionStartTime[i] := onExposition(i, time, ...);  
end when;
```

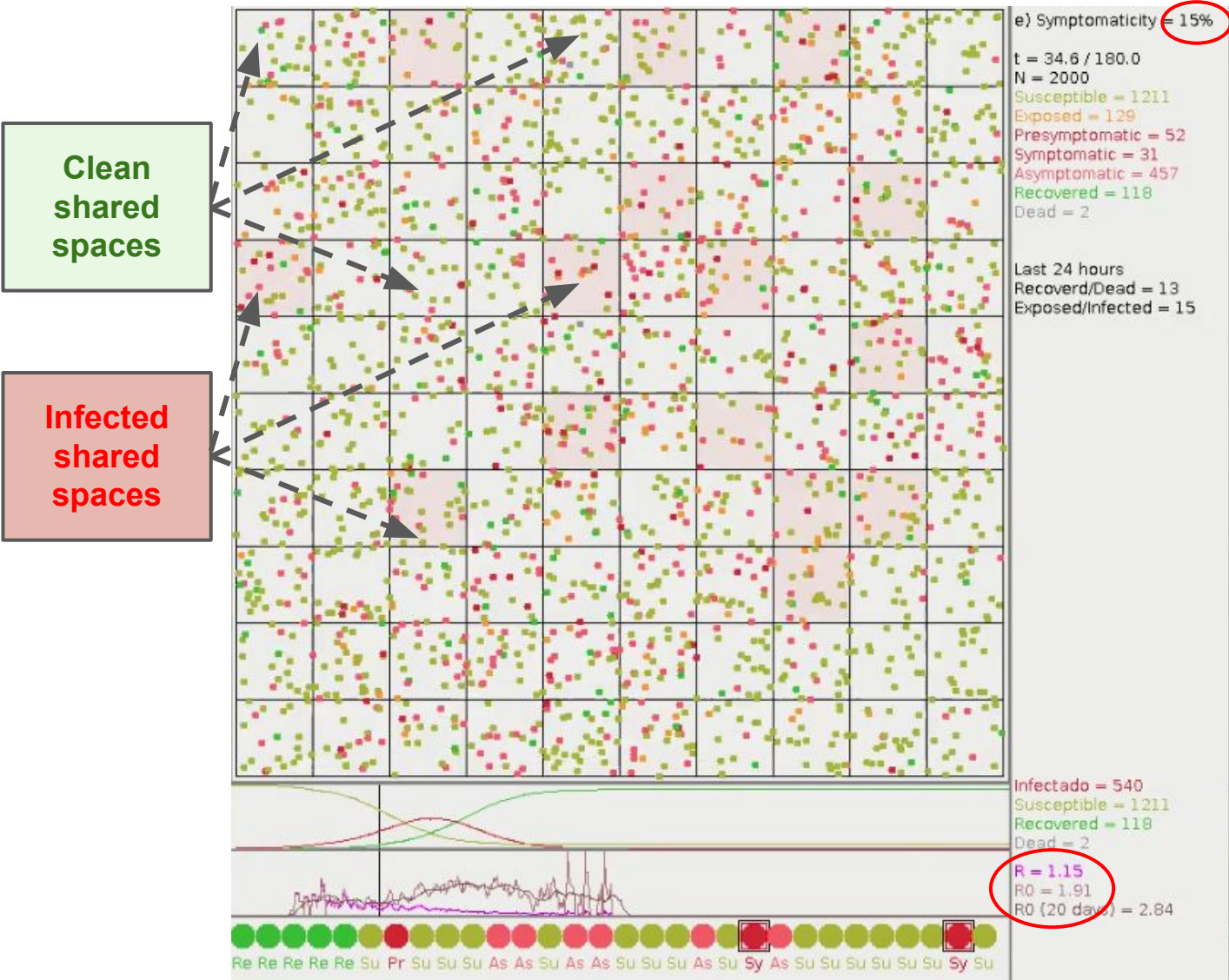
...

end for;



Example scenarios

Scenario 1 - Low symptomaticity



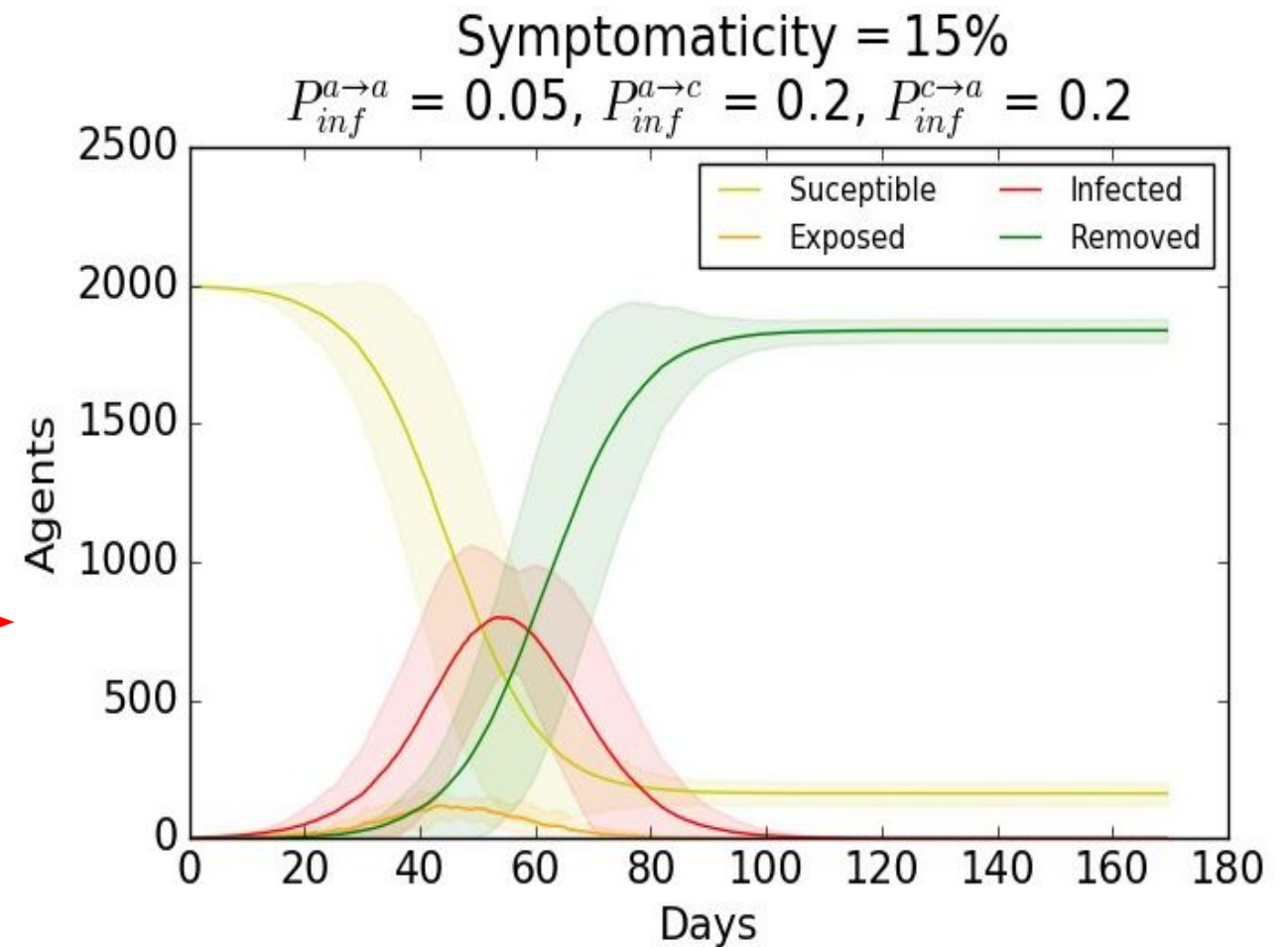
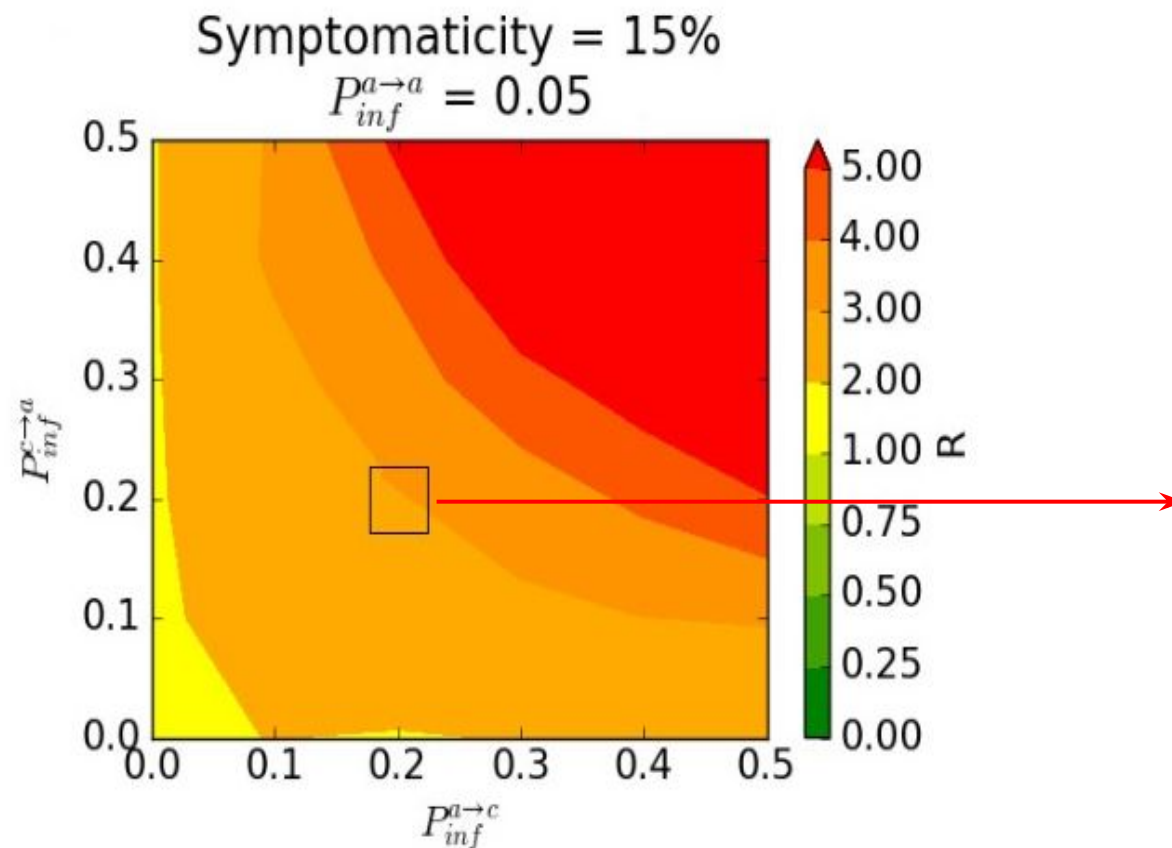
Scenario 2 - High symptomaticity



Parameter Sweeping: Infection Probabilities

- $P^{c \rightarrow a}$: cell to agent
- $P^{a \rightarrow c}$: agent to cell
- $P^{a \rightarrow a}$: agent to agent
- R: Average Reproductive number

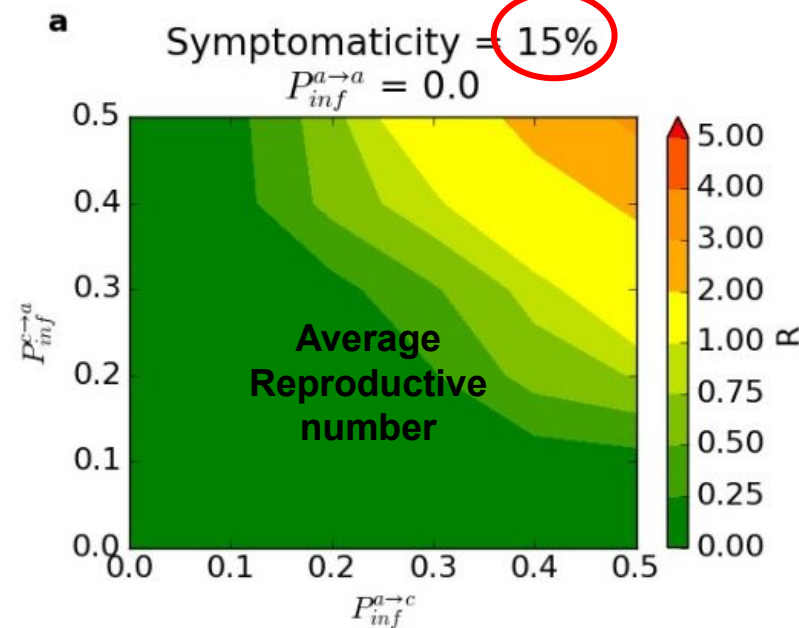
Average reproductive number (R)



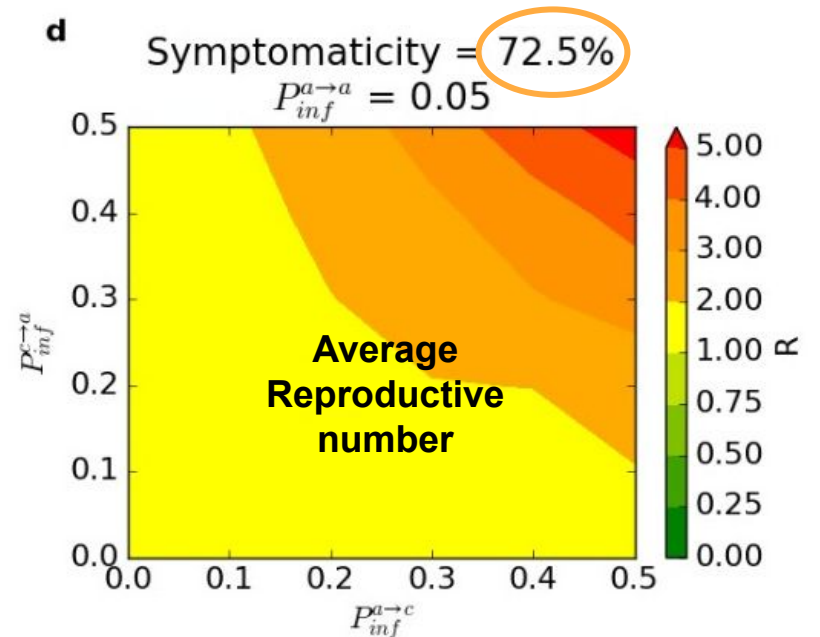
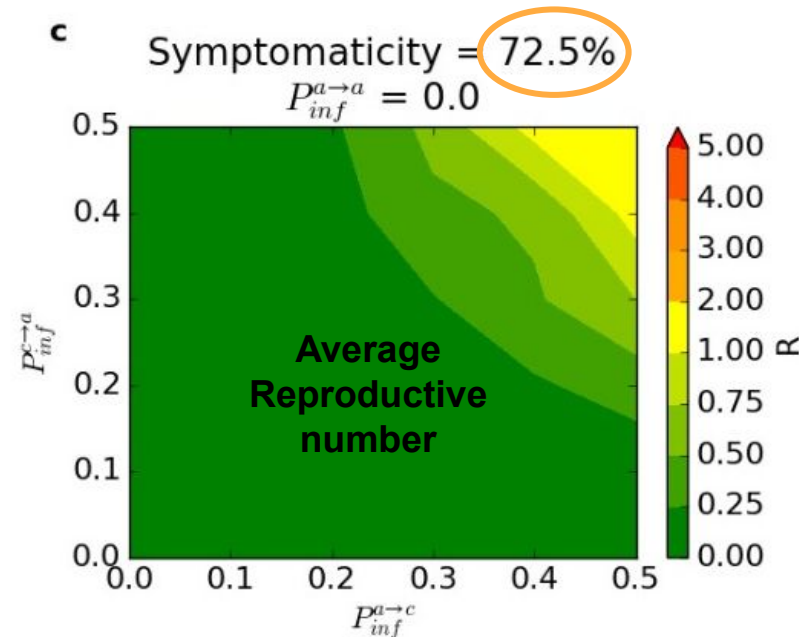
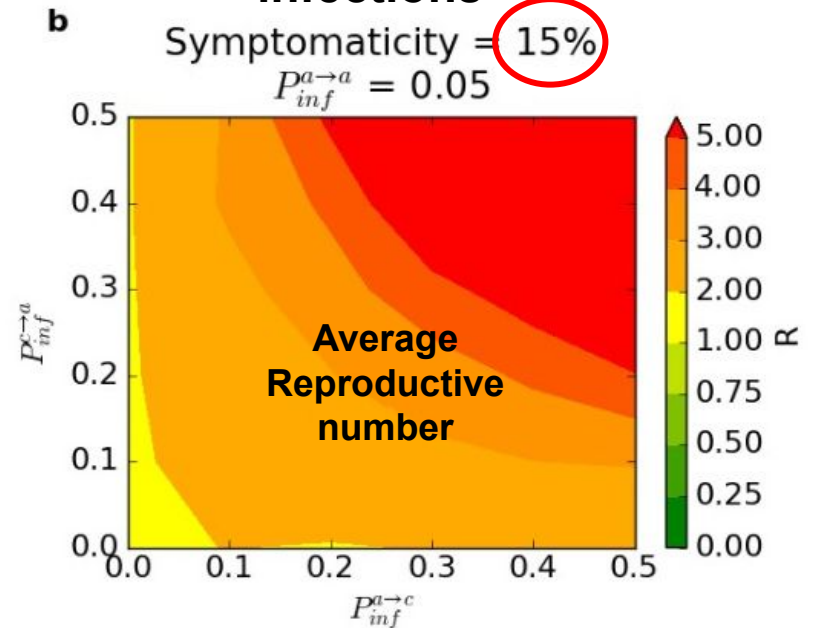
Analysis 1: Different levels of symptomaticity

- $P^{c \rightarrow a}$: cell to agent
- $P^{a \rightarrow c}$: agent to cell
- $P^{a \rightarrow a}$: agent to agent
- R: Average Reproductive number

No direct agent-to-agent infections



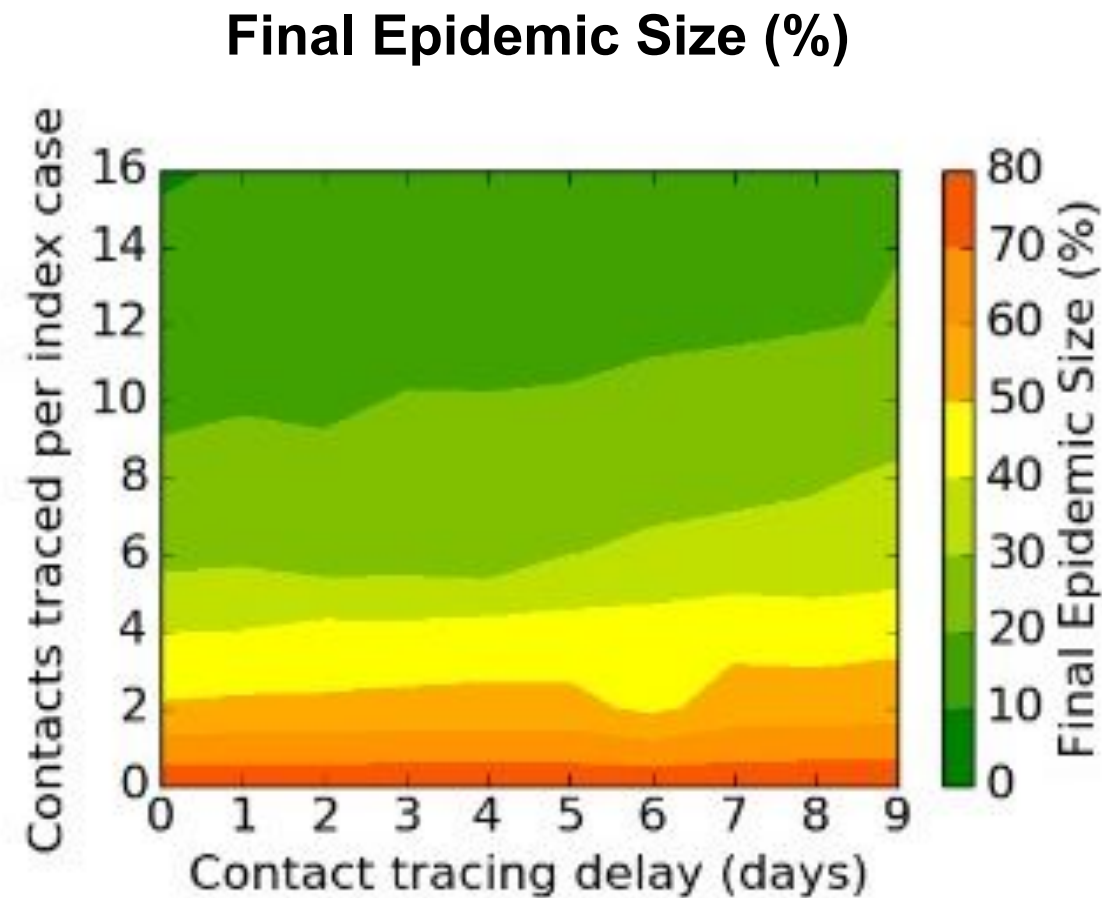
Only 5% of agent-to-agent infections



Analysis: Contacts traced and tracing delay

Final Epidemic Size (%) as a function of:

- **Contacts traced per index** (only Level 1)
- **Contact tracing delay** (since the index case was isolated)



Analysis 2: Contact level assessment

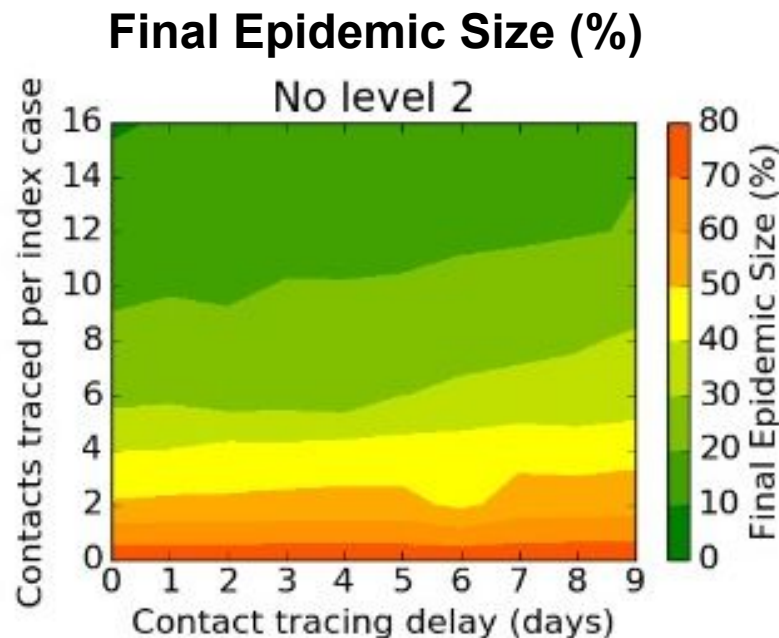
Final Epidemic Size (%) as a function of:

- **Contacts traced per index case** (Level 1 and Level 2)
- **Contact tracing delay** (since the index case was isolated)

How to better use a fixed amount of contacts to trace?

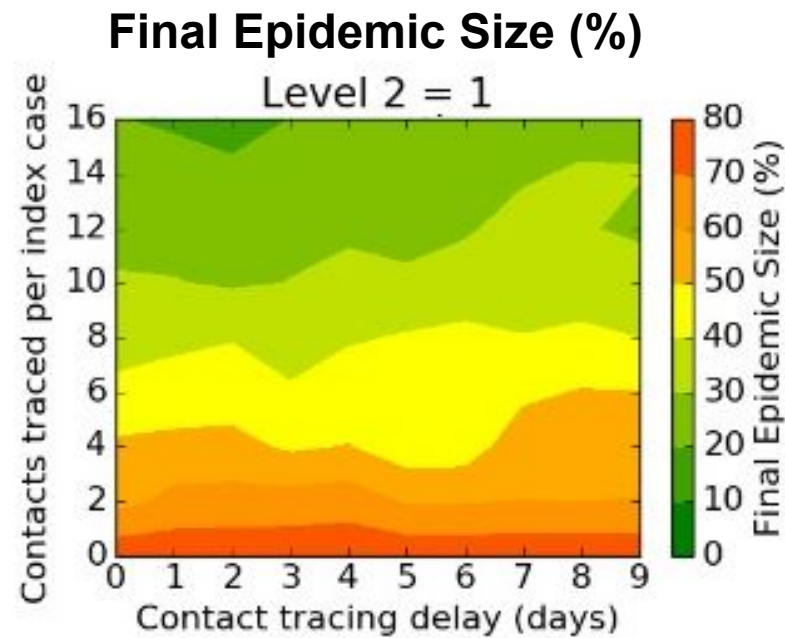
Level 2 = 0

“Only close contacts of the index case”



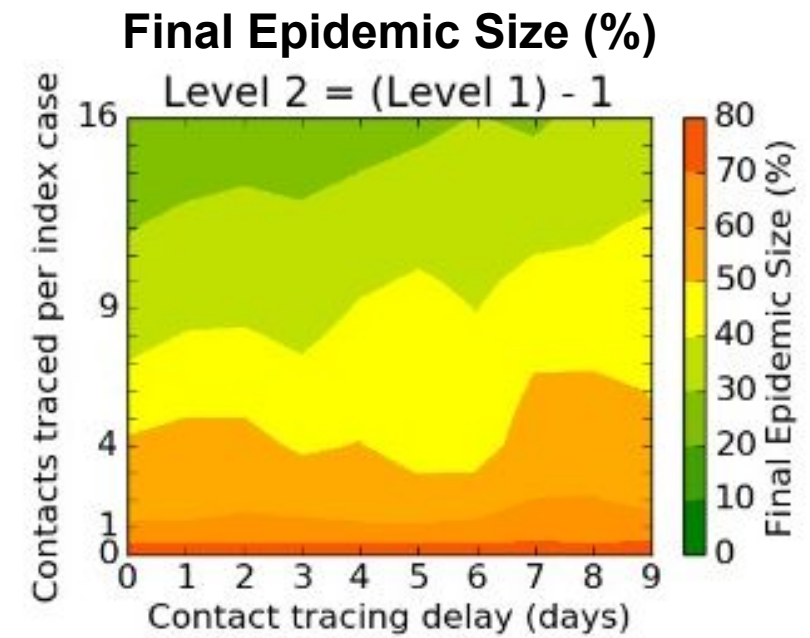
Level 2 = 1

“One Level 2 contact per close contact”



Level 2 = (Level 1) - 1

“Same as Level 1 minus 1”



Example 2)

Combined Geographic/Metapopulation model

Example 2) Combined Geographic/Metapopulation model

$$\begin{cases} \dot{S}_i(t) &= -\beta_i S_i(t) I_i(t) - \sum_{j=1}^N \lambda_{i,j} \beta_i I_j(t) S_i(t) \\ \dot{I}_i(t) &= \beta_i S_i(t) I_i(t) - \gamma_i I_i(t) + \sum_{j=1}^N \lambda_{i,j} \beta_i I_j(t) S_i(t) \\ \dot{R}_i(t) &= \gamma_i I_i(t) \end{cases} \quad \forall 1 \leq i, j \leq N, i \neq j$$

$i, j: [\Lambda]_{i,j} = \lambda_{i,j}$
Inter-cluster Adjacency Matrix

*N=1431 SIR models,
interconnected by 9632 input/output links*

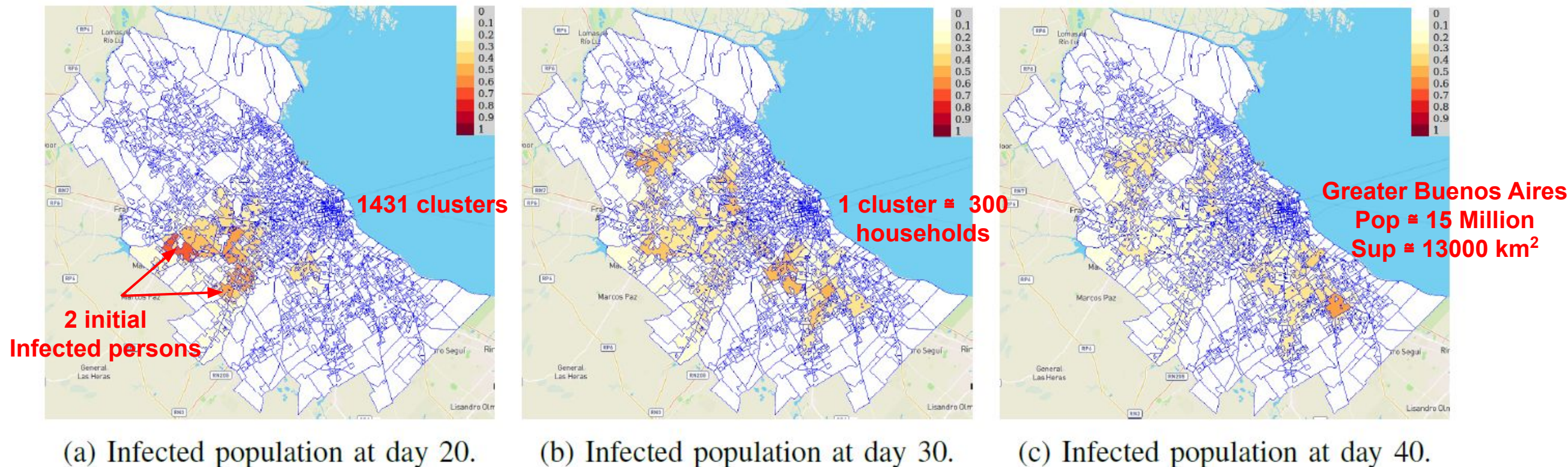


Figure 5: Multiple SIR models of neighboring population clusters interconnected with py2PowerDEVS. The spread of the virus is analyzed for Buenos Aires City and its surroundings. The proportion of infected population in each cluster is represented in shades of red (1 represents the whole population in a cluster)

Example 2) Combined Geographic/Metapopulation model

$$\begin{cases} \dot{S}_i(t) &= -\beta_i S_i(t) I_i(t) - \sum_{j=1}^N \lambda_{i,j} \beta_i I_j(t) S_i(t) \\ \dot{I}_i(t) &= \beta_i S_i(t) I_i(t) - \gamma_i I_i(t) + \sum_{j=1}^N \lambda_{i,j} \beta_i I_j(t) S_i(t) \\ \dot{R}_i(t) &= \gamma_i I_i(t) \end{cases} \quad \forall 1 \leq i, j \leq N, i \neq j$$

$i, j: [\Lambda]_{i,j} = \lambda_{i,j}$
Inter-cluster Adjacency Matrix

N=1431 SIR models, interconnected by 9632 input/output links

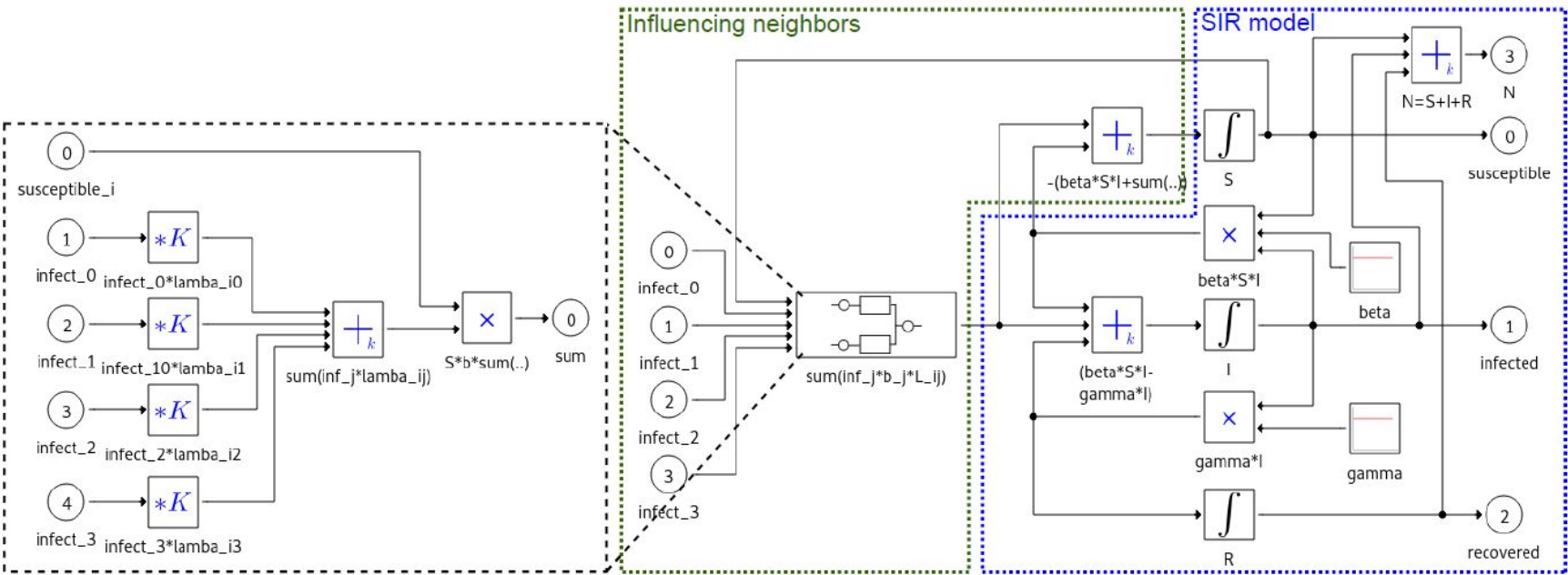
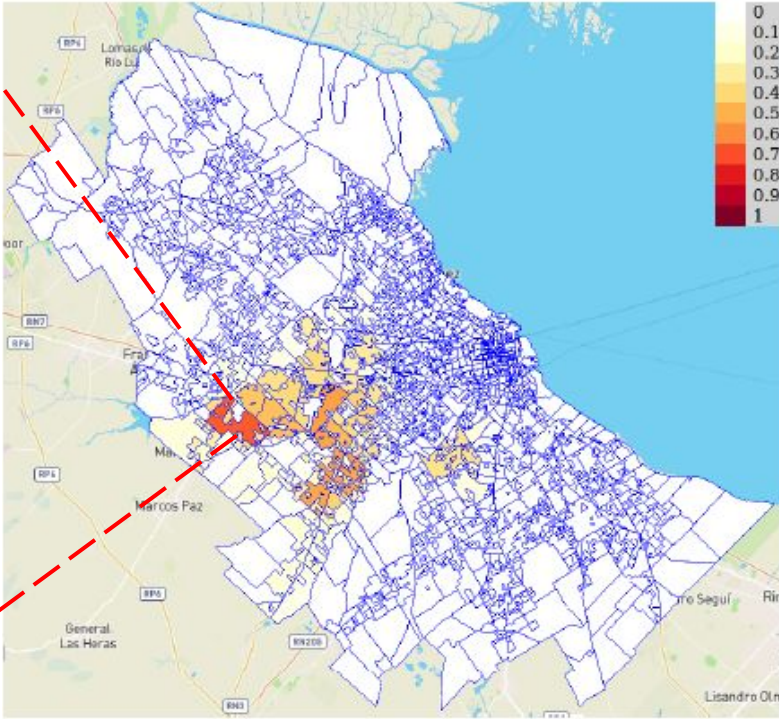


Figure 4: Single SIR model for an *i*-th node with $N = 4$ influencing neighbors built with the PowerDEVS GUI.



Proceedings of the 2022 Winter Simulation Conference
B. Feng, G. Pedrielli, Y. Peng, S. Shashaani, E. Song, C.G. Corlu, L.H. Lee, P. Lendermann, eds.

py2PowerDEVS: CONSTRUCTION AND MANIPULATION OF LARGE COMPLEX
STRUCTURES FOR PowerDEVS MODELS VIA PYTHON SCRIPTING

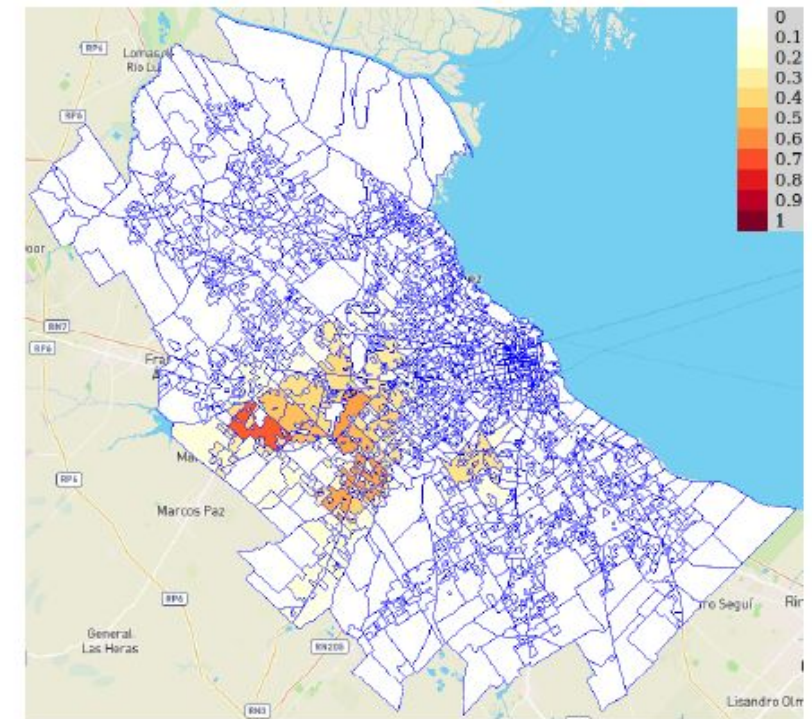
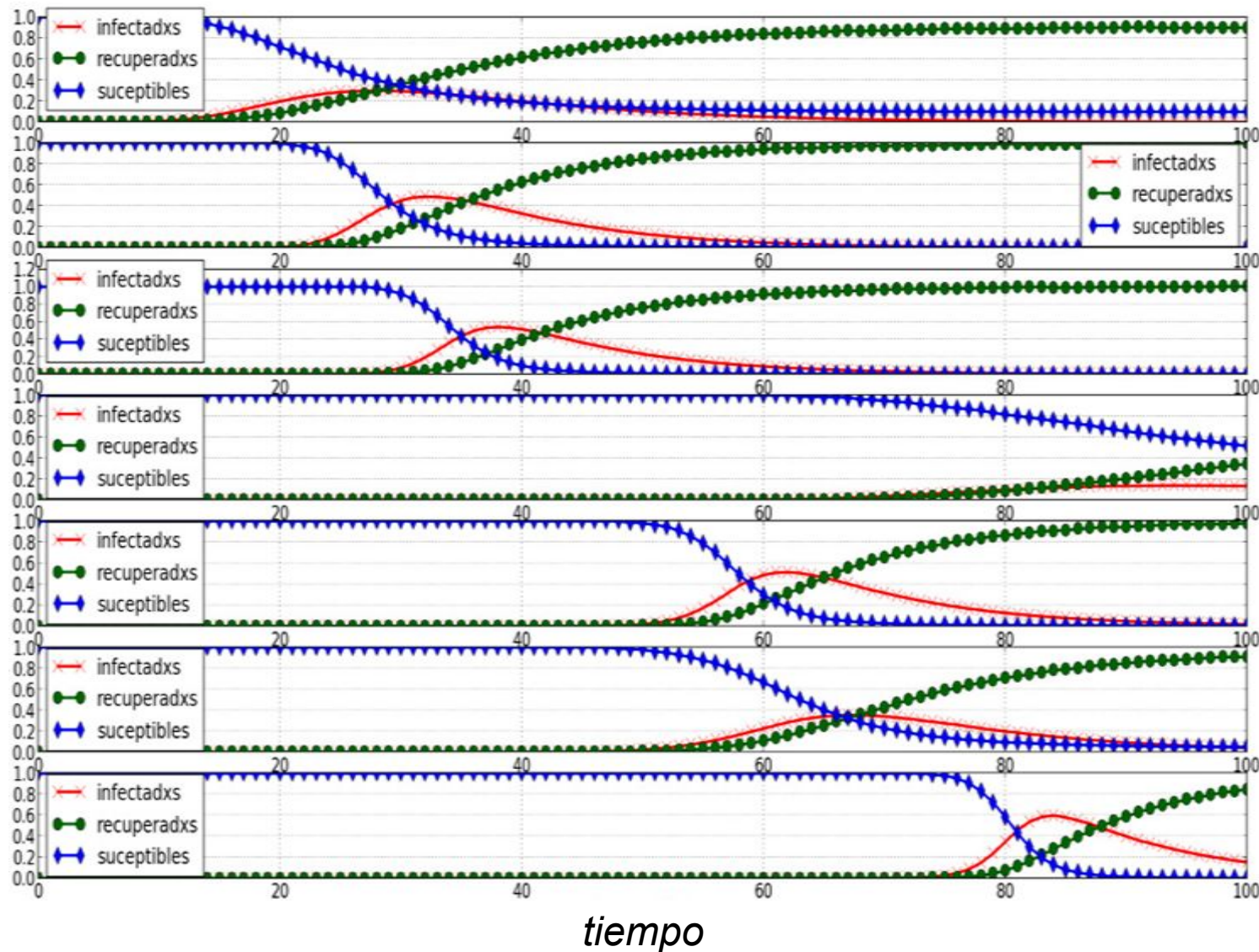
Ezequiel Pecker-Marcosig
Matías Bonaventura
Esteban Lanzarotti
Lucio Santi
Rodrigo Castro

[P22] Pecker-Marcosig, E., Bonaventura, M., Lanzarotti, E., Santi, L., Castro, R. 2022. py2PowerDEVS: Construction and Manipulation of Large Complex Structures for PowerDEVS Models via Python Scripting. In 2022 Winter Simulation Conference (WSC). In press.

Example 2) Propagación geográfica. Ejemplo con influencia por adyacencia.

- Grafo de SIR sencillos. Sistema de 1450x3 ODEs.
- $\beta \in [0.004, 0.8]$, $\gamma \in [0.003, 0.915]$

Evoluciones de **SIR** en distintos clusters



Example 3)
**Combining In-host dynamics with
shared space transmission**

Example 3) Combining In-host dynamics with shared space transmission



Dynamics of the
In-host Viral Load

Healthy cells
Infected cells

host-pathogen kinetics
(virus and immune system)

In-Host
Viral Load
per epithelial cell

$$\begin{aligned} \dot{V} &= \gamma_V I - (\gamma_{VA}SA - \gamma_{VH}H - \alpha_V)V - \frac{a_{V1}V}{1 + a_{V2}V} \\ \dot{H} &= b_{HD}D(H + R) + a_R R - \gamma_{HV}VH - b_{HD}FH \\ \dot{I} &= \gamma_{HV}VH - b_{IE}EI - a_I I \\ \dot{M} &= (b_{MD}D + b_{MV}V)(1 - M) - a_M M \\ \dot{F} &= b_F M + c_F I - b_{FH}HF - a_F F \\ \dot{R} &= b_{HF}FH - a_R R \\ \dot{E} &= b_{EM}ME - b_{EI}IE + a_E(1 - E) \\ \dot{P} &= b_{PM}MP + a_P(1 - P) \\ \dot{A} &= b_A P - \gamma_{AV}SAV - \gamma_{AA}A \\ \dot{S} &= rP(1 - S), \end{aligned}$$

In-host model
(reproduced from [HSC07])

Variable	Decription
V	Viral load per epithelial cell*
H	Proportion of healthy cells
I	Proportion of infected cells
M	Activated antigen presenting cells per homeostatic level
F	Interferons per homeostatic level of macrophages
R	Proportion of resistant cells
E	Effector cells per homeostatic level
P	Plasma cells per homeostatic level
A	Antibodies per homeostatic level
S	Antigenic distance

[HSC07]

[HSC07] B. Hancioglu, D. Swigon, and G. Clermont, "A dynamical model of human immune response to influenza A virus infection" *Journal of theoretical biology*, vol. 246, no. 1, pp. 70–86, 2007.

Example 3) Combining In-host dynamics with shared space transmission



Dynamics of the In-host Viral Load

- Research question:
 - What is the relative impact of ventilation vs. vaccination vs. face mask use?

Variable	Decription
V	Viral load per epithelial cell*
H	Proportion of healthy cells
I	Proportion of infected cells
M	Activated antigen presenting cells per homeostatic level
F	Interferons per homeostatic level of macrophages
R	Proportion of resistant cells
E	Effector cells per homeostatic level
P	Plasma cells per homeostatic level
A	Antibodies per homeostatic level
S	Antigenic distance

[HSC07]

host-pathogen kinetics
(virus and immune system)

$$\begin{aligned}\dot{V} &= \gamma_V I - (\gamma_{VA} S A - \gamma_{VH} H - \alpha_V) V - \frac{a_{V1} V}{1 + a_{V2} V} + r(t) V_L \\ \dot{H} &= b_{HD} D(H + R) + a_R R - \gamma_{HV} V H - b_{HD} F H \\ \dot{I} &= \gamma_{HV} V H - b_{IE} E I - a_I I \\ \dot{M} &= (b_{MD} D + b_{MV} V)(1 - M) - a_M M \\ \dot{F} &= b_F M + c_F I - b_{FH} H F - a_F F \\ \dot{R} &= b_{HF} F H - a_R R \\ \dot{E} &= b_{EM} M E - b_{EI} I E + a_E(1 - E) \\ \dot{P} &= b_{PM} M P + a_P(1 - P) \\ \dot{A} &= b_A P - \gamma_{AV} S A V - \gamma_{AA} A \\ \dot{S} &= r P(1 - S),\end{aligned}$$

In-Host
Viral Load
per epithelial cell

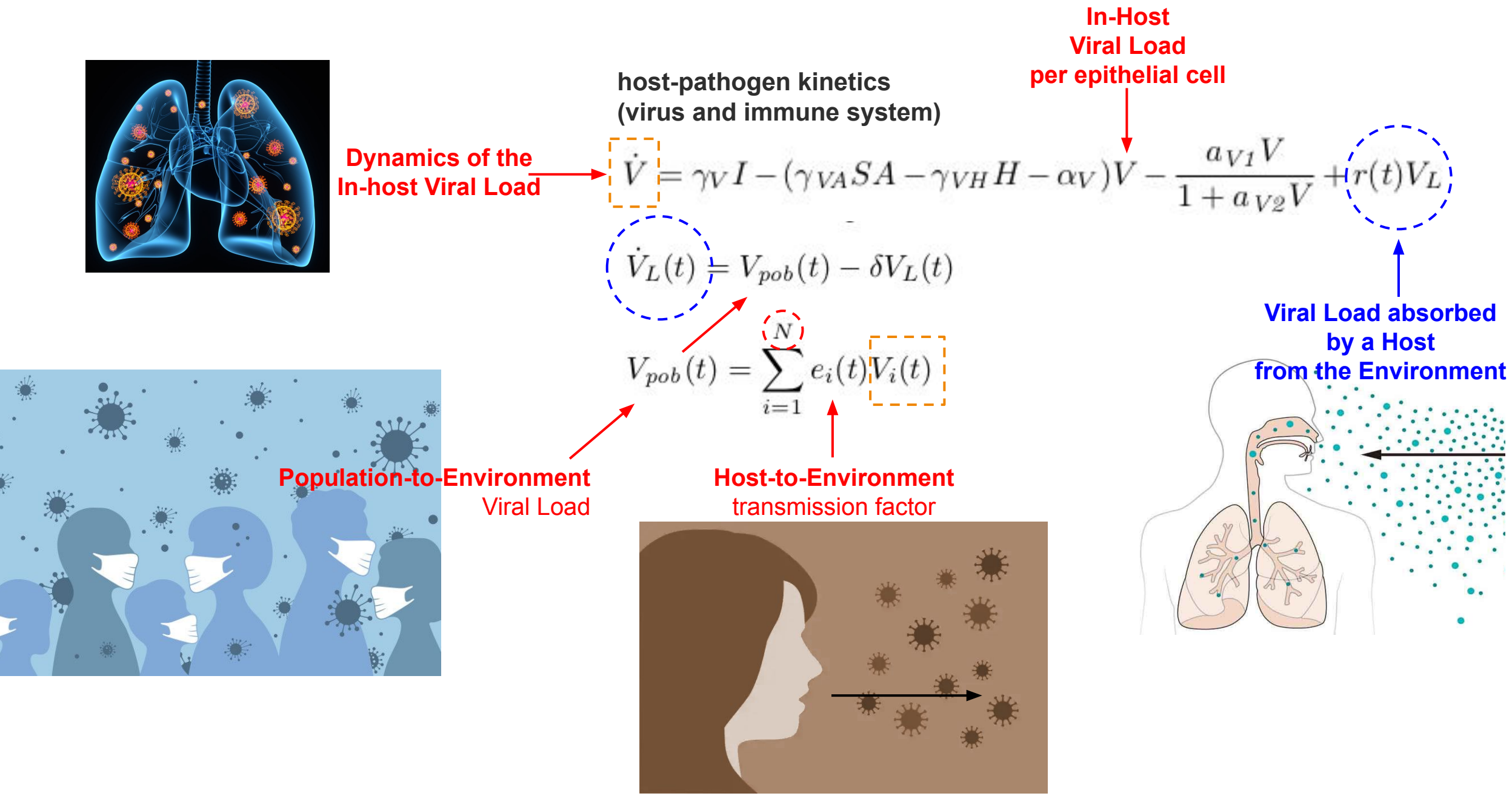
Viral Load absorbed
by a Host
from the Environment
(introduced in [BKLC21])

In-host model
(reproduced from [HSC07])

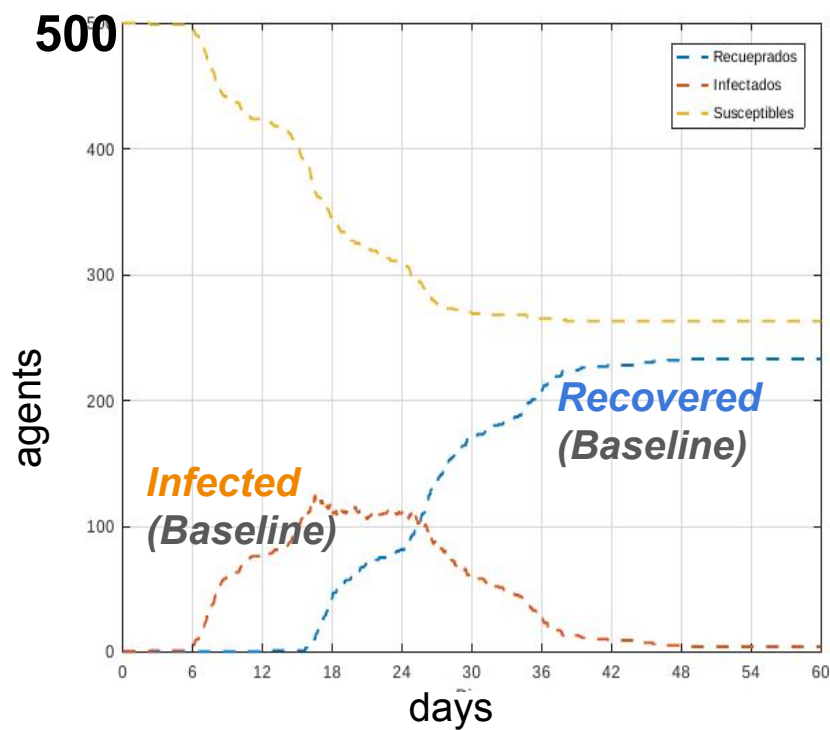
[BKLC21] [BKLC21] Bergonzi, M., Kofman, E., Lanzarotti, E., Castro, R. 2021. “Modelado y Simulación de Sistemas Epidemiológicos Multiescala”. In XIX Reunión de Procesamiento de la Información y Control (RPIC 2021) San Juan, Argentina. 2021 (in Spanish).

[HSC07] B. Hancioglu, D. Swigon, and G. Clermont, “A dynamical model of human immune response to influenza A virus infection” Journal of theoretical biology, vol. 246, no. 1, pp. 70–86, 2007.

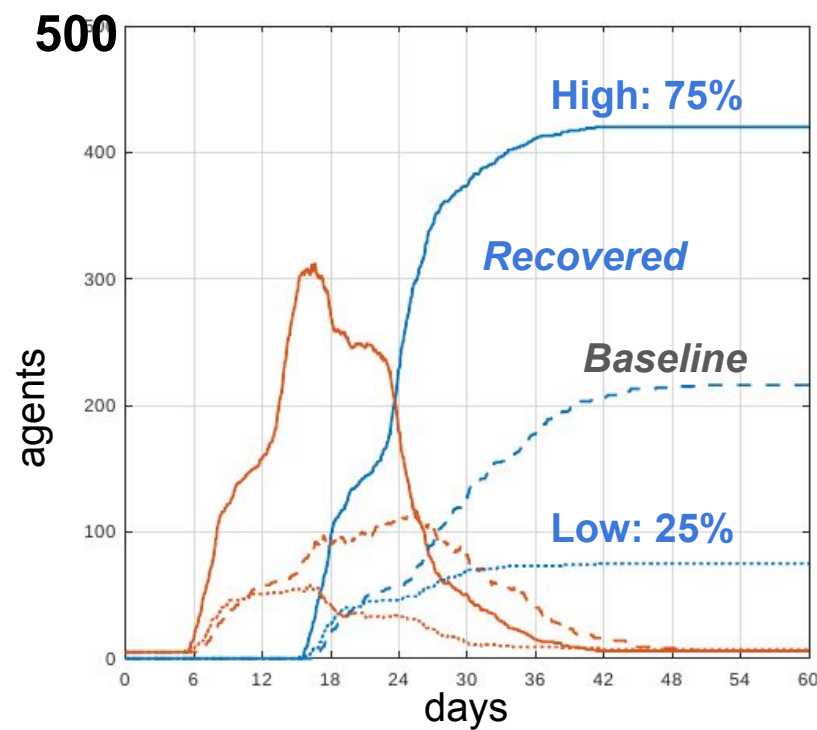
Example 3) Combining In-host dynamics with shared space transmission



Example 3) Analysis: impact of ventilation, vaccination, face mask use

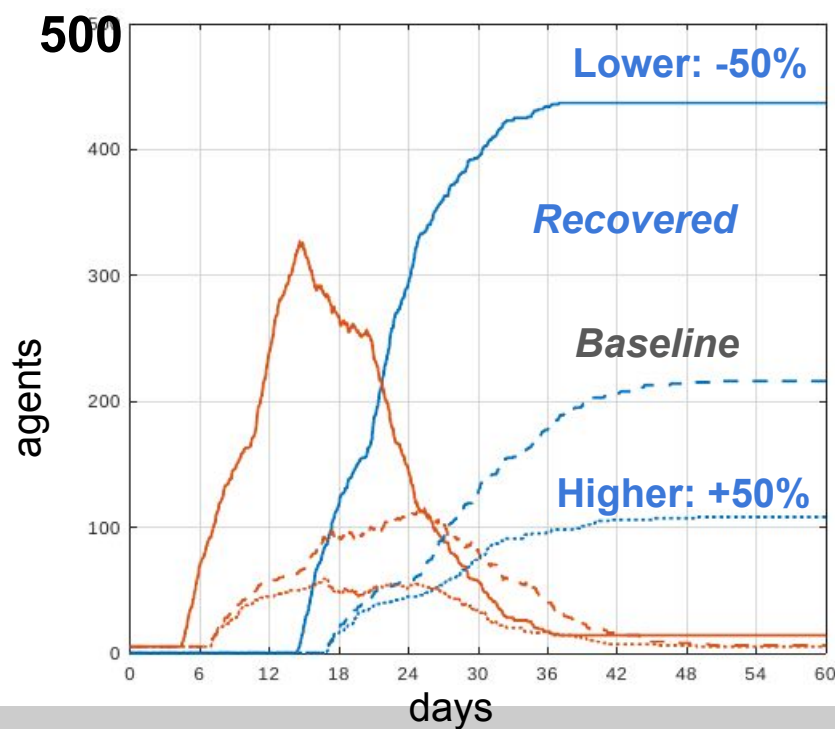


**Baseline
Scenario**



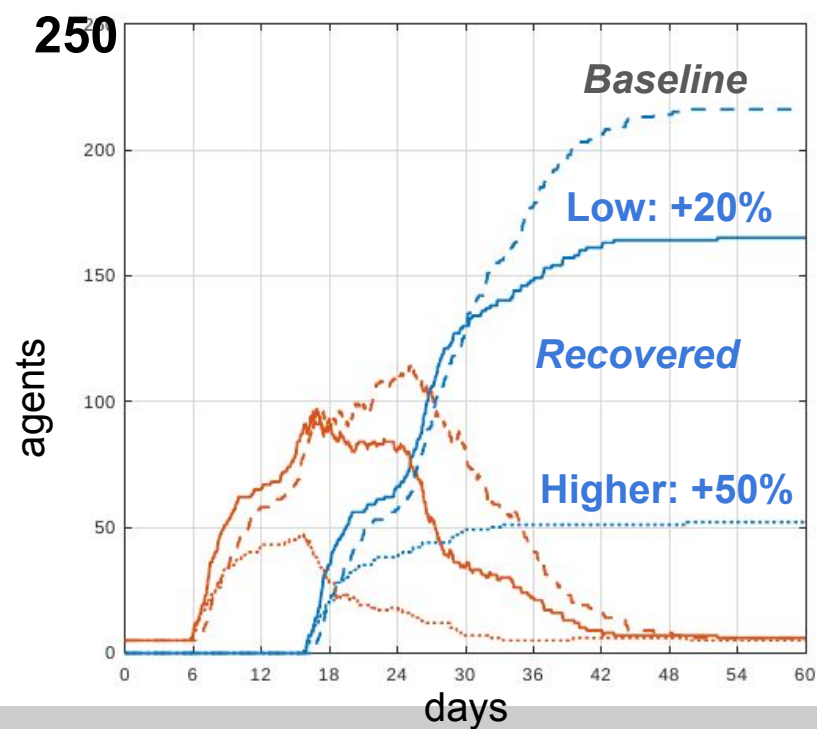
Scenario 1:

Proportion of agents with high Host-to-Environment exchange rate



Scenario 2:

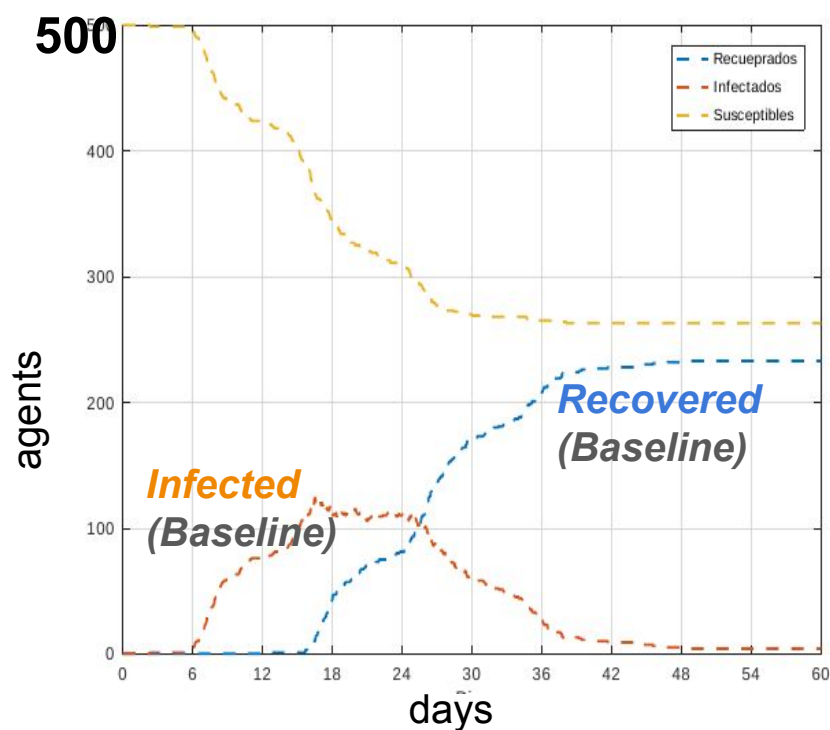
Intensity of virus removal in the air



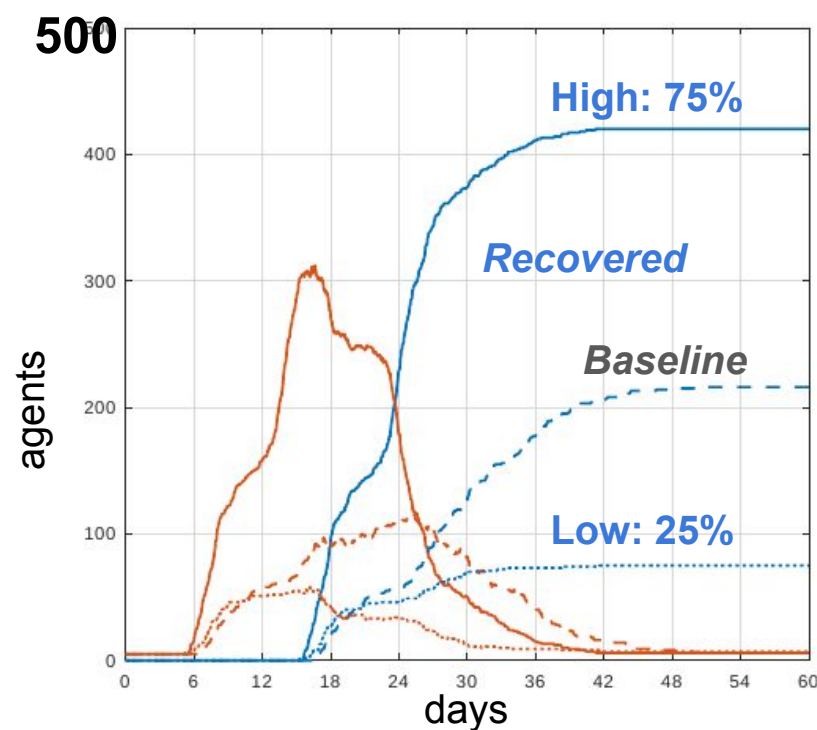
Scenario 3:

Proportion of initially immune agents

Example 3) Analysis: impact of ventilation, vaccination, face mask use



Baseline Scenario



Scenario 1:

Proportion of agents with high Host-to-Environment exchange rate

N	Time (sec.) DASSL	Time (sec.) LIQSS2
10	0.434	0.092
20	2.313	0.212
50	28.093	0.648
100	264.078	1.550
150	873.535	2.541
200	NF	3.638
500	NF	12.087
1000	NF	33.531

Simulation efficiency

- Speedups with QSS solvers
 - From noticeable (4x) to very high (350x) wrt industry-standard DASSL
- Cost:
 - DASSL seems to grow with more than N^2
 - Linearly Implicit QSS (LIQSS2) grows approximately with $N \cdot \log N$
- Tool: Standalone QSS Solver
<https://github.com/CIFASIS/qss-solver>

Referencias

- [V10] Vynnycky, E., and White, R. *An introduction to infectious disease modelling*. OUP, Oxford, 2010.
- [B21] Bergonzi, M., Pecker-Marcosig, E., Kofman, E., Castro, R. (2020). *Discrete-Time Modeling of COVID-19 Propagation in Argentina with Explicit Delays*. Computing in Science & Engineering, 23(1), 35-45.
- [L11] Li, J., Blakeley, D., Smith, R.J. 2011. *The Failure of R_0* . Computational and Mathematical Methods in Medicine, vol. 2011
- [W18] Wiratsudakul A, Suparit P, Modchang C. 2018. *Dynamics of Zika virus outbreaks: an overview of mathematical modeling approaches*. PeerJ 6:e4526
- [L21] Lanzarotti, E., Santi, L., Castro, R., Roslan, F., Groisman, L. 2021. *A multi-aspect agent-based model of covid-19: disease dynamics, contact tracing interventions and shared space-driven contagions*. In 2021 Winter Simulation Conference (WSC) (pp. 1-12). IEEE.
- [P22] Pecker-Marcosig, E., Bonaventura, M., Lanzarotti, E., Santi, L., Castro, R. 2022. *py2PowerDEVS: Construction and Manipulation of Large Complex Structures for PowerDEVS Models via Python Scripting*. In 2022 Winter Simulation Conference (WSC). [In press].
- [HSC07] B. Hancioglu, D. Swigon, and G. Clermont. 2007. *A dynamical model of human immune response to influenza A virus infection*. Journal of theoretical biology, vol. 246, no. 1, pp. 70–86, 2007.
- [BKLC21] Bergonzi, M., Kofman, E., Lanzarotti, E., Castro, R. 2021. *Modelado y Simulación de Sistemas Epidemiológicos Multiescala*. In XIX Reunión de Procesamiento de la Información y Control (RPIC 2021) San Juan, Argentina. 2021 (in Spanish)

Extras