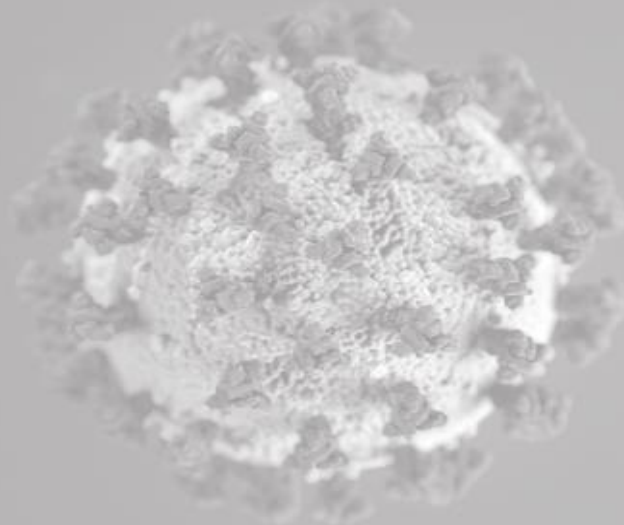


El Salvador y el COVID-19: Datos, modelos y perspectivas

3ª Simulación a 90 días



Equipo

- **Trabajo coordinado por el Instituto de Ciencia, Tecnología e Innovación (ICTI) Con el aporte de:**

- James Humberstone
- Javier Cladellas
- Óscar Luna
- Roberto Vidrí
- Helga Cuéllar
- Otoniel Campos(UES)
- Óscar Picardo Joao (Coordinador)

- Agradecemos la asesoría de:
- Carlos Castillo Chávez, Brown University, USA
- Carlos Hernández, Universidad de Colima, México
- Juan Aparicio, Universidad de Salta, Argentina
- Marlio Paredes, Universidad del Valle, Colombia

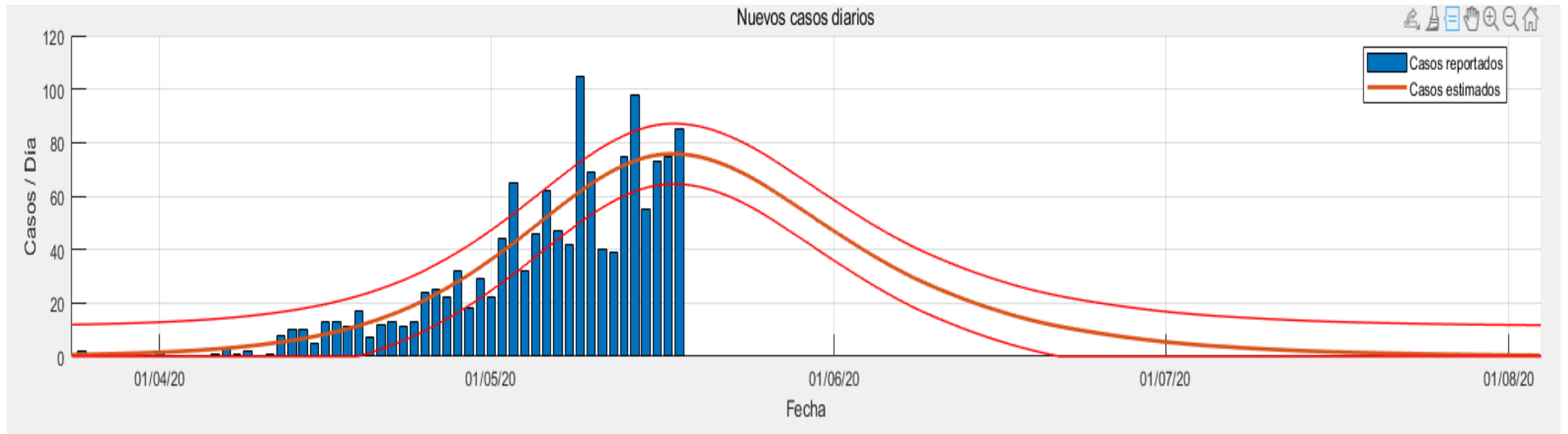
Nota hermenéutica de los modelos

- Esta TERCERA simulación, ayuda a “calibrar y ubicar” mejor los escenarios posibles de la evolución de la pandemia en El Salvador, en base a los dos ejercicios anteriores de 4 y 8 de abril (60 y 90 días).
- En éste modelo no se consideran diversos escenarios (optimista, moderado y crítico), porque se ha ajustado con los datos oficiales, a través de Python.
- Incorporamos el modelo Milán Batista de MatLab.

Modelo Milán Batista MathLab

- Con los 75 casos positivos reportados el día de ayer y según esta fórmula matemática: el **pico** de casos se mantendría hasta el **19 de mayo**.
Fin de casos: **23 de julio**.
Número máximo de casos: **2499**.
- Para efectuar la proyección para el país, se utilizó el programa escrito por Milan Batista en lenguaje MatLab, extraído de <https://la.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/74658-fitviruscovid19>.

Modelo visual Curva Epi MatLab



El Modelo SIR (SEIR, SEIS)

- Siguiendo las pautas de instituciones prestigiosas y rigurosas (London Business School; The economics of a pandemic: the case of COVID-19; p.28)
 - El modelo SIR es adecuado para analizar las tendencias y evolución epidemiológicas.
- El modelo **SIR** (W. O. Kermack y A. G. McKendrick, 1927) considera una enfermedad que se desarrolla a lo largo del tiempo y únicamente tres clases de individuos (de donde proviene el nombre):
 - **S** Individuos susceptibles, es decir, aquellos que no han enfermado anteriormente y por lo tanto pueden resultar infectados al entrar en contacto con la enfermedad.
 - **I** Individuos infectados y por lo tanto en condiciones de transmitir la enfermedad a los del grupo S.
 - **R** Individuos recuperados de la enfermedad, y que ya no están en condiciones ni de enfermar nuevamente ni de transmitir la enfermedad a otros.
- Modelo **SEIS** considera una nueva clase de individuos:
 - **E** (del inglés exposed): aquellos que portan la enfermedad pero que al hallarse en su periodo de incubación no muestran síntomas y pueden o no estar en condición de infectar a otros.
- Modelo **SEIR** Derivado del modelo SEIS, agrega **R**: población de recuperados.

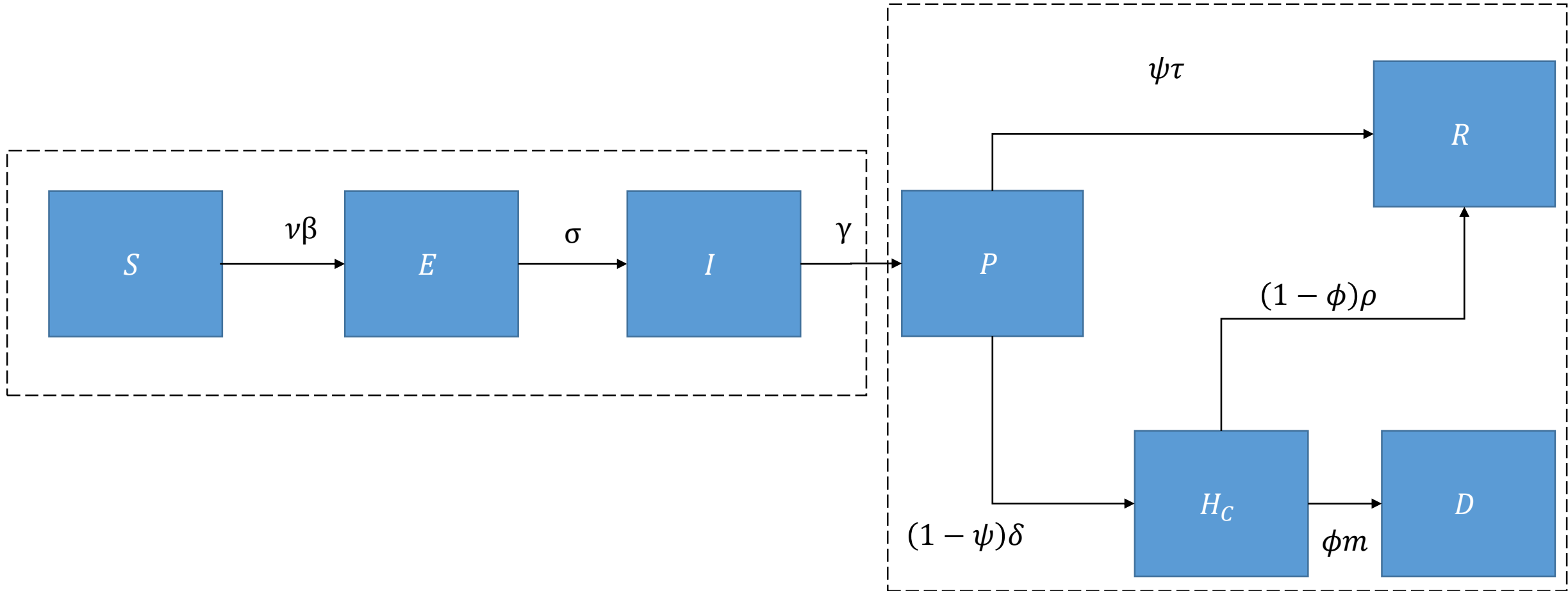
Datos del modelo:

Condiciones iniciales desde el 18 de marzo de 2020

Símbolo	Descripción	VALOR
S	Población susceptible en el país (calibrando este modelo con los datos reales a la fecha (18/05/2020), haciendo una regresión encontramos este número como el más aproximado en las condiciones iniciales).	4000
E	Población expuesta.	2
I	Población infecciosa.	2
R	Población recuperada. Ya no poseen síntomas y están completamente curados de la enfermedad.	0
P	Población positiva. Personas que dieron positivo en la prueba de COVID-19 y están completamente aisladas, bajo supervisión o cuidado médico.	0
HC	Población en cuidados intensivos. Personas severamente enfermas por coronavirus que están bajo atención médica en UCI.	0
D	Población fallecida. Individuos que murieron en consecuencia de estar enfermos por COVID-19.	0

Símbolo	Descripción	Valor
β	Tasa de transmisión del COVID-19. Estimada (mundialmente) a partir de los datos de https://www.worldometers.info/coronavirus/	1.1897
σ^{-1}	Tiempo promedio de incubación del virus. (OMS)	5
γ^{-1}	Tiempo promedio (en días) que tarda una persona enferma en libertad en ser aislada.	8.33
τ^{-1}	Período promedio (en días) en que un individuo pasa hospitalizado antes de recuperarse.	16.66
ρ^{-1}	Tiempo promedio que tarda una persona en cuidados intensivos en pasar a cuidados intermedios.	16.66
δ^{-1}	Tiempo promedio que tarda un individuo hospitalizado en ser ingresado a cuidados intensivos.	5
m^{-1}	Esperanza de vida de individuos en cuidados intensivos.	10
v	Efectividad de aislamiento en el país, excluyendo los albergues.	0,336
ψ	Proporción de población hospitalizada que se recupera en totalidad de la enfermedad.	0.95
φ	Proporción de individuos en cuidados intensivos que mueren de coronavirus.	0.45

Datos del modelo



Ecuaciones del modelo

$$\bullet S' = -v\beta \frac{IS}{T} \quad (1)$$

$$\bullet E' = v\beta \frac{IS}{T} - \sigma E \quad (2)$$

$$\bullet I' = \sigma E - \gamma I \quad (3)$$

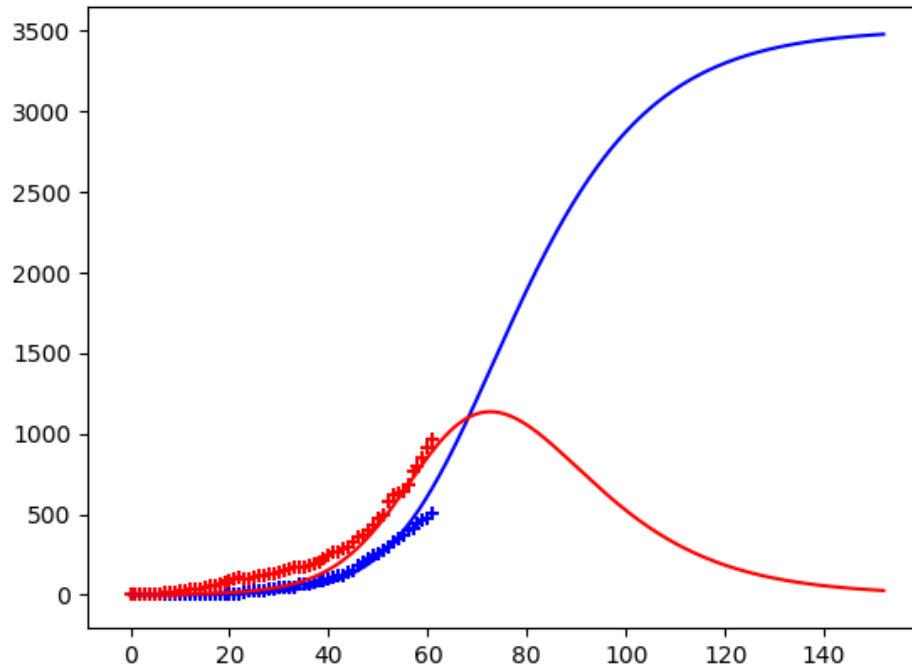
$$\bullet P' = \gamma I - (\psi\tau + (1 - \psi)\delta)P \quad (4)$$

$$\bullet R' = \psi\tau P + (1 - \phi)\rho H_C \quad (5)$$

$$\bullet H_C' = (1 - \psi)\delta P - ((1 - \phi)\rho + \phi m)H_C \quad (6)$$

$$\bullet D' = \phi m H_C \quad (7)$$

Calibración de modelo en Python:

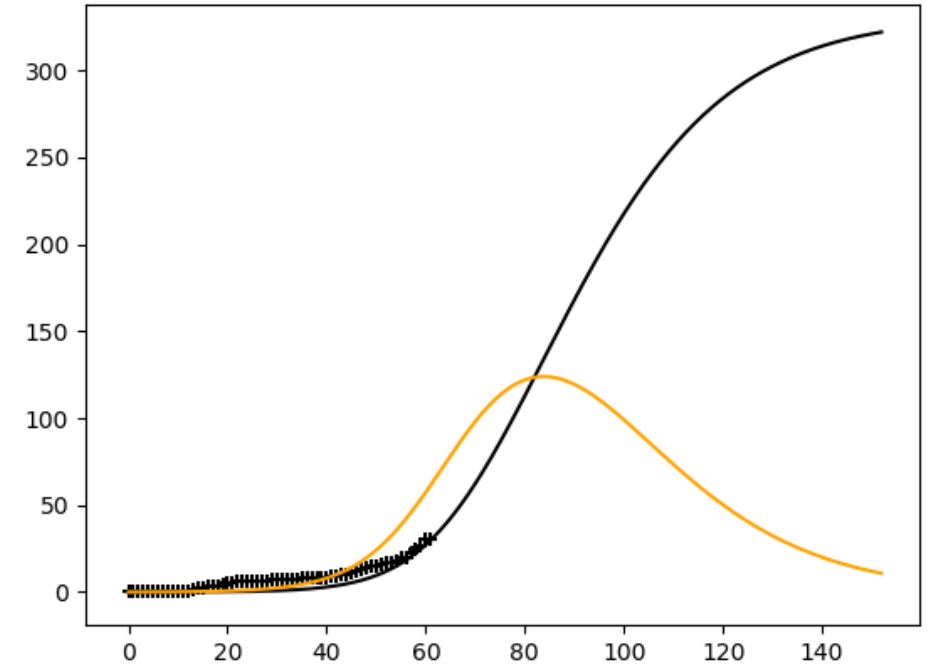


Tiempo (en días)
El día 0 representa el 18/03/2020
El día 61 representa el 18/05/2020

Al cabo de 90 días habrá:

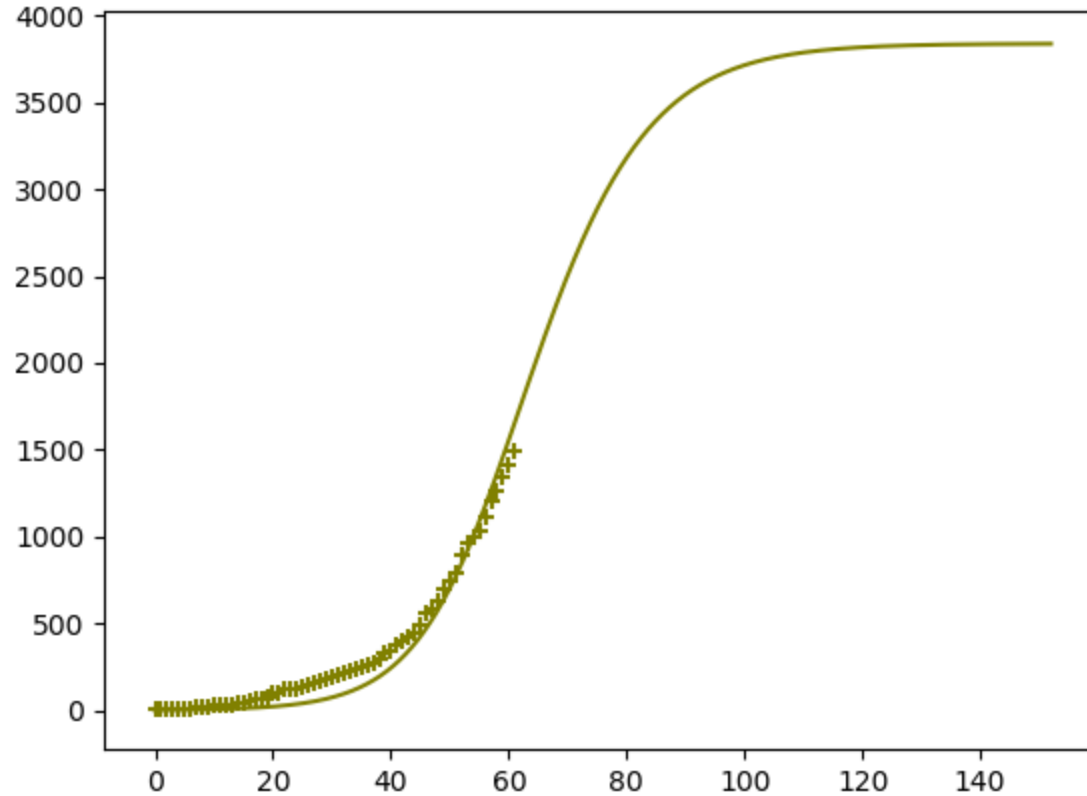
- Pico de **1137** personas con diagnóstico positivo **ACTIVOS** (día 73 a partir día "0")
- Pico de **124** personas ingresadas en UCI (día 84)
- **322** personas podrían fallecer
- **3480** personas recuperadas

— Curados — Positivos activos — UCI — Fallecidos



Tiempo (en días)
El día 0 representa el 18/03/2020
El día 61 representa el 18/05/2020

Infectados



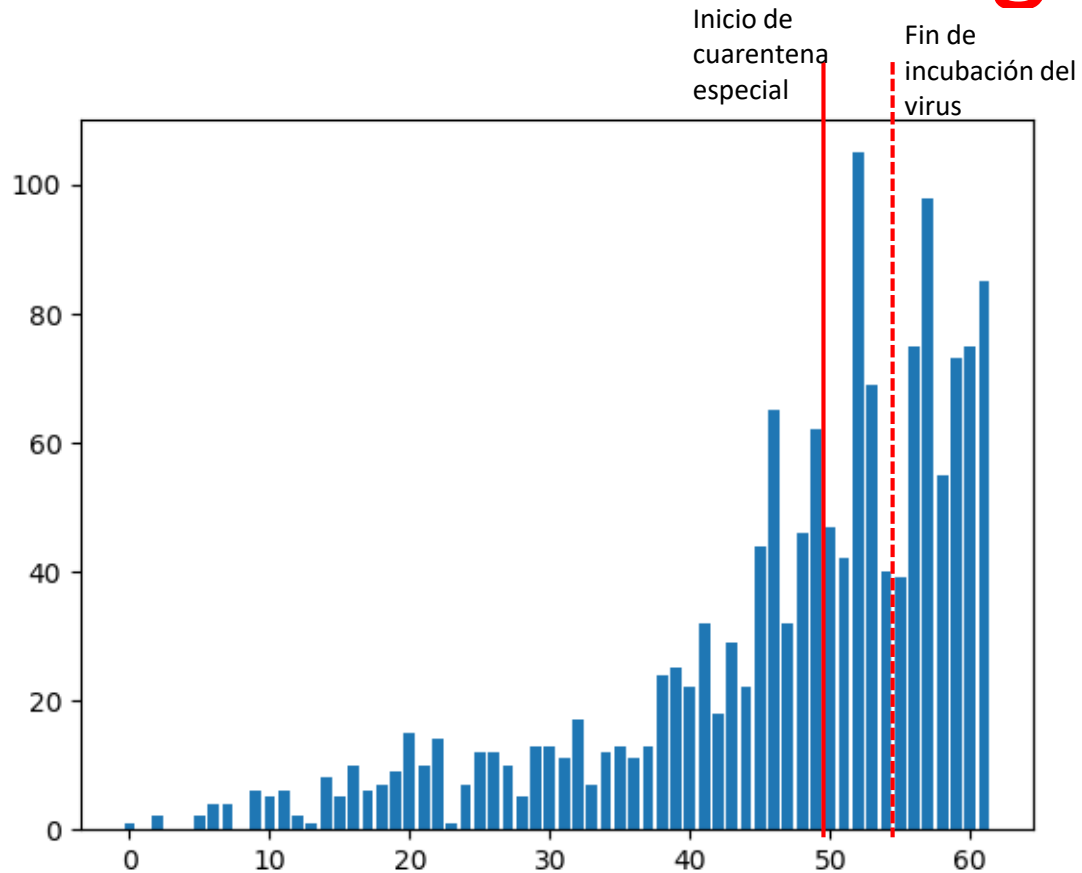
Tiempo (en días)
El día 0 representa el 18/03/2020
El día 61 representa el 18/05/2020

Al cabo de 90 días (a partir del 18 de mayo) habrá:

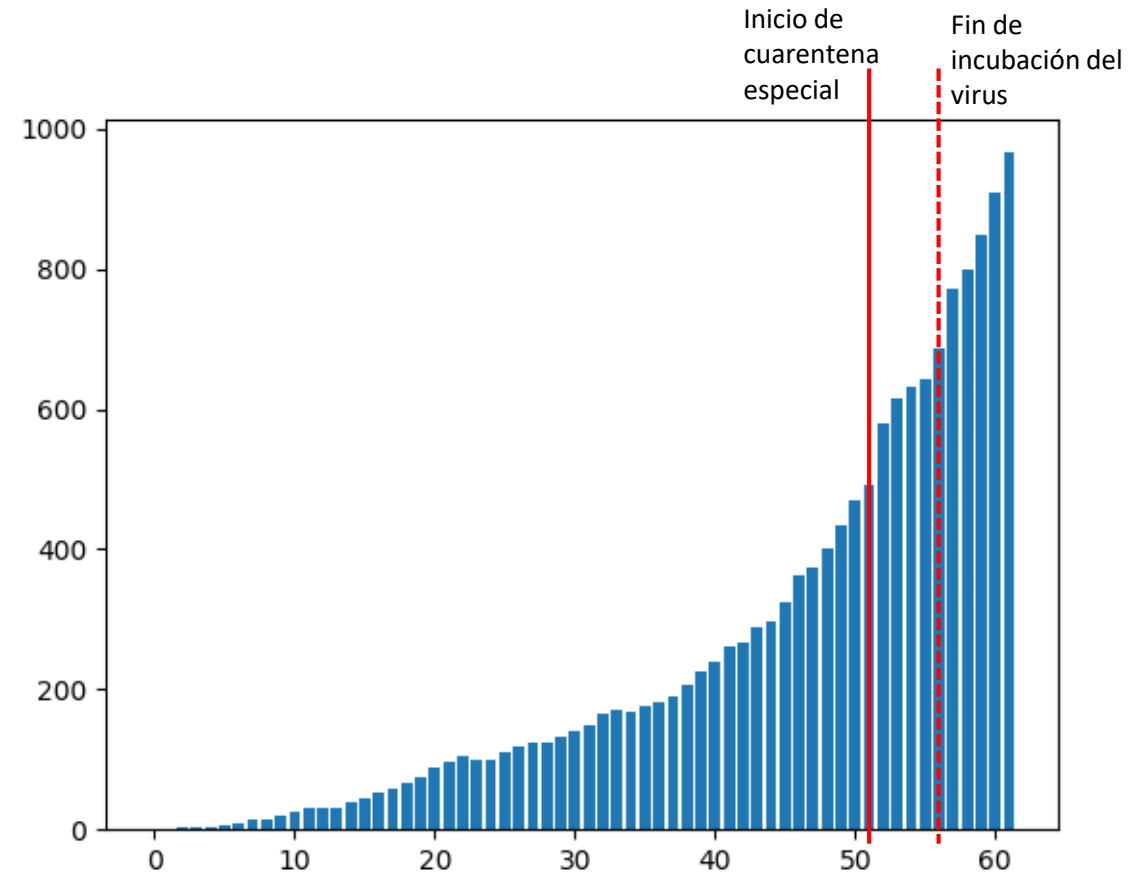
- Un total de **3839** personas que habrán dado positivo a la prueba del COVID-19

Casos confirmados

Evolución de contagios

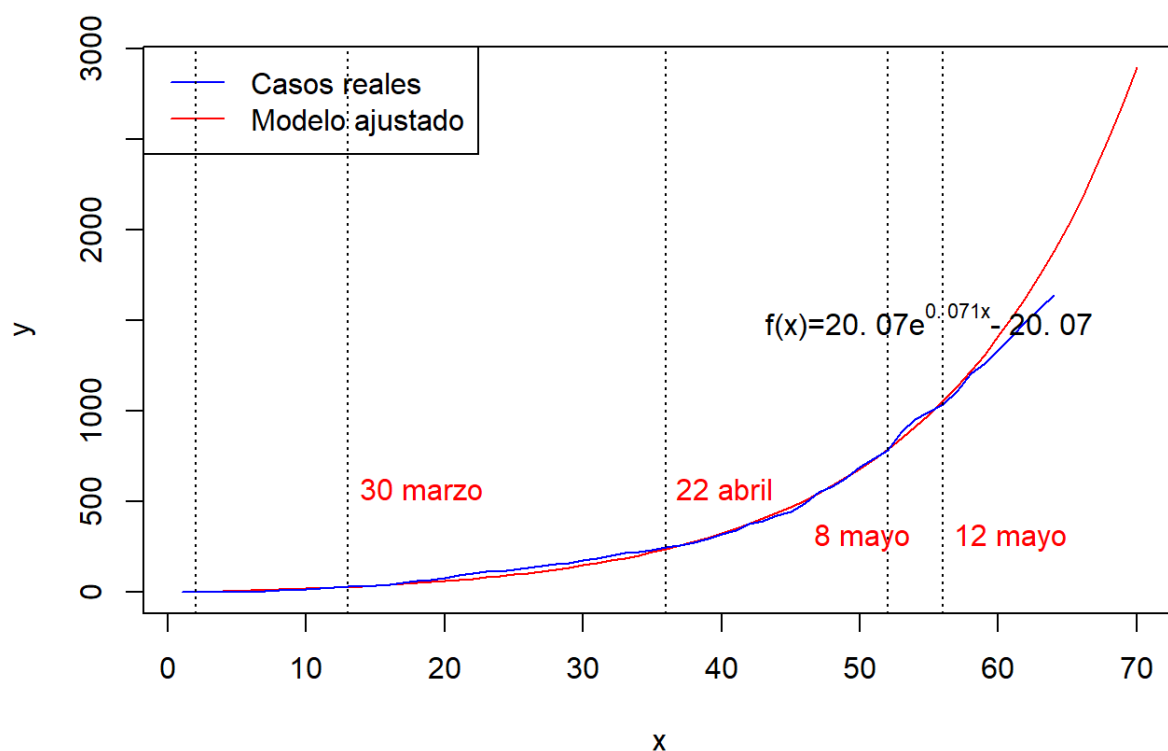


Gráfica de nuevos infectados diarios de COVID-19, a partir del 18 de marzo 2020



Gráfica de casos activos de COVID-19, a partir del 18 de marzo 2020

Modelo Lagrange: Desaceleración



Utilizando multiplicadores de Lagrange y resolviendo un sistema de ecuaciones no lineales, se ajusta una curva teórica a los datos reales (ajuste optimizado), dada por $f(x) = 20.07277691e^{0.07112922x} - 20.07277691$, las fechas resaltadas corresponden al día de las aglomeraciones en los CENADE, por el tema de los \$300.00 y el tiempo estimado de manifestación de un contagio. Claramente se observa que es cuando la curva de infectados inició su ascenso. Las otras fechas significativas son el 8 de mayo que es el día después que se anuncian las medidas de cuarentena estrictas, salidas permitidas solamente para algunos números de DUI, la semana anterior a esa fecha la gente andaba en las calles, e incluso se observaron fuertes tráfico en las calles de San Salvador, sin embargo, a partir del 12 de mayo se logra evidenciar una clara desaceleración en los casos reales, la cual ya se puede tomar como una tendencia, evidentemente, debe ser mantenida a partir de las medidas que se implementen en los próximos días.

Desaceleración $\neq$ a Decrecimiento

Capacidad del sistema de salud (en base a SEIR)

ISSS y MINSAL (mayor tamaño y cobertura. Aprox. 90% de la capacidad de todo el sistema)

	Actual	Escenario requerimiento en 90 días*	Brecha
Camas	6,557	568	5,564
Camas de UCI	238	124	114
Médicos generales o residentes	3,587	47	3,540
Intensivistas**	60	21	39
Enfermeras	4,605	136	4,469

* Se asume 1 médico por 12 camas, 1 intensivista por 6 camas, y 1 enfermera (profesional o especializada) por 3 camas para pacientes en condición crítica y 1 por 12 camas para pacientes en condición inestable, según recomendaciones de OPS para responder a la pandemia de COVID-19. Turnos de 8 horas

** El número de intensivistas de MINSAL se estimó en 37, pero podrían ser menos. No fue posible encontrar información de otros especialistas que se requieren, por ejemplo: neumólogos, técnicos de terapia respiratoria y técnicos en cuidados intensivos.

Fuente: cálculos propios con base en datos de ISSS y MINSAL 2018 y 2019

Conclusiones

- Si bien la tasa de mortalidad en éste modelo es alta (322 casos), no debemos olvidar que en el año anterior hubo no menos de 700 decesos por casos de neumonía.
- 3 hipótesis: **1)** La cuarentena especial no ha tenido el impacto esperado; **2)** La cuarentena ayudó a que el crecimiento se haya desarrollado a un ritmo menor; **3)** Posiblemente exista un problema en los tiempos y efectividad en la aplicación y reporte de las pruebas.
- Aún no hay decrecimiento pero sí desaceleración, lo que implica que podamos estar ingresando al período de “pico” de la curva epidémica.
- Con los datos de éste modelo, el sistema de salud “no colapsa” en ninguno de los 5 parámetros propuestos; aunque debemos considerar siempre la ocupación recurrente de otras patologías.
- Considerando lo anterior, creemos que el proyecto de CIFCO debe revisarse.
- Las medidas de contención del coronavirus han ampliado el margen de maniobra para responder a la emergencia.

Recomendaciones

- Optimizar la asignación de recursos entre las demandas del primer y segundo nivel de atención según la evolución proyectada de la enfermedad.
- Contar con un sistema centralizado de camas para conocer en tiempo real su disponibilidad.
- Asegurar que la capacidad existente también pueda ofrecer otros servicios de atención
- Fortalecer la capacidad del primer nivel de atención para detectar y controlar los casos de COVID-19, clasificando a los pacientes según la urgencia de atención (triaje)
- Se recomienda analizar la posibilidad para que laboratorios privados puedan aplicar pruebas y así aumentar la capacidad de identificar contagiados e inmunes –particularmente en centros de contención- y, a la vez podamos acercarnos al proceso de vuelta a la normalidad con más certeza.