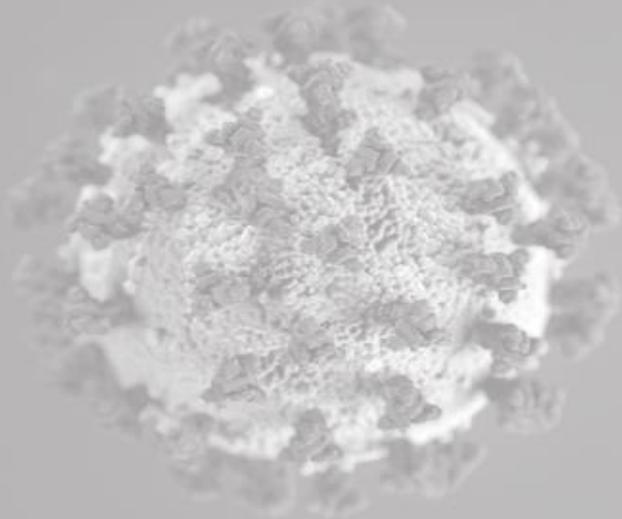


# El Salvador y el COVID-19: Datos, modelos y perspectivas



Un reporte del Instituto de Ciencia, Tecnología e Innovación

**3 de abril de 2020**

## Nota:

Este informe presenta escenarios en base a modelos matemáticos; se trabaja con fórmulas, ecuaciones y probabilidades, sobre la literatura académica internacional aceptada.

No pretende, competir con otros puntos de vista, sino presentar escenarios y brechas en base a los resultados obtenidos.

# Nota Técnica

- **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
- Óscar Picardo Joao (Coordinador)

- Agradecemos la asesoría de:
- Carlos Castillo Chávez, Brown University
- Carlos Hernández, Universidad de Colima
- Juan Aparicio, Universidad de Salta

# Objetivos de la iniciativa

Construir un modelo epidemiológico SIR de COVID-19 para El Salvador que ayude a:



Comprender cómo podría evolucionar la enfermedad según diferentes escenarios de riesgo y parámetros ajustados al país



Proporcionar información basada en evidencia sobre los efectos posibles de la pandemia en la salud de la población



Generar conocimiento para la toma de decisiones en las políticas sanitarias y económicas para enfrentar la pandemia

# Línea de Tiempo COVID-19

- 1/12/19 - Se identifica la pandemia del Covid-19 en Wuhan, Hubei, China.
- 30/01/20 - El Salvador prohíbe la entrada a personas provenientes de China.
- 25/02/20 - El Salvador prohíbe la entrada a personas provenientes de Italia y Corea del Sur.
- 28/02/20 - El Salvador prohíbe la entrada a personas provenientes de Irán.
- 7/03/20 - Inician los procesos de cuarentena a por lo menos 80 personas que habían viajado a países con casos del virus.
- 8/03/20 - El Salvador prohíbe la entrada de personas provenientes de Francia y Alemania. También se cierran las fronteras terrestres.
- 13/03/20 - Todas las personas que entran al país son enviadas a cuarentena.
- 14/03/20 - Se aprueba el Estado de Emergencia y de Excepción en el país.
- 17/03/20 - El Salvador cierra su aeropuerto internacional.
- 18/03/20 - El Salvador reporta su primer caso de COVID-19.
- 20/03/20 - Se reportan dos casos nuevos de COVID-19/ Gobierno de creta cuarentena absoluta.

# Línea de Tiempo COVID-19

- 23/03/20 - El Salvador reporta dos nuevos contagios.
- 24/03/20 - El Salvador confirma cuatro casos nuevos.
- 25/03/20 - El Salvador reporta cuatro casos nuevos.
- 27/03/20 - El Salvador reporta seis casos nuevos/ el Presidente juramenta a Francisco Alabí como nuevo Ministro de Salud.
- 28/03/20 - El Salvador reporta 24 casos de COVID-19.
- 29/03/20 - El Salvador reporta 30 casos de COVID-19.
- 30/03/20 - El Salvador reporta 32 de casos de COVID-19.
- 31/03/20 - El Salvador reporta su primer fallecido.
- 1/04/20 - El Salvador reporta su segundo fallecido.

# La pandemia del COVID-19

- 11 de marzo del 2020 - Director de la Organización Mundial de la Salud (OMS) declara “pandemia”.
  - Más de 118 mil casos en 114 países de una nueva enfermedad: COVID-19, causada por un nuevo coronavirus llamado SARS-CoV-2.
- 1º de abril de 2020 - se han reportado más de 900 mil casos de COVID-19 a nivel mundial.
  - 191 mil recuperados
  - >45 mil personas han muerto (Dong, Du, and Gardner 2020).
  - Todos los continentes han reportado casos, excepto Antártica.

# Epidemiología

- Los primeros casos de COVID-19 se reportaron en diciembre del 2019, en Wuhan, provincia de Hubei en China.
  - Más de 80 mil casos y un total de 3,316 muertes hasta este día (Dong, Du, and Gardner 2020).
  - El pico de casos fue entre finales de enero y principios de febrero del 2020, con una incidencia a la baja a lo largo del mes de marzo.
- Se especula que la transmisión de la enfermedad es de persona a persona, a través de secreciones de la vía aérea.
  - El método de transmisión no ha sido definido por completo.

- El tiempo durante el cual un individuo contagiado es “infeccioso” no se ha determinado por completo.
  - Estudios de pacientes con síntomas leves sugirieron que el 90 % tendrían una prueba negativa después de 10 días.
  - Los pacientes con casos más graves, permanecen positivos por tiempos más largos (Liu, Yan, et al. 2020).
  - Otros estudios han sugerido que este período es más largo (8-37 días), con un promedio de 20 días (Zhou et al. 2020).
- Hasta la fecha, permanece incierto si la exposición al virus genera inmunidad. Información preliminar indica que ciertos anticuerpos si confieren protección.
- Se estima que el período de incubación es de 14 días.
  - La mayoría de casos se presentan entre el día 4-5 (Li et al. 2020; Guan et al. 2020).

# Sobre Modelos matemáticos y epidemiología

- Las enfermedades infecciosas, epidemias y pandemias han tenido en la historia de la humanidad un gran impacto en la morbilidad, mortalidad y generación de miedo o pánico.
- Se intenta hacer predicciones sobre la evolución de las enfermedades y posteriormente modelos para explicar su devenir, desarrollo e impactos.
- Desarrollo de pensamiento matemático y estadístico contemporáneo: modelos lineales generalizados, regresión lineal múltiple, análisis de datos categóricos, estadística espacial, métodos bayesianos y métodos estadísticos ("bootstrap" - GEE ("general estimating equations")).

# Epidemiología, matemática e informática

- La creación de equipos multidisciplinarios es de vital importancia para lograr una mirada holística a los fenómenos infecciosos.
  - Personal clínico o médico, epidemiólogos
  - Matemáticos, estadísticos, informáticos, biólogos, físicos (Casals, Guzmán y Caylà, 2009).
- La mayoría de enfermedades contagiosas son evaluadas con diversos modelos:
  - SEIR, SI, SEIS o EIR, "Generalized Linear Model" (GLM), Markov, modelos espaciales, modelos bayesianos, modelos de Montecarlo y "Generalized Estimating Equations" (GEE)

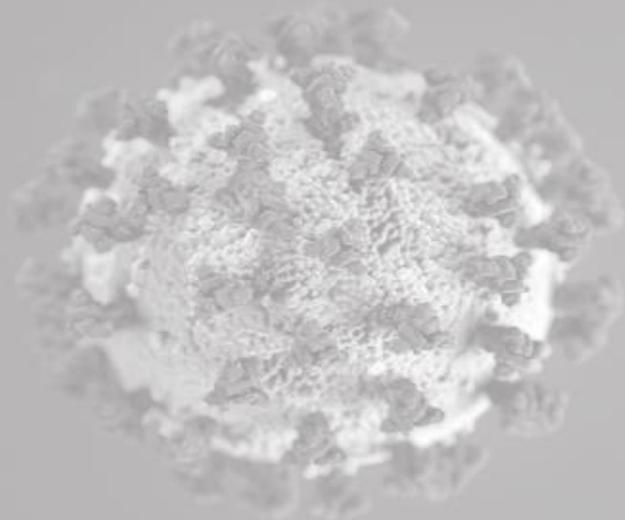
# El COVID-19 y los modelos adecuados

- Los modelos matemáticos de epidemias consisten en el uso del lenguaje y herramientas matemáticas para explicar y predecir el comportamiento de agentes infecciosos.
  - Modelizar o modelar es intentar extraer aspectos significativamente importantes de una situación real y plasmarlos en forma de expresiones y ecuaciones matemáticas.
  - Los modelos utilizan datos y crean simulaciones de contagio utilizando software especializado: STATA, R o Python.
- Existen dos tipos de modelos matemáticos: determinísticos y estocásticos.
  - Determinístico: se pueden controlar los factores que intervienen en el estudio del proceso o fenómeno y por tanto se pueden predecir con exactitud sus resultados.
  - Estocástico no es posible controlar los factores que intervienen en el estudio del fenómeno y en consecuencia no produce simples resultados únicos. Cada uno de los resultados posibles se genera con una función de “probabilidad” (Montesinos-López, Hernández-Suárez, 2007).

# 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.

# Resultados del modelo SIR

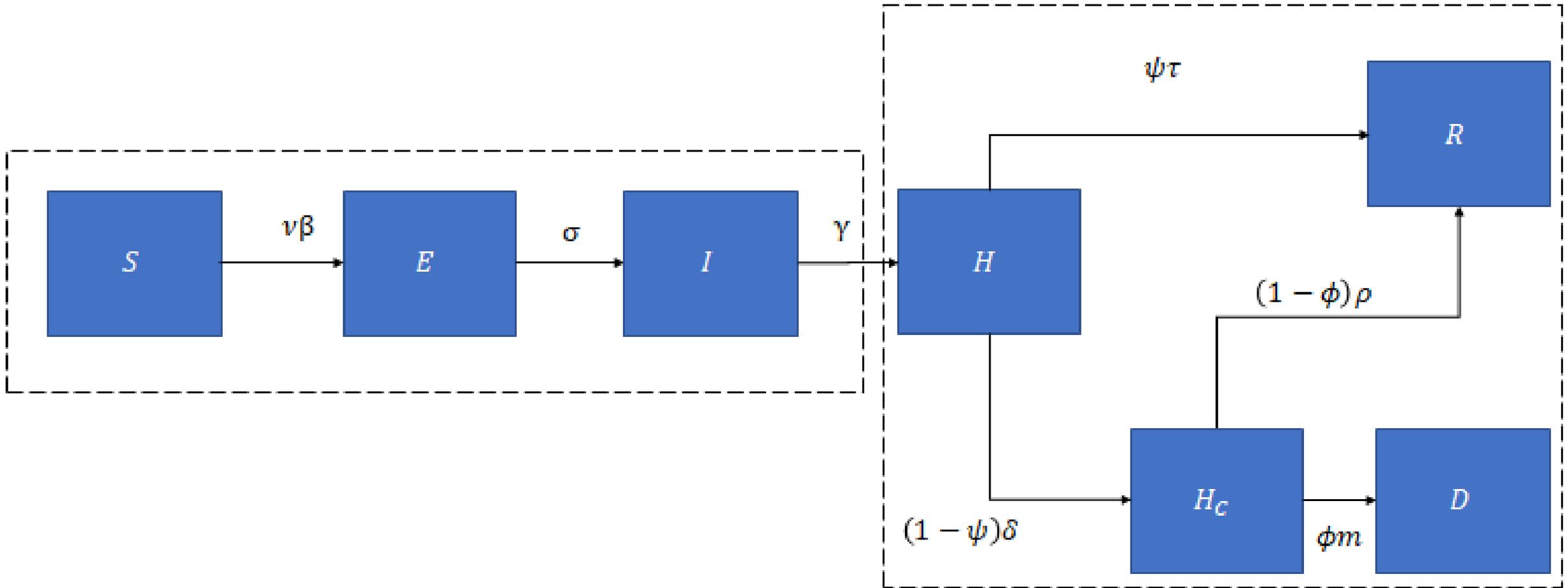


# Datos del modelo: Variables

Símbolo	Descripción	VALOR
S	Población susceptible en el país.	6,581,859
E	Población expuesta.	15
I	Población infecciosa.	1
R	Población recuperada. Ya no poseen síntomas y están completamente curados de la enfermedad.	0
H	Población hospitalizada. Personas que dieron positivo en la prueba de COVID-19 y están completamente aisladas, bajo supervisión o cuidado médico.	27
HC	Población en cuidados intensivos. Personas severamente enfermas por coronavirus que están bajo atención médica en UCI.	2
D	Población fallecida. Individuos que murieron en consecuencia de estar enfermos por COVID-19.	2

Símbolo	Descripción	Escenario optimista	Escenario Moderado	Escenario Crítico
$\beta$	Tasa de transmisión del COVID-19. Estimada (mundialmente) a partir de los datos de <a href="https://www.worldometers.info/coronavirus/">https://www.worldometers.info/coronavirus/</a>	1.1897	1.1897	1.1897
$\sigma^{-1}$	Tiempo promedio de incubación del virus. (OMS)	5.2	5.2	5.2
$\gamma^{-1}$	Tiempo promedio (en días) que tarda una persona enferma en libertad en ser aislada.	1.26	2.1	3.36
$\tau^{-1}$	Período promedio (en días) en que un individuo pasa hospitalizado antes de recuperarse.	12.74	11.9	10.64
$\rho^{-1}$	Tiempo promedio que tarda una persona en cuidados intensivos en pasar a cuidados intermedios.	8.74	7.9	6.64
$\delta^{-1}$	Tiempo promedio que tarda un individuo hospitalizado en ser ingresado a cuidados intensivos.	3	3	3
$m^{-1}$	Esperanza de vida de individuos en cuidados intensivos. (33-gamma-delta)	25.14	24.3	23.04
$\nu$	Efectividad de aislamiento en el país, excluyendo los albergues.	0.7, 0.77, 0.83	0.46, 0.58, 0.7	0.32, 0.47, 0.62
$\psi$	Proporción de población hospitalizada que se recupera en totalidad de la enfermedad.	0.95	0.95	0.95
$\varphi$	Proporción de individuos en cuidados intensivos que mueren de coronavirus.	0.09	0.09	0.09

# Datos del modelo



# Ecuaciones del modelo

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

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

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

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

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

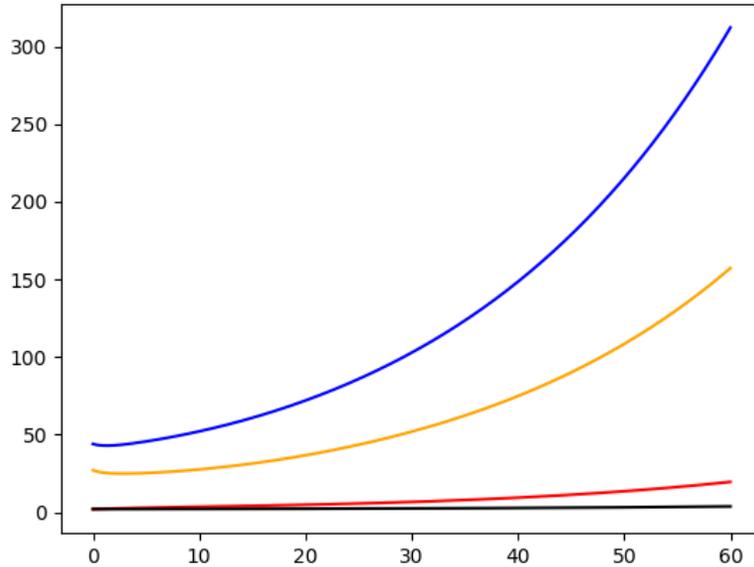
$$\bullet H_C' = (1 - \psi)\delta H - ((1 - \phi)\rho + \phi m)H_C \quad (6)$$

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

# Escenario 1: Optimista

Nota: La tasa de mortalidad podría oscilar entre 0.3 y 3.4%

## Efectividad de aislamiento: baja

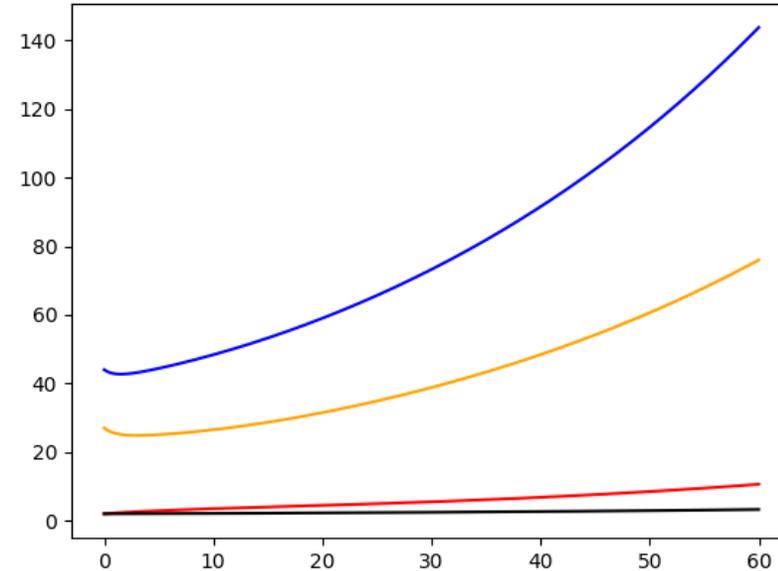


Al cabo de 60 días habrá:

- **313** infectados
- **158** personas serían hospitalizadas
- **20** pasarían a UCI
- **4** podrían fallecer

En este caso la efectividad de aislamiento es relativamente baja.

## Efectividad de aislamiento: media

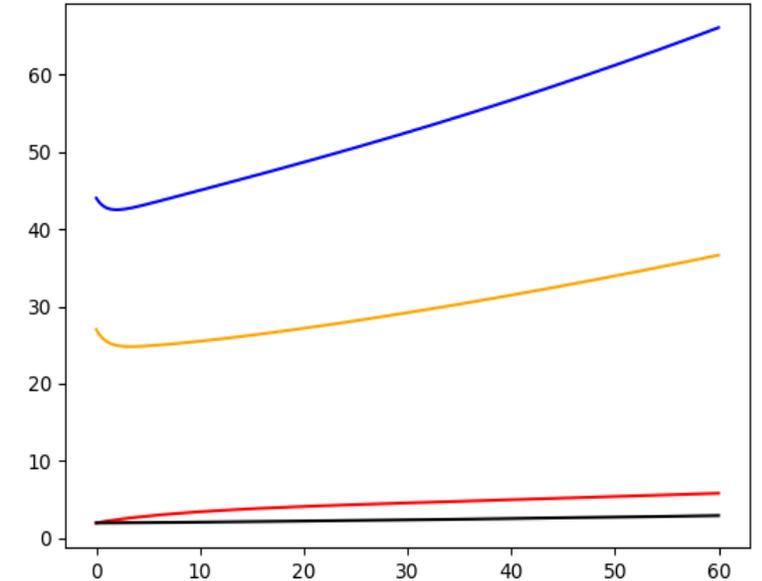


Al cabo de 60 días habrá:

- **144** infectados
- **77** personas serían hospitalizadas
- **11** pasarían a UCI
- **4** podrían fallecer

En este caso la efectividad de aislamiento es moderada.

## Efectividad de aislamiento: alta



Al cabo de 60 días habrá:

- **67** infectados
- **37** personas serían hospitalizadas
- **6** pasarían UCI
- **3** podrían fallecer.

En este caso la efectividad de aislamiento es relativamente alta.

— Total Infectados

— Hospitalizados

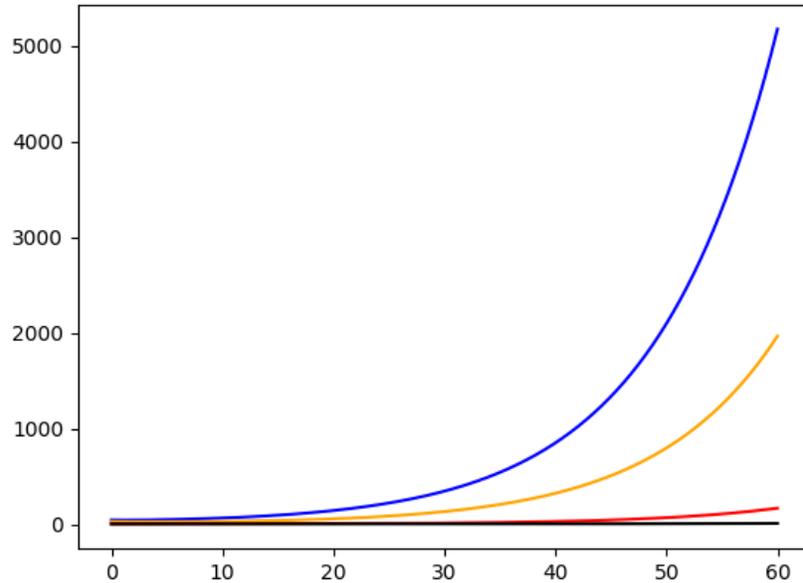
— UCI

— Muertes

# Escenario 2: Moderado

Nota: La tasa de mortalidad podría oscilar entre 0.3 y 3.4%

## Efectividad de aislamiento: baja

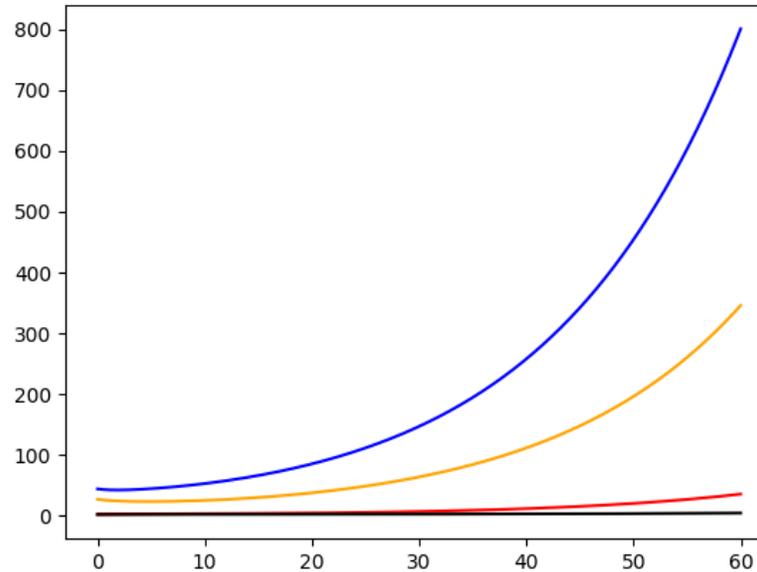


Al cabo de 60 días habrá:

- **5,175** infectados
- **1,965** personas serían hospitalizadas
- **167** pasarían a UCI
- **9** podrían fallecer

En este caso la efectividad de aislamiento es relativamente baja.

## Efectividad de aislamiento: media

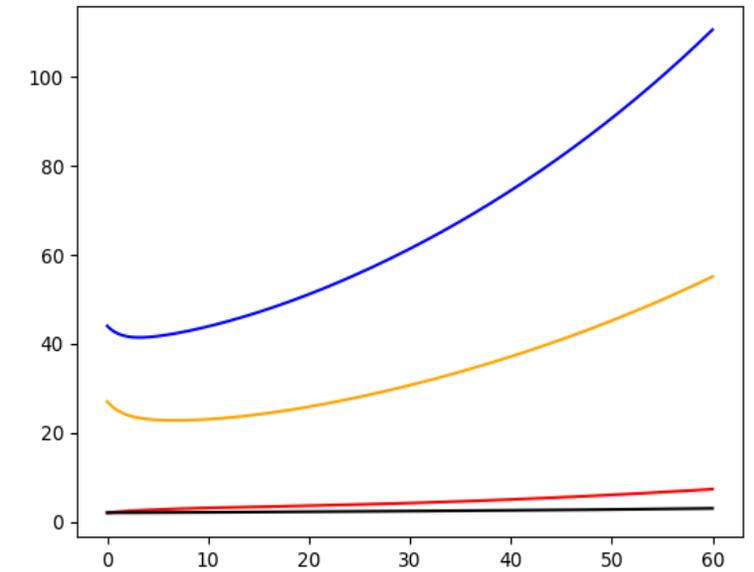


Al cabo de 60 días habrá:

- **801** infectados
- **346** personas serían hospitalizadas
- **36** pasarían a UCI
- **5** personas podrían fallecer

En este caso la efectividad de aislamiento es moderada.

## Efectividad de aislamiento: alta



Al cabo de 60 días habrá:

- **111** infectados
- **56** personas serían hospitalizadas
- **8** pasarían a UCI
- **3** personas podrían fallecer

En este caso la efectividad de aislamiento es relativamente alta.

— Total Infectados

— Hospitalizados

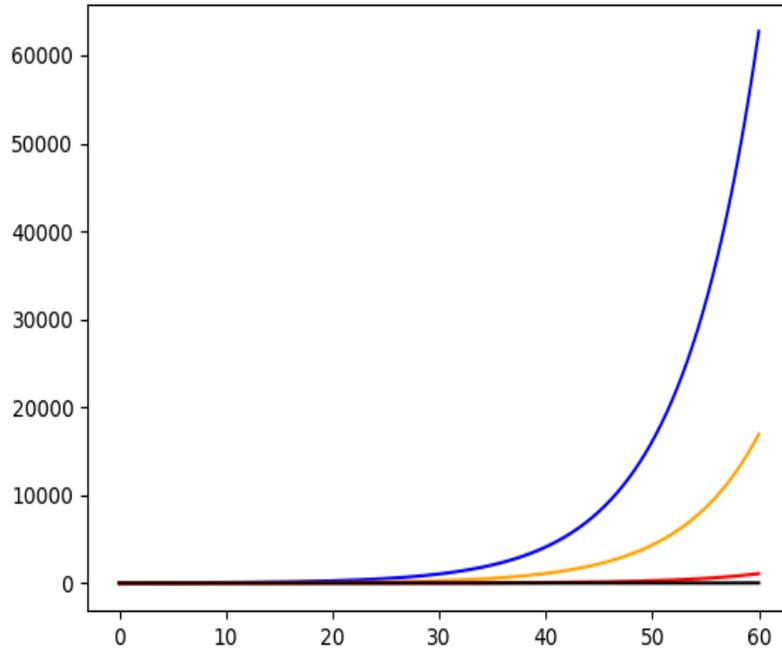
— UCI

— Muertes

# Escenario 3: Crítico

Nota: La tasa de mortalidad podría oscilar entre 0.3 y 3.4%

## Efectividad de aislamiento: baja

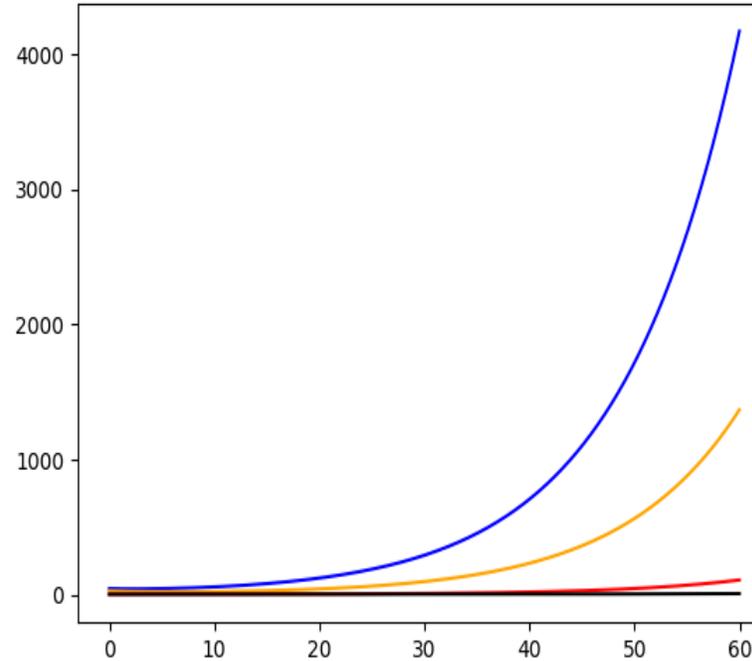


Al cabo de 60 días habrá:

- **62,710** infectados
- **16,926** personas serían hospitalizadas
- **1089** pasarían a UCI
- **34** personas podrían fallecer.

En este caso la efectividad de aislamiento es relativamente bajo.

## Efectividad de aislamiento: media

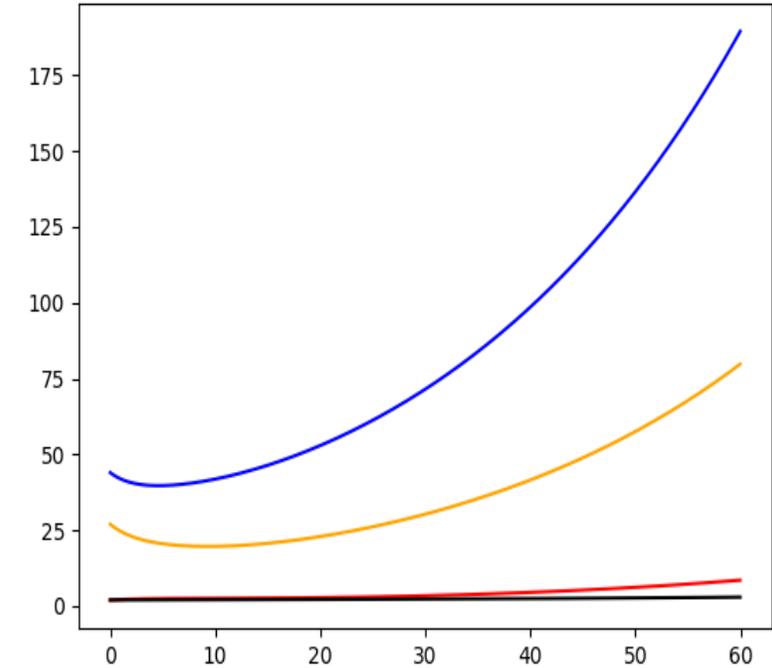


Al cabo de 60 días habrá:

- **4,175** infectados
- **1,369** personas serían hospitalizadas
- **108** pasarían UCI
- **7** personas podrían fallecer

En este caso la efectividad de aislamiento es moderada.

## Efectividad de aislamiento: alta



Al cabo de 60 días habrá:

- **190** infectados
- **80** personas serían hospitalizadas
- **9** pasarían a UCI
- **3** personas podrían fallecer

En este caso la efectividad de aislamiento es relativamente alta.

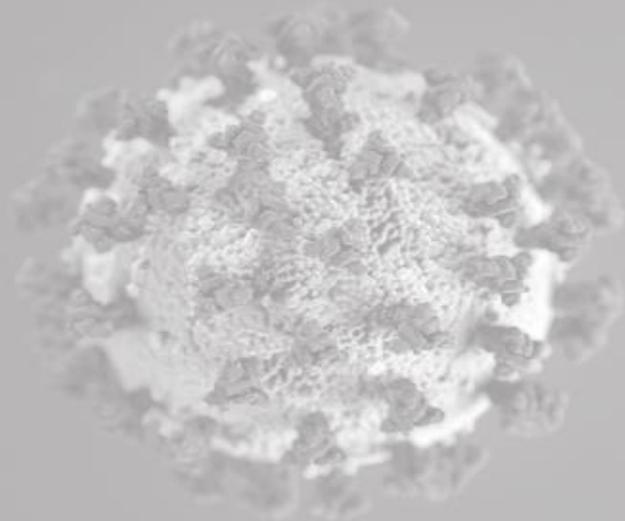
— Total Infectados

— Hospitalizados

— UCI

— Muertes

# Escenarios comparados



# Costa Rica

Hitos	Dato
Fecha de primer caso	6 de marzo 2020
Casos a 15 días	177
Casos a 30 días	347
Fallecidos	2
Recuperados	4
Pruebas aplicadas a 15 días	N/D
Cierre de aeropuerto	16 de marzo 2020
Cierre Migratorio	16 de marzo 2020
Cuarentena / Toque de queda	16 de marzo 2020
Principales medidas	9 de marzo 2020
Hospital provisional	1
No de camas	88
No de UCI	88

# Guatemala

Hitos	Dato
Fecha de primer caso	13 de marzo 2020
Casos a 15 días	24
Casos a 30 días	39
Fallecidos	1
Recuperados	10
Pruebas aplicadas a 15 días	Entre 622 y 738
Cierre de aeropuerto	17 de marzo 2020
Cierre Migratorio	17 de marzo 2020
Cuarentena	16 de marzo 2020
Principales medidas	16 de marzo 2020
Hospital provisional	2
No de camas	140 / 100
No de UCI	48 / 12

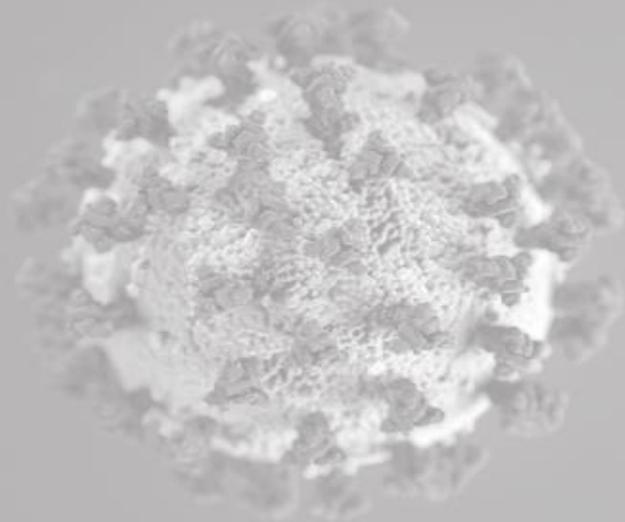
# Honduras

Hitos	Dato
Fecha de primer caso	12 de marzo 2020
Casos a 15 días	
Casos a 30 días	172
Fallecidos	10
Recuperados	3
Pruebas aplicadas a 15 días	343 +/-
Cierre de aeropuerto	16 de marzo 2020
Cierre Migratorio	16 de marzo 2020
Cuarentena	18 de marzo 2020
Principales medidas	15 de marzo 2020
Hospital provisional	0 – Habilitan 13 existentes
No de camas	N/D
No de UCI	N/D

# Resumen

Hitos	Costa Rica	Honduras	Guatemala	El Salvador
Fecha de primer caso	6 de marzo 2020	12 de marzo 2020	13 de marzo 2020	18 de marzo 2020
Casos a 15 días	177	N/D	24	32
Casos a 30 días	347	172	39	-
Fallecidos	2	10	1	1
Recuperados	4	3	10	N/D
Pruebas aplicadas a 15 días	347	343	Entre 628 y 738	N/D
Cierre de aeropuerto	16 de marzo 2020	16 de marzo 2020	17 de marzo 2020	17 de marzo 2020
Cierre Migratorio	16 de marzo 2020	16 de marzo 2020	17 de marzo 2020	Total: desde 17 de marzo
Cuarentena	16 de marzo 2020	18 de marzo 2020	16 de marzo 2020	20 de marzo
Principales medidas	9 de marzo	15 de marzo	16 de marzo	7 de marzo
Hospital provisional	1		2	1 previsto
No de camas	88	N/D	140 / 100	2,300 previstas
No de UCI	88	N/D	48 / 12	1000 previstas

# Proyecciones en base a modelos



# Camas hospitalarias (60 días)

- En el peor de los escenarios El Salvador necesitaría **16,926** camas.
- En el mejor de los escenarios El Salvador necesitaría **37** camas.

# Unidad de Cuidados Intensivos (60 días)

- En el peor de los escenarios El Salvador necesitaría **1,089** camas de UCI's.
- En el mejor de los escenarios El Salvador necesitaría **6** camas de UCI's.

# Capacidad del sistema de salud

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

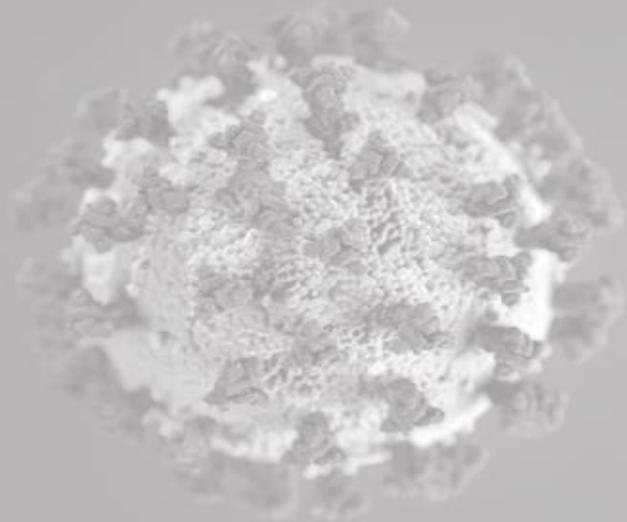
	Actual	Peor escenario: requerimiento en 60 días*	Brecha
Camas	6,557	16,926	-10,369
Camas de UCI	238	1,089	-851
Médicos generales o residentes	3,587	2,821	766
Intensivistas**	60	272	-213
Enfermeras	4,605	4,232	374

\* Se asume 1 médico por 6 camas, 1 intensivista por 4 camas y 1 enfermera por 4 camas. Todos trabajando en 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 y técnicos de terapia respiratoria.

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

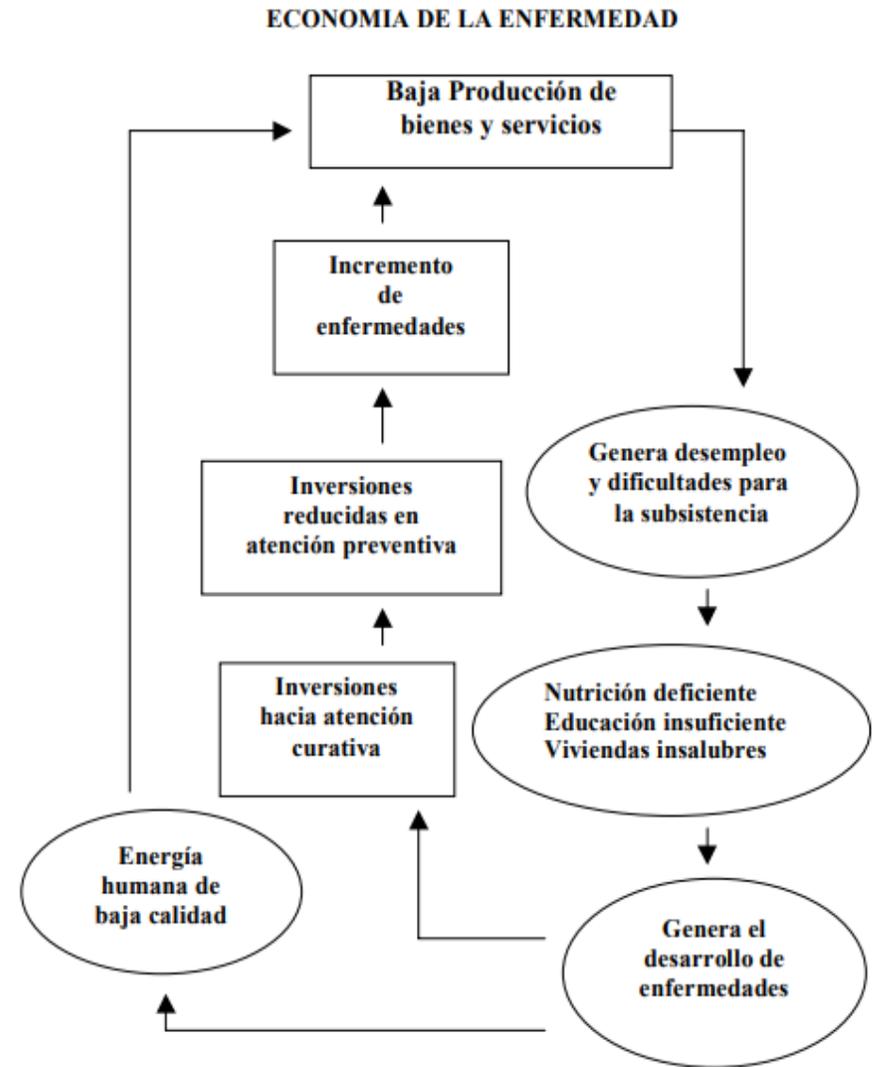
# Economía y Salud Pública en momentos de crisis



# Algunas reflexiones

- La relación entre decisiones económicas y de salud pública son interdependientes, complejas y co-determinantes entre sí en efecto, “la economía, pensada en función de la inversión, los costos y los gastos o comportamientos, ha pasado a adoptar una posición mucho más crítica y de interacción interdisciplinaria para explicar la dinámica y las relaciones entre el sistema económico, el entorno y las instituciones” (Applying behavioral economics to public health policy: Illustrative examples and promising directions JL Matjasko, JH Cawley, MM Baker-Goering, DV Yokum Am J Prev Med, 50: S13-Ss9, 2016).
- Desde finales del siglo XVIII, existen referencias sobre las relaciones entre salud, economía y desarrollo. Casi un siglo después la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha venido contribuyendo a encontrar métodos idóneos para adaptar la misión del Sector Salud, al nuevo contexto económico y social internacional. En el “Informe sobre la salud en el mundo, 1998. La vida en el siglo XXI: Una perspectiva para todos”, en ocasión del 50 Aniversario de la OMS; se recoge como una preocupación creciente sobre los recursos destinados a la salud en contextos desiguales

- En suma, para que la economía de la salud sea una herramienta eficaz y la salud pública sea mejor, se requieren interdisciplinariedad, comprensión de la complejidad, mayor conciencia y atención gubernamentales, así como científicidad y formación. Aquí el diálogo es esencial; sobre todo superar el divorcio entre política económica y política social.
- Si tomamos solo uno de los aspectos del concepto salud, la enfermedad, queda clara su conexión con la economía y la influencia en ambos sentidos, de la una sobre la otra



Economía y Salud Conceptos, Retos y Estrategias  
(Cosme C; Cárdenas R; Miyar A; OPS, 1999)

- El debate entre establecer distanciamiento social –a través de una cuarentena- para evitar el contagio de COVID-19 y la supervivencia de las microempresas y el comercio informal, es esencial; también, al margen de las reservas, las medianas y grandes empresas pueden caer en crisis o pérdida de competitividad.
- Según los últimos sondeos recientes (CAMARASAL Y ANEP) un mes es el margen de tolerancia máximo que tienen los pequeños comerciantes par mantener cerrados sus negocios, luego se iría a la quiebra, sobre todo si se tienen que cumplir obligaciones salariales sin ingresos.

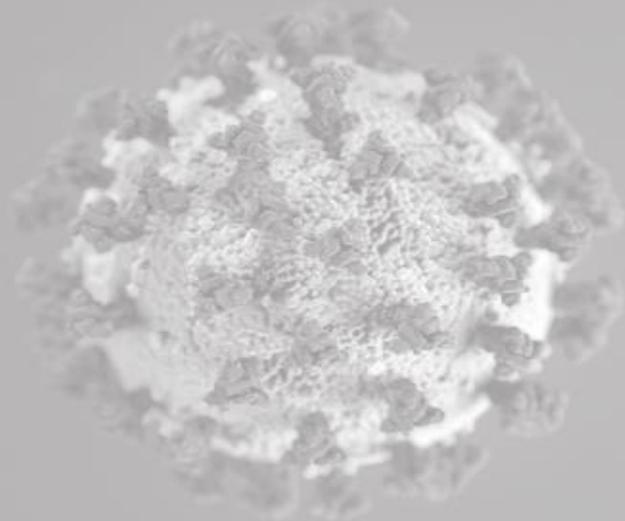
# Beyond coronavirus: The path to the next normal (McKinsey & Company)

- Cada vez está más claro que nuestra era estará definida por un cisma fundamental: el período anterior a COVID-19 y la nueva normalidad que surgirá en la era post-viral: la "próxima normalidad". En esta nueva realidad sin precedentes, seremos testigos de una dramática reestructuración del orden económico y social en el que los negocios podrán cambiar.
- ¿Qué se necesitará para enfrentar esta crisis, ahora que nuestras métricas y suposiciones tradicionales se han vuelto irrelevantes? Nuestra respuesta es un llamado a actuar en cinco etapas:
  - 1.- Resolución
  - 2.- Resistencia
  - 3.- Retorno
  - 4.- Reimaginación y
  - 5.- Reforma.

# Seis hipótesis

- 1.- Si no hay equidad en la región en medidas productivas en torno al COVID-19, habrá serios desequilibrios comerciales;
- 2.- ¿Cuál es el ciclo de la crisis y cuál es el criterio real de la cuarentena?, ¿15 días o 40 días?
- 3.- Salvaguardando con medidas específicas a las personas más vulnerables que afectan por el COVID-19, aún así, ¿debe estar gran parte del aparato productivo cerrado?
- 4.- Existen estudios, datos, información entre los costos económicos de las medidas tomadas por COVID-19
- 5.- En lo que respecta a la proyecciones globales para el sector salud ante la crisis de COVID-19 (Hospitales, camas, UCI, Médicos, enfermeras, equipo) ¿las mismas sobre qué base se hace?, ¿cuál es el costo?, ¿existen escenarios progresivos razonables?
- 6.- ¿Se ha realizado valoraciones fiscales del país ante y post crisis, y prospectivas del sistema de salud de mediano plazo?

# Reflexiones finales y conclusiones



# Conclusiones

- El escenario más real –a 60 días desde el inicio- que enfrenta El Salvador oscila entre los siguientes datos:
- A) Lo Moderado: **5,175 infectados**; de los cuales 1,965 personas serían hospitalizadas, 167 pasarían a Cuidados Intensivos y podrían fallecer nueve personas.
- B) Lo crítico: **62,710 infectados**; de los cuales 16,926 personas serían hospitalizadas, 1089 pasarían a Cuidados Intensivos y podrían fallecer 34 personas.
- Las proyecciones de “Progresión Matemática” dónde  $3 \times 2^n$ , para  $n = 0,1,2,3,5, \dots$  (asumiendo que el número de casos se duplica cada 3 días); logrando un crecimiento exponencial en dónde la cifra se multiplica por dos: 3,6,12,24,48,96,... hasta llegar a 3,145,728 infectados es irreal, debido a las tres medidas tomadas (cierre de aeropuerto, cierre migratorio y albergues).

# Recomendaciones

- Crear un programa de “identificación de inmunidad” (ver Modelo de Carlos Hernández, PhD México) para reconvertir la fuerza productiva y no paralizar la economía.
- Crear un programa de especialización médica, rápido y eficaz de capacitación de intensivistas, para neumólogos, internistas, etc. Para ir cerrando la brecha.
- Diseñar un programa de dotación de camas y salas UCI sobre la base de la proyección del modelo a escala de 15 días a un mes, para ir alcanzando el cierre de brecha.
- Continuar corriendo modelos matemáticos para hacer ajustes y afinar los datos y resultados.
- Se tienen que correr la mayor cantidad de test de PCR para verificar identificar infectados e inmunes.
- Apoyar a las empresas, instituciones, universidades que pueden aportar equipos y equipamiento.