

ABRIL 2020

EL SALVADOR Y EL COVID19:

Modelos matemáticos, datos y perspectivas

EL SALVADOR
AND COVID19:
Mathematical models,
data and perspectives

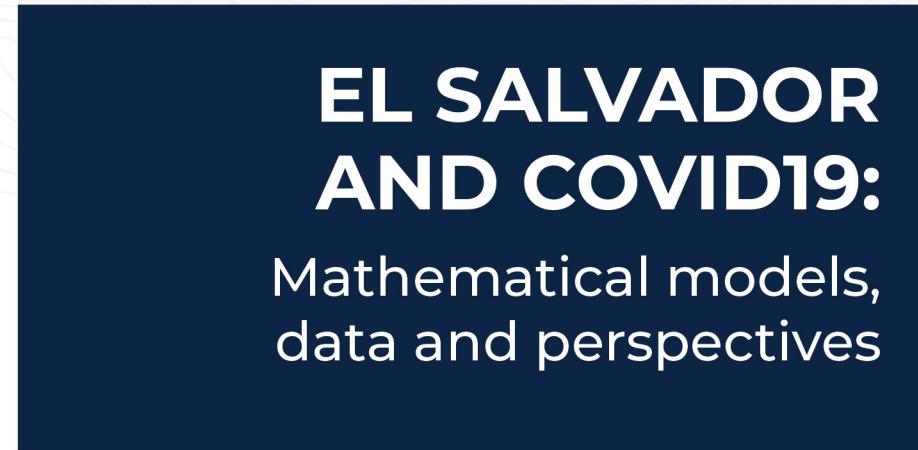
APRIL 2020

Oscar Picardo Joao, PhD (Coord.)
Helga Cuéllar-Marchelli, PhD
Javier Cladellas, BMath
James Humberstone, Eng
Óscar Luna, BA
Roberto J. Vidrí, MD, MPH

ABRIL 2020

EL SALVADOR Y EL COVID19:

Modelos matemáticos, datos y perspectivas



APRIL 2020

Oscar Picardo Joao, PhD (Coord.)
Helga Cuéllar-Marchelli, PhD
Javier Cladellas, BMath
James Humberstone, Eng
Óscar Luna, BA
Roberto J. Vidrí, MD, MPH

Misión

La formación de profesionales competentes, innovadores, emprendedores y éticos, mediante la aplicación de un proceso académico de calidad que les permita desarrollarse en un mundo globalizado.

Visión

Ser la mejor universidad salvadoreña, con proyección global, que se caracteriza por la calidad de sus graduados, de su investigación, de su responsabilidad social y de su tecnología.

Consejo Directivo

Presidenta: MEd. Rosario Melgar de Varela

Vicepresidente: Ing. Oscar Armando Rivera Andino

Secretaria General: MEd. Teresa de Jesús González de Mendoza

Primer Vocal: Dr. e Ing. Mario Antonio Ruiz Ramírez

Segunda Vocal: Ing. Ruth María Portillo Guevara

Rector

Dr. e Ing. Mario Antonio Ruiz Ramírez

Vicerrectora

Dra. Leticia Andino de Rivera

Secretaria General

MEd. Teresa de Jesús González de Mendoza

Dirección y contacto

Universidad Francisco Gavidia: Calle El Progreso n.º 2748, Edificio de Rectoría, San Salvador, El Salvador. Tel. (503) 2249-2700

www.ufg.edu.sv



Fundación Salvadoreña para
el Desarrollo Económico y Social

Miguel Ángel Simán

Presidente

José Ángel Quirós

Director Ejecutivo

Elena María de Alfaro

Asesora de Junta Directiva

Coordinadora de Comisión del Departamento de Estudios Sociales, DES

Helga Cuéllar-Marchelli

Directora, Departamento de Estudios Sociales, DES

Misión de FUSADES

Ser un centro de pensamiento e investigación de alta credibilidad, que promueva el progreso económico y social de los salvadoreños, mediante el desarrollo sostenible, bajo un sistema democrático y de libertades individuales, incentivando el diálogo como mecanismo de búsqueda de acuerdos de país.

Misión del Departamento de Estudios Sociales

Generar conocimiento y recomendaciones de política social, promover el diálogo y debate calificado, e incidir en acciones de contraloría social desde la sociedad civil.

Misión

Diseñar, promover y acompañar iniciativas, políticas, programas y proyectos académicos empresariales para el desarrollo de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación que impacten en la productividad y competitividad de El Salvador.

Visión

Ser el instituto científico líder en El Salvador en el desarrollo de la ciencia, la tecnología y la innovación.

Director

Oscar Picardo Joao, PhD.

UFG EDITORES

Coordinación

Jenny Lozano

Diagramación y diseño

Gustavo A. Menjívar

DIRECCIÓN Y CONTACTO

Calle El Progreso n.º 2748, Edificio de Rectoría, San Salvador, El Salvador, Centroamérica.
Tel.: (503) 2249-2700 y (503) 2249-2716
Correo electrónico: editores@ufg.edu.sv
www.ufg.edu.sv

DE ESTA EDICIÓN

Título: El Salvador y el COVID19: Modelos matemáticos, datos y perspectivas.

AUTORES:

Oscar Picardo Joao, PhD

Profesor Adjunto

Simon A. Levin Mathematical, Computational and Modeling Sciences Center. Director del Instituto de Ciencia, Tecnología, e Innovación UFG
opicardo@asu.edu

Helga Cuéllar-Marchelli, PhD

Directora del Departamento de Estudios Sociales, FUSADES
hcuellar@fusades.org

Javier Cladellas, BM

Centro de Modelaje Matemático “Carlos Castillo Chávez”, UFG
jcladellas@ufg.edu.sv

James Humberstone, Eng

Centro de Modelaje Matemático “Carlos Castillo Chávez”, UFG
jhumberstone@ufg.edu.sv

Óscar Luna, BP

Jefe editorial Disruptiva.media
e.oluna@ufg.edu.sv

Roberto J. Vidri, MD, MPH

Instructor Clínico
Tufts University School of Medicine
rvidri01@tufts.edu

Colección: Ciencias Sociales

Primer edición

©Instituto de Ciencia, Tecnología e Innovación (ICTI), 2020.

ISBN 978-99923-47-82-9

El contenido y opiniones vertidas en la publicación son responsabilidad exclusiva del autor. Este documento puede ser utilizado atendiendo las condiciones de la Licencia Creative Commons: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



Para citar:

Picardo Joao, O., Cuéllar-Marchelli, H., Cladellas, J., Humberstone, J., Luna, O., Vidri, R. (2020). *El Salvador y el COVID19: Modelos matemáticos, datos y perspectivas*. San Salvador: UFG Editores.

E-book

Abril de 2020, San Salvador, República de El Salvador, Centroamérica.

Consejo de Redacción

Oscar Picardo Joao

Director del Instituto de Ciencia, Tecnología e Innovación (ICTI-UFG).

Correo electrónico: opicardoj@ufg.edu.sv

Rainer Christoph

Investigador Nanotecnología ICTI-UFG.

Correo electrónico: rainer@nanotecnia.net

Rolando Balmor Pacheco

Director de Egresados y Graduados UFG.

Correo electrónico: rpacheco@ufg.edu.sv

Dr. David López

Investigador asociado ICTI-UFG.

Correo electrónico: davidelopez@hotmail.com

Dr. Marlio Paredes

Departamento de Matemáticas de la Universidad del Valle, Cali, Colombia. Investigador visitante del Simon A. Levin Mathematical, Computational and Modeling Sciences Center, Arizona State University.

Correo electrónico: marlio.paredes@correounalvalle.edu.co

Oscar Picardo Joao; docente, escritor, investigador educativo, con especialidad en políticas públicas educativas. Es director del Instituto de Ciencia, Tecnología e Innovación de la Universidad Francisco Gavidia y fundador del Instituto de Investigación para el Aprendizaje (IIA).

Helga Elisa Cuéllar-Marchelli. Directora del Departamento de Estudios Sociales. Economista con Doctorado en Educación Internacional y Comparada con énfasis en economía y finanzas de la educación de Columbia University, Nueva York. Cuenta con 25 años de experiencia relacionada al análisis e investigación de políticas públicas, enfocada en educación y áreas sociales.

Javier Cladellas, licenciado en Matemáticas fundamentales. Graduado de la Universidad de Estrasburgo, Francia. Actualmente, investigador del Centro de Modelaje Matemático Carlos Castillo-Chávez.

James Edward Humberstone Morales, máster en Informática aplicada en Redes; realizó una estancia en el Simon A. Levin Mathematical, Computational and Modeling Sciences Center (ASU). Es investigador en las áreas de matemáticas y ciencias de datos en el Centro de Modelaje Matemático CMMC³ del Instituto de Ciencia, Tecnología e Innovación de la Universidad Francisco Gavidia (UFG).

Óscar Luna, comunicador, productor en artes, periodista; durante diez años fue jefe multimedia del periódico *El Faro*. Actualmente es editor general de la revista disruptiva. media en la Universidad Francisco Gavidia.

Roberto Vidri, MD, MPH, médico general, graduado de UCIMED, Costa Rica; residencia en la Universidad de Brown. Posee un máster en salud pública con enfoque en epidemiología y métodos de investigación de la escuela de salud pública de la Universidad de Harvard. Actualmente trabaja como cirujano en Portland, ME. Es instructor clínico de cirugía en la Tufts University en Boston, MA.

Agradecimientos a: Carlos Castillo-Chávez, PhD, ASU; Carlos Hernández, Universidad de Colima, México; Juan Aparicio, Universidad de Salta, Argentina; Marlio Paredes, Universidad del Valle, Colombia y Thomas Bossert, PhD, Director International Health Systems Program, Department of Global Health and Population, Harvard T.H. Chan School of Public Health.

También a Gabriela María Góchez Magaña y Ana Marcela López Torres, investigadoras del Departamento de Estudios Sociales de FUSADES, por su apoyo en la recolección de información sobre el sector salud que sirvió de insumo para la elaboración de este informe.

Índice de contenidos

- 15** Resumen, Abstract y Descriptores
- 17** Introducción
- 21** El COVID-19 y las matemáticas
- 23** El COVID-19 y los modelos indicados
- 25** El modelo SEIR aplicado y los escenarios
- 28** Limitaciones y alcances del modelo
- 30** Resultados
- 37** COVID-19: Notas epidemiológicas
- 42** Estudios comparados sobre COVID-19:
Costa Rica, Guatemala y Honduras
- 46** Conclusiones y recomendaciones de
política pública
- 57** Nota técnica final
- 58** Bibliografía

Table of contents

- 69** Abstract and Descriptors
- 71** Overview
- 75** COVID-19 and mathematics
- 77** COVID-19 and the indicated models
- 79** The applied SEIR model and scenarios
- 82** Model limitations and scope
- 84** Results
- 91** COVID-19: Epidemiological notes
- 96** Comparative studies on COVID-19:
Costa Rica, Guatemala and Honduras
- 100** Conclusions and recommendations
for Public Policy
- 110** Final technical note
- 111** Bibliography



Resumen

El siguiente informe presenta datos, preguntas y perspectivas desde la relación entre economía y salud, a raíz de la pandemia de COVID-19 y su desarrollo en El Salvador; posteriormente, con el modelo matemático SIR/SEIR se corren escenarios en Python para conocer el desarrollo de la pandemia y poder proyectar políticas, medidas y programas para atender la crisis. Las escalas de aislamiento (baja, media y alta) proponen tres posibilidades razonables: optimista, moderada y crítica.

Abstract

The following report presents data, questions and perspectives pertaining to the relationship between economy and health as a result of the COVID-19 pandemic and its development in El Salvador. Subsequently, utilizing SIR / SEIR mathematical models, scenarios are presented to better understand the evolution of the pandemic and facilitate the creation of public policies, responses, and programs to deal with this crisis. Different projections, based on effectiveness of isolation measures (low, medium and high), present three reasonable possibilities for El Salvador: optimistic, moderate and critical.

Descriptores: Epidemiología; COVID-19; Modelos matemáticos; Economía; Salud; SIR; SEIR; El Salvador; políticas públicas.



Introducción

La pandemia de COVID-19 (acrónimo del inglés *coronavirus disease*) fue declarada por la OMS el 11 de marzo de 2020; es una enfermedad infecciosa causada por el virus SARS-CoV-2, la cual se detectó por primera vez en la ciudad china de Wuhan (provincia de Hubei) en diciembre de 2019. El exacerbado contagio a nivel global y en escalas significativas ha comenzado a generar serios problemas sanitarios y económicos.

La relación entre decisiones económicas y de salud pública son interdependientes, complejas y codeterminantes 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, J.L., Cawley J.H., Baker-Goering, M.M., Yokum, D.V.; Am J Prev Med, 50:S13-Ss9, 2016*).

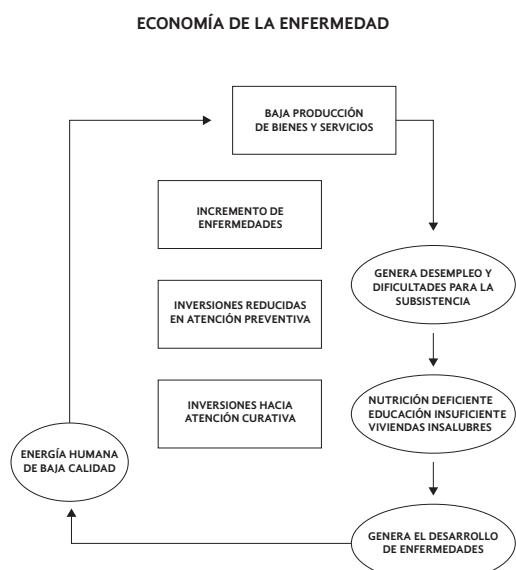


Figura n.º1. Economía de la enfermedad. Fuente: Organización Panamericana de la Salud, *Economía y Salud. Conceptos, Retos y Estrategias*, 1999.

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.

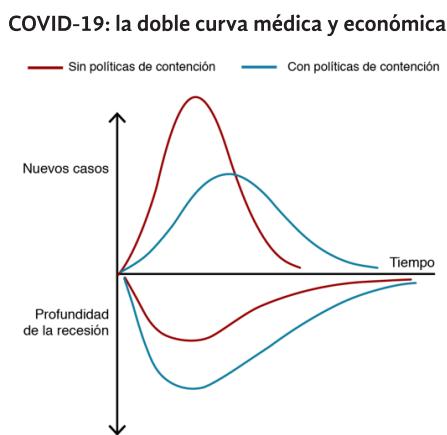


Figura n.º2. COVID-19: la doble curva médica y económica.
Fuente: Richard Baldwin. Inspirado en ilustraciones de Pierre-Olivier Gourinchas. Publicado en BBC.

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, tal como lo proponen Cosme, C.; Cárdenas, R. y Miyar, A. (*Economía y Salud Conceptos, Retos y Estrategias*, 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 una encuesta reciente de la Cámara de Comercio e Industria de El Salvador (CAMARASAL) a microempresas, un mes es el margen de tolerancia máximo que tienen los pequeños comerciantes para mantener cerrados sus negocios; luego, se irían a la quiebra, sobre todo si se tienen que cumplir obligaciones salariales sin ingresos. A la fecha del sondeo empresarial (30 de marzo de 2020); en dónde participaron 301 empresas de los sectores comercio, industria y servicios, distribuidas de la siguiente manera 44% micro, 32% pequeña, 16% mediana y 9% grande, se obtiene que el 85% de las ventas ha disminuido, 13% se mantienen y apenas el 2% se ha incrementado. En la misma línea, el sondeo de la Asociación



Nacional de la Empresa Privada (ANEP) (27-29 de marzo de 2020) registra datos económicos empresariales preocupantes, después de consultar a 932 empresas agremiadas, de al menos siete sectores –micro, pequeña, mediana y grande- en dónde se refleja: caída en las ventas, supresión de plazas, problemas en pago a acreedores, entre otros.

La pandemia de COVID-19 por su beligerancia contagiosa representa un dilema muy crítico entre economía y salud; en efecto, en la medida que se adoptan medidas más drásticas de distanciamiento social para aplicar la curva epidemiológica, se restringe la movilidad social y esto impacta proporcionalmente en la economía de un país.

Sabiendo que la salud está por encima de lo económico, no deja de inquietar los alarmantes efectos en el sistema productivo y las posibles recesiones económicas; particularmente, el duro golpe al comercio informal, micro y medianas empresas.

La doble curva médica y económica es una imagen de paradoja para los tomadores de decisión, ya que un equilibrio entre políticas de contención y supervivencia del sistema empresarial nos pueden presentar un escenario de disminución sustantiva de la enfermedad y a la vez, una economía en *default*.

A juicio de McKinsey & Company en *Beyond coronavirus: The path to the next normal*: “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 pueden afectarse significativamente. ¿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”.

No obstante, estas sugerencias suponen contar con datos e información rigurosa y relevante, para diseñar políticas económicas y de salud coherentes a las necesidades y proyecciones; y al menos, intentar establecer algunas preguntas e hipótesis de trabajo:

- Si no hay equidad en la región en medidas productivas en torno al COVID-19, ¿habrá serios desequilibrios comerciales?
- ¿Cuál es el ciclo de la crisis y cuál es el criterio real de la cuarentena?, ¿15 días o 40 días?
- Salvaguardando con medidas específicas a las personas más vulnerables afectadas por el COVID-19, aun así, ¿debe estar gran parte del aparato productivo cerrado?
- ¿Existen estudios, datos, información entre los costos económicos de las medidas tomadas por COVID-19?
- En lo que respeta a las 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?
- ¿Se han realizado valoraciones fiscales del país ante y postcrisis, y prospectivas del sistema de salud de mediano plazo?



COVID-19 y las matemáticas

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, lo que seguramente propició que desde hace años se intentaran hacer predicciones sobre la evolución de las enfermedades; y posteriormente, modelos para explicar su devenir, desarrollo e impactos.

Los trabajos de Bernouilli y D'Alambert (1771 y 1776) sobre la peste y la viruela; los de Farr (1840) sobre enfermedades de vacunos; el de Ronald Ross (1911) sobre la malaria y la erradicación del paludismo; y el modelo matemático sobre la peste de la India de Kermack y McKendrick (1927) son la antesala del pensamiento matemático y estadístico contemporáneo que dio pie a modelos lineales generalizados, a la regresión lineal múltiple, al análisis de datos categóricos, estadística espacial y a los métodos bayesianos y métodos estadísticos (“bootstrap” - GEE - “general estimating equations”-).

Parafraseando a Casals, Guzmán y Caylà (2009), los avances tecnológicos, informáticos y biomédicos en los años 90 hacen que la creación de equipos multidisciplinarios sea de vital importancia para lograr una mirada holística a los fenómenos infecciosos; así, personal clínico o médico, epidemiólogos, pero también matemáticos, estadísticos, informáticos, biólogos, físicos trabajan en modelos matemáticos, bioestadísticos y bioinformáticos para lograr pronósticos, tendencias, probabilidades de lo que puede suceder cuando se desencadena una enfermedad viral.

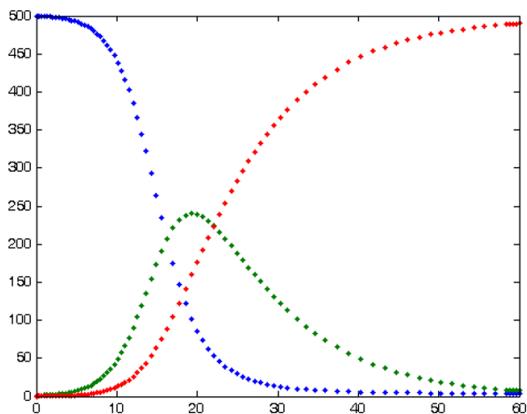


Figura n.º3. Un ejemplo de modelo SIR (Azul = Población susceptible, Verde= Población infectada y Rojo = Población recuperada). Fuente: No machine-readable author provide; Dominio público; File:Sirsyss-p9.png.

La mayoría de enfermedades contagiosas: Ébola, VIH-SIDA, malaria, tuberculosis, gripe A/H1N1, SARS y ahora COVID-19, etcétera, han sido tratadas con diversos modelos, entre los que destacamos: 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 indicados

Los modelos matemáticos de epidemias o biológicos consisten en el uso del lenguaje y herramientas matemáticas para explicar y predecir el comportamiento de agentes infecciosos y potencialmente dañinos a poblaciones humanas o animales. Existen dos tipos de modelos matemáticos: determinísticos y estocásticos. En un modelo 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. En un modelo 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 y Hernández-Suárez, 2007).

En matemáticas, modelizar o modelar es intentar extraer los 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.

El modelo **SIR** (Kermack, W. O. y McKendrick, A. G., 1927) -el que se recomienda para analizar COVID-19- 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 se 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.

El modelo **SEIS** considera una nueva clase de individuos E (del inglés exposed); es decir, 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; y el modelo SEIR derivado del modelo SEIS, agrega R, población de recuperados.

Estos modelos crean curvas, gráficas y datos que son importantes para el establecimiento de políticas públicas de salud; para realizar intervenciones y sobre todo, para prevenir escenarios. Un virus tan contagioso como el COVID-19, que satura los sistemas hospitalarios y demanda una cantidad significativa de respiradores mecánicos, unidades de cuidados intensivos (UCI), insumos y personal médico, requiere un plan de contingencia sólido y razonable, el cual puede ser alimentado por el modelo SIR o SEIR.



El modelo SEIR aplicado y los escenarios

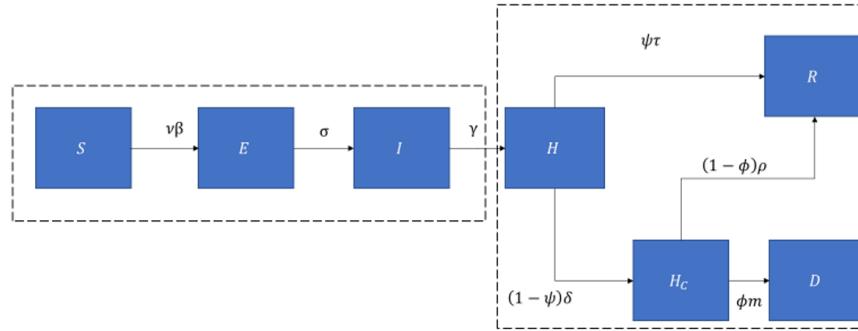


Figura n.º 4. Diagrama del modelo compartimental SEIR modificado

Hemos dividido la población en: Susceptible (S), Expuestos (E) e Infectados (I); la población infectada pasa a cuarentena (H) y de cuarentena pasa a Recuperados (R), en el mejor de los casos o a Cuidados intensivos (H^C), en el peor de los casos. Las personas en Cuidados intensivos, al mejorar, pasan a ser recuperados y en el peor de los casos pasan a fallecidos (D).

Ecuaciones del modelo:

Ecuación 1: Clase Susceptible

$$S' = -\nu\beta \frac{IS}{T}$$

Ecuación 2: Clase Expuestos

$$E' = \nu\beta \frac{IS}{T} - \sigma E$$

Ecuación 3: Clase Infectados

$$I' = \sigma E - \gamma I$$

Ecuación 4: Clase Hospitalizados

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

Ecuación 5: Clase Recuperados

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

Ecuación 6: Clase Cuidados Intensivos

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

Ecuación 7: Clase Fallecidos

$$D' = \phi m H_C$$

VARIABLES:

Los valores de cada variable corresponden al número de casos reportados por el Gobierno de El Salvador por medio de la plataforma covid19.gob.sv a la mañana del 1 de abril de 2020.



Tabla n.º 1
Lista de variables y condición inicial

Símbolo	Descripción	Condición Inicial
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
H_c	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

Parámetros

Tabla n.º 2
Lista de parámetros

Símbolo	Descripción	Escenario Optimista	Escenario Moderado	Escenario Crítico
B	Tasa de transmisión del COVID-19. Estimada (mundialmente) a partir de los datos de https://www.worldometers.info/coronavirus/	1.1897	1.1897	1.1897
σ^{-1}	Tiempo promedio de incubación del virus. (tomado de la OMS)	5.2	5.2	5.2
γ^{-1}	Tiempo promedio (en días) que tarda una persona enferma en libertad en ser aislada. (R_0/β)	1.26	2.1	3.36
τ^{-1}	Período promedio (en días) en que un individuo pasa hospitalizado antes de recuperarse. (14-gamma)	12.74	11.9	10.64
ρ^{-1}	Tiempo promedio que tarda una persona en cuidados intensivos en pasar a cuidados intermedios. (14-gamma-delta)	8.74	7.9	6.64
δ^{-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
N	Efectividad de aislamiento en el país, excluyendo los albergues.	[0,1]	[0,1]	[0,1]
ψ	Proporción de población hospitalizada que se recupera en totalidad de la enfermedad.	0.95	0.95	0.95
Φ	Proporción de individuos en cuidados intensivos que mueren de coronavirus.	0.09	0.09	0.09

Limitaciones y alcances del modelo

La modelación matemática se ha reconocido como un importante recurso de prospectiva epidemiológica; no obstante, como toda herramienta científica presenta ciertas limitaciones y alcances que son necesarios enumerar.

Limitaciones:

Disposición de datos actualizados de individuos susceptibles, expuestos, infectados y recuperados (SEIR), esto asociado a problemas de registro, aplicación de pruebas, y otras variables estadísticas que intervienen en el modelo.

Dado que el COVID-19 es una patología nueva hay aún discusiones no resueltas en términos de los procesos virales de incubación, contagio, síntomas, etcétera.

Pueden considerarse limitaciones adicionales el hecho de que no se consideraron factores que podrían afectar la dinámica de la epidemia como la distribución de edad, la susceptibilidad dependiente de la edad, los desplazamientos de la población y otros aspectos idiosincráticos o culturales.

En Latinoamérica los datos provenientes de la vigilancia epidemiológica son susceptibles de error y pueden ser imprecisos, esto afecta la precisión de los modelos.

Respecto a la ecuación y parámetros, pese a la solidez del modelo, los valores se estiman de la literatura de otros países, lo que demanda hacer el ajuste semanalmente; por ejemplo, en el caso de la mortalidad, en dónde persisten múltiples interpretaciones.



Alcances:

A pesar de las limitaciones mencionadas, el aporte del presente estudio radica en que este abordaje permitió modelar el comportamiento de la epidemia de inmediato, lo que posibilitó llevar a cabo un ejercicio con datos reales que podría auxiliar en la toma de decisiones rápidas y una planificación de corto y mediano plazos con base en los resultados, con respaldo de la literatura científica aceptada (Robles *et al.*, 2012).

Los modelos corridos a 60 y 90 días han permitido resultados y ajustes importantes, los cuales son valorados con otros factores “espejo”, tales como la tendencia epidemiológica local y evolución de casos o la observación de otros países con condiciones demográficas similares, permitiendo una prospección razonable. Asimismo, los resultados de otros modelos (ARIMA series de tiempo Kolmogorov-Smirnov, desarrollado por Walter Otoniel Campos de la Universidad de El Salvador -01-04-2020) presentan escenarios y resultados similares a los obtenidos en esta investigación.

El estudio es una referencia importante para los tomadores de decisión en el campo sanitario, sobre todo como un instrumento de corto y mediano plazo; ya que no hay en el medio académico una variedad de investigaciones para realimentar el diseño de decisiones. Asimismo, este trabajo presenta brechas reales con base en comparaciones entre la capacidad hospitalaria real (camas, UCI, intensivistas, médicos y enfermeras) y los resultados del modelo, lo que permite una planificación progresiva razonable, evitando limitaciones y excesos, para administrar mejor los recursos fiscales.

El alcance del modelo es determinístico, lo que implica iguales resultados en cada corrida por el control de factores; en este

contexto, el modelo es proyección de posibles escenarios y, la efectividad dependerá en gran medida del cumplimiento de los procedimientos de distanciamiento social (p.e cuarentena domiciliar, cierre migratorio, cierre de aeropuerto); cambios en estas medidas, por presiones políticas o económicas, podrían afectar los resultados.

Resultados

Para las simulaciones se desarrolló un programa escrito en el lenguaje de programación Python y se utilizó el algoritmo de Rutgen Kutta, aplicado a la solución numérica de ecuaciones diferenciales. La proyección de los resultados se calculó para 60 días.

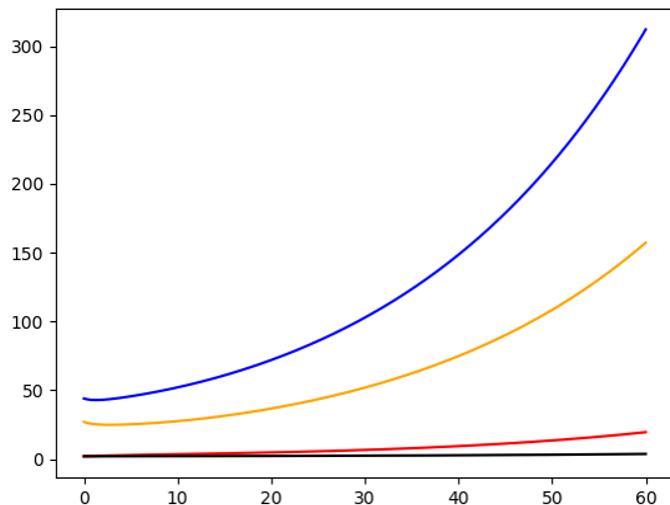


Escenario optimista. Asumimos que una persona infectada puede contagiar a 1.5 personas susceptibles ($R_0=1.5$)

Tabla n.º 3

*Resumen de resultados según la efectividad de aislamiento.
Escenario optimista.*

Efectividad de aislamiento	Infectados	Hospitalizados	Cuidados intensivos	Muertos
Baja	313	158	20	4
Media	144	77	11	4
Alta	67	37	6	3



Al cabo de 60 días habrá: **313** infectados, **158** personas serían hospitalizadas, **20** pasarán a UCI y **4** podrían fallecer .

Gráfico n.º 1. Efectividad de aislamiento baja¹.

1 Nota: Si bien el modelo presenta una mortalidad baja a partir de los datos globales (<https://www.worldometers.info/coronavirus/>), es importante acotar que dicha tasa podría oscilar entre 0.3 y 3.4%; condiciones demográficas y otros aspectos sobre la eficiencia del sistema hospitalario.

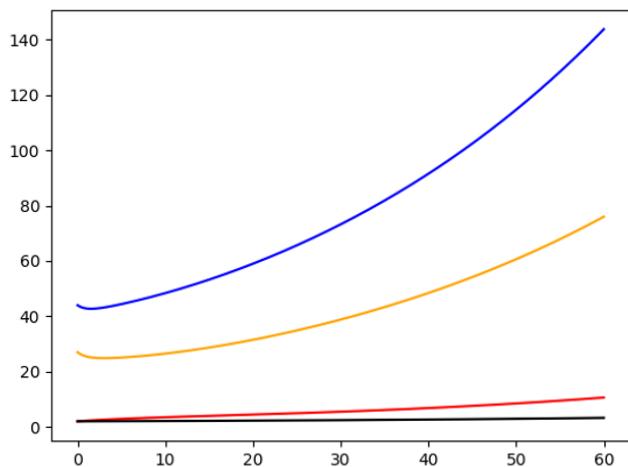


Gráfico n.º 2. Efectividad de aislamiento media.

Al cabo de 60 días habrá: **144** infectados, **77** personas serían hospitalizadas, **11** pasarían a UCI y **4** podrían fallecer.

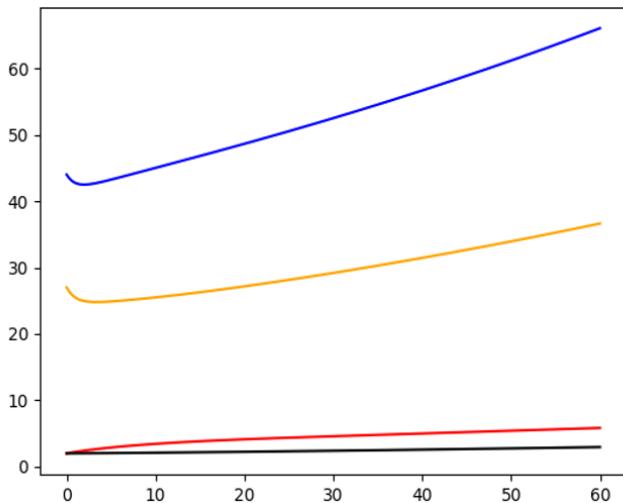


Gráfico n.º 3. Efectividad de aislamiento alta.

Al cabo de 60 días habrá: **67** infectados, **37** personas serían hospitalizadas, **6** pasarían UCI y **3** podrían fallecer.



**Escenario moderado. Asumimos que una persona infectada
puede contagiar a 2.5 personas susceptibles ($R_0=2.5$)**

Tabla n.º 4

*Resumen de resultados según la efectividad de aislamiento.
Escenario moderado*

Efectividad de aislamiento	Infectados	Hospitalizados	Cuidados intensivos	Muertos
Baja	5,175	1,965	167	9
Media	801	346	36	5
Alta	111	56	8	3

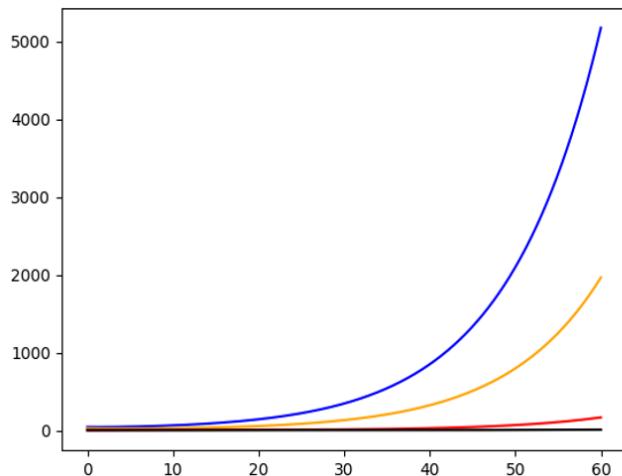


Gráfico n.º 4. Efectividad de aislamiento baja.

Al cabo de 60 días habrá: **5,175** infectados, **1,965** personas serán hospitalizadas, **167** pasarán a UCI y **9** podrían fallecer.

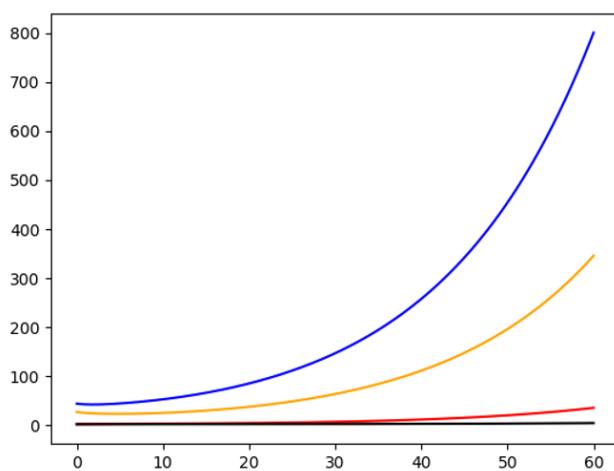


Gráfico n.º 5. Efectividad de aislamiento medio.

Al cabo de 60 días habrá: **801** infectados, **346** personas serán hospitalizadas, **36** pasarán a UCI y **5** personas podrán fallecer.

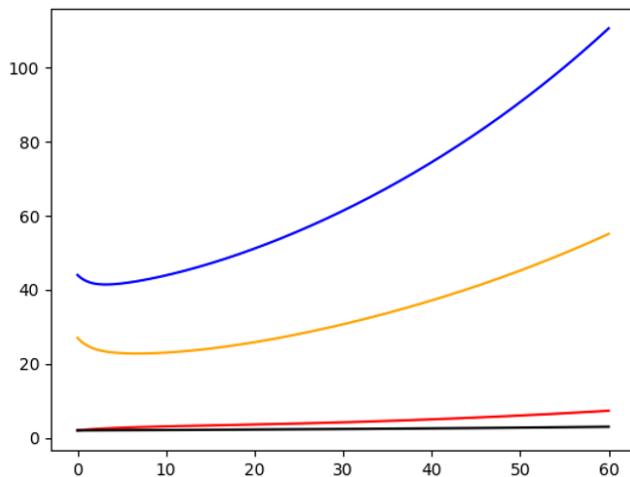


Gráfico n.º 6. Efectividad de aislamiento alto.

Al cabo de 60 días habrá: **111** infectados, **56** personas serían hospitalizadas, **8** pasarían a UCI y **3** personas podrían fallecer.

Escenario crítico. Asumimos que una persona infectada puede contagiar a 4 personas susceptibles ($R_0=4$)

Tabla n.º 5

*Resumen de resultados según la efectividad de aislamiento.
Escenario crítico*

Efectividad de aislamiento	Infectados	Hospitalizados	Cuidados intensivos	Muertos
Baja	62,710	16,926	1,089	34
Media	801	346	36	5
Alta	111	56	8	3

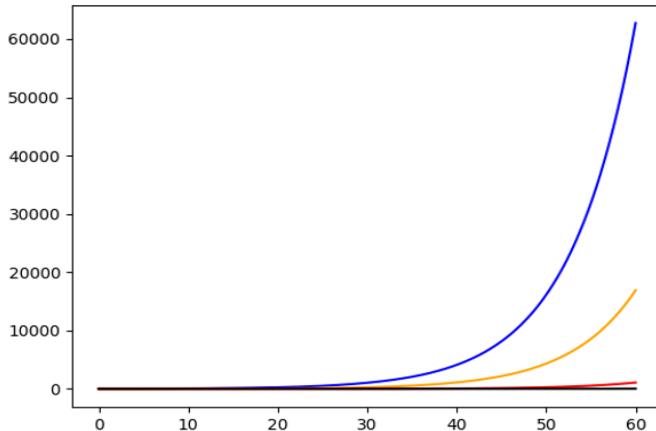


Gráfico n.º 7. Efectividad de aislamiento bajo.

Al cabo de 60 días habrá: **62,710** infectados, **16,926** personas serán hospitalizadas, **1,089** pasarán a UCI y **34** personas podrían fallecer.

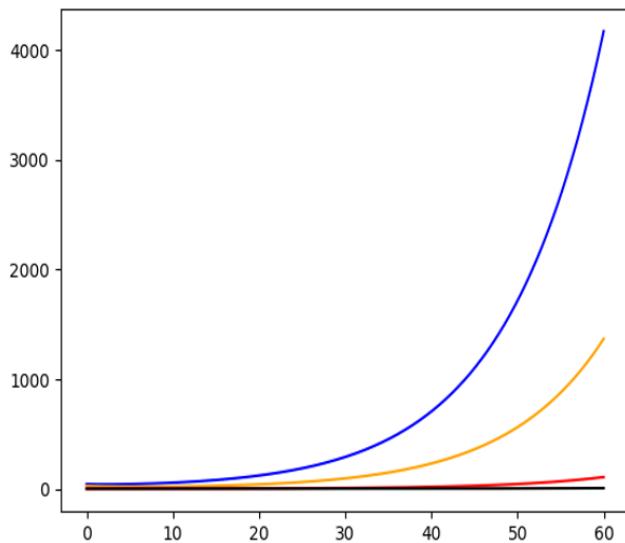


Gráfico n.º 8. Efectividad de aislamiento medio.

Al cabo de 60 días habrá: **4,175** infectados, **1,369** personas serían hospitalizadas, **108** pasarían a UCI y **7** personas podrían fallecer.

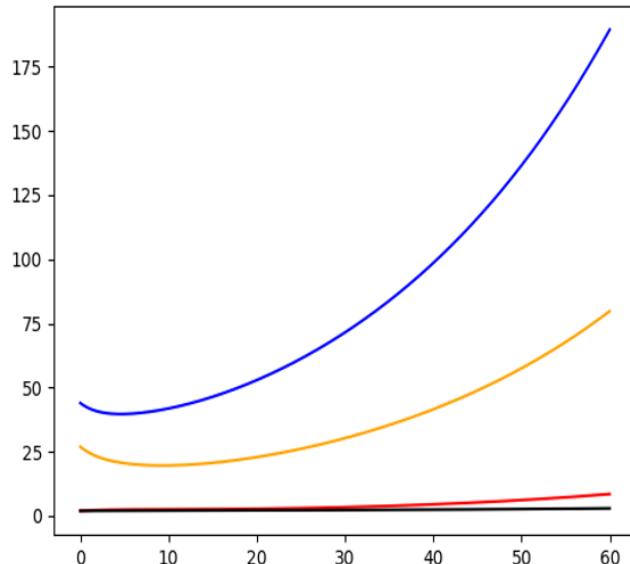


Gráfico n.º 9. Efectividad de aislamiento alta.

Al cabo de 60 días habrá: **190** infectados, **80** personas serían hospitalizadas, **9** pasarán a UCI y **3** personas podrían fallecer.

El 8 de abril de 2020 se corrió un nuevo modelo con alcance a 90 días; esta segunda simulación, ayuda a “calibrar y ubicar” mejor los escenarios posibles de la evolución de la pandemia en El Salvador. En primer lugar, se eliminaron las condiciones de aislamiento bajo, ya que en el país se están cumpliendo ciertas condiciones importantes, tales como el cierre de aeropuerto, cierre migratorio y cuarentena. También movió el criterio de interpretación de la simulación inicial de 60 días: desde el escenario crítico al escenario moderado, ya que las evoluciones de contagios a 21 días del primer caso marcan una tendencia. El escenario crítico a 90 días ha cambiado sustancialmente, pero puede ser irreal conforme a la tendencia y evolución de casos; y oscila en los siguientes datos de contagio: a) **Optimista:** aislamiento alto 283; aislamiento medio 966; b) **Escenario moderado:** aislamiento alto 685; aislamiento medio 14,916 (ésta es la lectura sugerida); y c) **Escenario pesimista:** aislamiento alto 1,728, aislamiento medio 193,439.



COVID-19: Notas epidemiológicas

El 11 de marzo del 2020, el director de la Organización Mundial de la Salud (OMS) declaró una “pandemia”, al conocerse más de 118 mil casos en 114 países de una nueva enfermedad: COVID-19, causada por un nuevo coronavirus llamado SARS-CoV-2. Hasta el 1º de abril de 2020 se han reportado más de 900 mil casos de COVID-19 a nivel mundial. De estos, 191 mil se han recuperado y más de 45 mil personas han muerto (Dong, Du y Gardner, 2020). Los casos continúan incrementando de manera exponencial en diferentes regiones del mundo. Todos los continentes han reportado casos, excepto Antártica.

Los primeros casos de la enfermedad (COVID-19) se reportaron en diciembre del año 2019, en Wuhan, provincia de Hubei en China. En dicho país se contabilizaron más de 80 mil casos y un total de 3,316 muertes hasta este día (Dong, Du y Gardner, 2020). El pico de casos se registró entre finales de enero y principios de febrero del año 2020, con una incidencia a la baja a lo largo del mes de marzo.

Transmisión

Se especula que la transmisión de la enfermedad, de persona a persona, es a través de secreciones vía aérea. Sin embargo, el método de transmisión no ha sido definido por completo. Pequeñas gotas se esparcen a otras personas y superficies cuando una persona infectada por el virus estornuda o tose, incluso al hablar. El contacto con las mucosas corporales de aquellos infectados también puede dar lugar al contagio. Las secreciones por lo general no se esparcen más de 2 metros, por lo que se ha definido como “contacto de riesgo”, aquellos que se dan a distancias más cortas que esta (CDC 2020). Por lo tanto; se recomienda tomar medidas de “contacto” y

“respiratorias”. Algunos han sugerido que el virus también puede transmitirse por medio de “aerosoles” (Yu *et al.*, 2004) y a través del sistema digestivo (Gu, Han y Wang, 2020).

Periodo de infección

El tiempo durante el cual un individuo contagiado es “infectioso” no se ha determinado por completo; tampoco, el tiempo durante el que las personas continúan “eliminando” el virus. Sin embargo, estudios con pacientes que presentaron solo síntomas leves sugirieron que el 90% de los pacientes tendrían una prueba negativa por medio de “swab” nasofaríngeo después de 10 días. Los pacientes con casos más graves permanecen positivos por tiempos más largos (Liu *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).

La Organización Panamericana de la Salud (OPS) estima que el número de infecciones secundarias, a partir de un paciente (R_0), es de entre 2 y 2.5 (OPS, 2020). Sin embargo; otros estudios sugieren que este número podría ser mucho más alto, con un promedio de 3.28 y una media de 2.79 (IQR 1.16) (Liu *et al.*, 2020). La transmisión de pacientes que permanecen completamente asintomáticos también se ha descrito; esto resulta difícil de cuantificar dado que muchos de estos pacientes no se diagnosticarán (Rothe *et al.*, 2020; Bai *et al.*, 2020).

En su mayoría, las pandemias causadas por virus similares al SARS-CoV-2 presentan varias “etapas” de crecimiento. El desarrollo inicial de las enfermedades virales sin control es exponencial, un paciente lo transmite a 2-3 personas, quienes tienen la capacidad de transmitirlo a otras 2-3 personas, y así sucesivamente. Este patrón de



crecimiento da lugar a “hot spots” (áreas calientes) en lugares donde inicialmente se observaron pocos casos. El COVID-19 no ha sido la excepción, con una fase inicial de crecimiento “lento” que luego se acelera y alcanza su pico. El tiempo de incubación y el posible número de pacientes asintomáticos, que pueden transmitir la enfermedad, lo hacen muy particular. Las características del virus, los patrones demográficos, de movimiento y la estructura de la población afectan el patrón de transmisión (Poletti, Ajelli y Merler, 2011). Estudios de varias provincias en China han sugerido un crecimiento “subexponencial” por parte del COVID-19. Se presume que esto es gracias a las medidas sociales radicales que se tomaron en las diferentes provincias del país. Los efectos de las medidas “externas” al comportamiento del virus, se dan ya que agotan a los individuos “susceptibles” de contraer la enfermedad mientras se implementan medidas de aislamiento extremas y de supresión (Maier y Brockmann, 2020). Las estrategias de contención y supresión son efectivas y posiblemente se deben mantener por un periodo más largo que el de incubación del virus (Maier y Brockmann, 2020). Sin embargo, es muy posible que veamos un incremento rápido de casos en las siguientes semanas, siguiendo el crecimiento exponencial de la enfermedad, característica de estos virus, a partir de un número pequeño de casos.

Inmunidad

Permanece incierto si la formación de anticuerpos ante la exposición al virus genera inmunidad. Información preliminar indica que ciertos anticuerpos confieren protección. Sin embargo, no se sabe si todos aquellos expuestos al virus montarán una respuesta inmune de protección duradera. Estudios valoran el uso de suero proveniente de pacientes

recuperados para determinar si este se puede usar para incitar una reacción inmunológica en aquellos con infección activa (Shen *et al.*, 2020). Se aclara que ninguno de estos estudios se ha publicado y sus resultados son preliminares.

Cuadro clínico

Se estima que el período de incubación es de 14 días, después de ser expuesto a la enfermedad. La mayoría de los casos se manifiestan entre el día cuatro y cinco (Li *et al.*, 2020; Guan *et al.*, 2020).

Presentación y espectro de la enfermedad

La presentación de esta enfermedad varía entre leve, severa y crítica (Wu y McGoogan, 2020). La gran mayoría de pacientes tendrá una presentación leve; síntomas parecidos a la influenza, con tos seca, dolor de cuerpo, fiebre y malestar (Chan *et al.*, 2020). Estos representan aproximadamente el 85% de los casos que se diagnostican. Su tratamiento es solamente de soporte, con medicamentos para mejorar el malestar y la fiebre. Incluso, muchos casos no serán diagnosticados por su presentación tan leve.

Un 15% de los infectados presentarán un cuadro severo y necesitarán ser ingresados al hospital. Sus síntomas incluirán dificultad respiratoria, baja saturación de oxígeno y complicaciones pulmonares como neumonía (Huang *et al.*, 2020).

Por último, siendo la minoría de casos diagnosticados, 5% de los pacientes presentarán un cuadro crítico, necesitando de cuidados intensivos y soporte de vida. Estos tendrán falla respiratoria, shock y disfunción multiorgánica (Chen *et al.*, 2020).



Se estima una mortalidad cercana del 2.3% de todos los casos diagnosticados. Según la OMS, la mortalidad ha variado entre 0.7% hasta 5.8% en diferentes provincias de China (McIntosh, 2020). Estas muertes incluyen primordialmente aquellos con presentación severa o crítica. Sin embargo, estas cifras varían de país en país. En Italia se observa una mortalidad del 11.9%, en contraste con 3 % en Corea del Sur (Worldometer, 2020).

La presentación clínica de la enfermedad y su mortalidad probablemente se relacionan a características demográficas de la población. Presentaciones más severas del COVID-19 se observan en adultos mayores y en aquellos con enfermedades crónicas como cardiovasculares, diabetes, enfermedad pulmonar crónica, cáncer e insuficiencia renal crónica (Zhou *et al.*, 2020; Wu and McGoogan, 2020). La gran mayoría de muertes se han visto en aquellos con condiciones de salud preexistentes.

Estudios comparados sobre COVID-19: Costa Rica, Guatemala y Honduras

Si bien es cierto el COVID-19 ha paralizado casi de forma completa al mundo, las medidas y tiempos en los que cada país se ha ido cerrando o la ha afrontado han sido diferentes.

Al 11 de abril de 2020, las cifras del COVID-19 para los países centroamericanos eran las siguientes:

Tabla n.º 6

Datos COVID-19 comparados de la región centroamericana

País	Casos confirmados	Muertes	Recuperados	Pruebas
Belice	10	2	0	364
Guatemala	137	3	19	1,134
El Salvador	117	6	15	N/D
Nicaragua	8	1	3	N/D
Costa Rica	558	3	42	6,298
Panamá	2,974	74	17	11,776
Honduras	392	24	7	1,636

Fuente: Plataforma de información y coordinación SICA/COVID-19.

Medidas adoptadas por Guatemala

El país se encuentra en toque de queda. Este ha sido recientemente prorrogado hasta el 12 de abril; acompañado de esa medida se han suspendido algunas actividades. Por ejemplo, desde el lunes 16 de marzo, el presidente Alejandro Giammattei ordenó que se suspendieran todas las “actividades laborales, ya sean públicas y privadas”; así también suspendió el servicio de transporte público, los eventos de todo tipo y prohibió el acaparamiento de artículos de primera necesidad. Al primer minuto del 17 de marzo, Guatemala cerró sus fronteras con el propósito de combatir el brote de coronavirus. El toque



de queda vigente restringe la circulación de las personas entre las 4:00 p. m. y las 4:00 a. m.

El presidente de Guatemala solo tardó dos días en endurecer sus medidas, el 14 de marzo ya había prohibido las aglomeraciones de más de 100 personas y con eso bares, iglesias y algunos espectáculos artísticos y deportivos habían empezado a cancelarse. Ese mismo día se suspendieron las actividades educativas.

Día que más casos presentó: 7 casos el 28 de marzo de 2020.

Día que más fallecidos tuvo: Uno el 16 de marzo de 2020.

Medidas adoptadas por Honduras

Este país presentó un comportamiento bastante similar al de Guatemala. Su presidente, Juan Orlando Hernández, ordenó el 16 de marzo cerrar sus fronteras terrestres, aéreas y marítimas. Un día antes, el 15 de marzo, ya había ordenado suspender todas las actividades públicas y privadas, cancelar los espectáculos deportivos y el servicio de transporte público. Las medidas se han ido endureciendo, y a esta fecha, las personas solo pueden salir de sus casas los días lunes, miércoles y viernes.

En Honduras, todas las clases se suspendieron el 12 de marzo igual que todos los espectáculos culturales, al ser decretada la emergencia sanitaria.

Día que más casos presentó: 28 casos el 28 de marzo de 2020.

Día que más fallecidos tuvo: Uno el 27 y 29 de marzo de 2020.

Medidas adoptadas por Costa Rica

El Gobierno de Costa Rica comenzó a tomar medidas unos días antes que Guatemala y Honduras; el 9 de marzo de 2020 suspendió los eventos deportivos, conciertos y fiestas populares. En ese momento no suspendió las clases ni los eventos religiosos.

En la misma declaratoria del Gobierno, ese 9 de marzo se apeló a la empresa privada que promoviera el teletrabajo y el control de precios de los artículos y alimentos de primera necesidad.

Después de la confirmación de 35 casos, el 16 de marzo de 2020, el gobierno costarricense decidió cerrar sus fronteras y suspender todas las actividades académicas. Actualmente existe una prohibición de circulación en vehículos que va de las 10:00 p. m. a las 5:00 a. m.

Día que más casos presentó: 32 casos el 28 y 29 de marzo de 2020.

Día que más fallecidos tuvo: Uno el 19 y 21 de marzo de 2020.

Medidas adoptadas por El Salvador

El Gobierno de El Salvador el 11 de marzo ya había suspendido todas las actividades académicas y había ordenado cuarentena para todas las personas que arribaran del extranjero al país (de algunos países desde el 7 de marzo). Ya estaba prohibida la entrada de extranjeros. Esta última medida había venido en escalada, el 25 de febrero se prohibió la entrada a italianos y surcoreanos, y el 28 de febrero a los iraníes.

El 14 de marzo se aprobó el Estado de Emergencia y Estado de Excepción. El 17 de marzo se cerraron fronteras y para el 20 de marzo se ordenó la cuarentena domiciliar absoluta en el país.



Día que más casos presentó: 6 casos el 29 de marzo de 2020.

Día que más fallecidos tuvo: Uno cada día.

Si observamos el número de infectados por país, vemos que Costa Rica y Panamá son los que tienen más casos en la región. Costa Rica es sujeto de este estudio y es evidente que haber mantenido abierto el aeropuerto hasta el 16 de marzo pudo haber incidido en los números de contagiados. El Aeropuerto Internacional Juan Santamaría tiene un flujo de más de 4.4 millones de pasajeros al año, desde que el virus empezó a representar una amenaza pudieron haber circulado más de medio millón de personas.

A pesar de que el Aeropuerto Internacional de El Salvador San Óscar Arnulfo Romero y Galdámez, es el que le sigue en términos de circulación, haber cerrado poco a poco -hasta llegar a su totalidad- previno de tener un mayor número de contagios provenientes del exterior.

Conclusiones y recomendaciones de política pública

A partir de la construcción de diferentes escenarios sobre cómo podría evolucionar el COVID-19, derivados del modelo epidemiológico para El Salvador, es posible establecer diferentes fronteras de posibilidades. Aunque el escenario optimista es el más deseable, considerando la tendencia en el aparecimiento de los casos, se prevé que el escenario más real –a 60 días desde el inicio– que enfrenta El Salvador podría oscilar entre: a) **lo moderado:** 5,175 infectados; de los cuales 1,965 personas serían hospitalizadas, 167 pasarían a cuidados Intensivos y nueve podrían fallecer. Y, b) **lo crítico:** 62,710 infectados; de los cuales 16,926 personas serían hospitalizadas; 1,089 pasarían a cuidados intensivos y podrían fallecer 34 personas.

Este resultado muestra un escenario complicado para el país, pero pareciera ser relativamente más manejable que el esperado por el Gobierno de El Salvador. De hecho, el 21 de marzo de 2020, este reportó una proyección de 3.1 millones de personas infectadas en los próximos dos meses, justificando así la adopción obligatoria e inmediata de la cuarentena domiciliar. Si bien es cierto, esta medida para contener la difusión del virus en forma temprana es considerada apropiada, las proyecciones generadas por la “Progresión Matemática” presentada por el Gobierno, dónde 3×2^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. En la práctica, esta proyección no es probable debido a la adopción de una serie de medidas de contención, tales como: el cierre de aeropuerto, el cierre migratorio, el establecimiento de Centros de Cumplimiento de Cuarentena (albergues), distanciamiento social, entre otras acciones. La expectativa es que todas estas medidas de



prevención, contribuyan a reducir una posible avalancha de casos de COVID-19 en el sistema sanitario que superara su capacidad de atención. No obstante, la posibilidad de que esta enfermedad genere una crisis en el sistema de salud es uno de los desafíos más importantes a enfrentar.

Es difícil saber con precisión cuál es la capacidad del sistema sanitario para enfrentar la pandemia del coronavirus, pero la evidencia existente para el sector público, que es el más grande, sugiere que es limitada. El Sistema Nacional de Salud salvadoreño está conformado por el Ministerio de Salud (MINSAL), el Instituto Salvadoreño del Seguro Social (ISSS), Sanidad Militar (SM), el Fondo Salvadoreño para la Salud (FOSALUD), Bienestar Magisterial (BM) y el Instituto Salvadoreño de Rehabilitación Integral (ISRI). De todas estas instituciones, el MINSAL e ISSS son las de mayor tamaño y concentran aproximadamente el 90% de la capacidad del sistema. El MINSAL cuenta con 30 hospitales (entre ellos 2 regionales y uno especializado), 754 Unidades de Salud Familiar y otros 136 establecimientos de salud del primer nivel de atención²; y el ISSS dispone de 11 hospitales, 35 unidades médicas (20 con hospitalización), 287 clínicas empresariales y otros establecimientos de salud del primer nivel de atención³. Según los registros oficiales de recursos humanos en salud de 2018⁴, ambas instituciones concentran el 89% del total de médicos (generales, residentes, especialistas, en servicio social y practicantes internos), y el 91% de todas las enfermeras (generales, especializadas y auxiliares). Siendo

² Entre estos se cuentan: los Centros Rurales de Salud, Casas de la Salud, Centros de Atención de Emergencia y Hogares de Espera Materna. Fuente: Gabinete de Salud (2020).

³ Se refiere a Clínicas Comunales y Centros de Atención de Día. Fuente: ISSS (2019).

⁴ Fuente: Instituciones del Sistema Nacional de Salud, disponible en: <https://rrhh.salud.gob.sv/node/90>

que el MINSAL y el ISSS han asumido la batuta la lucha contra el COVID-19, los análisis sobre brechas en su capacidad para hacerlo ponen al descubierto sus principales debilidades.

La tabla 7 muestra las brechas en el tipo de camas por complejidad y algunos de los recursos humanos fundamentales para poder atender a pacientes con COVID-19 para el peor escenario. Estas estimaciones toman en cuenta las recomendaciones de la Organización Panamericana para la Salud (OPS, 2020), en lo que respecta la reorganización de recursos para responder a emergencia generada por la pandemia de COVID-19.

Tabla n.º 7

Capacidad del Sistema Nacional de Salud: ISSS y MINSAL

Recursos	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	1,411	2,177
Intensivistas (**)	60	182	-122
Enfermeras	4,605	2,821	1784

* Se asume un médico por 12 camas, un intensivista por 6 camas y una enfermera (profesional o especializada) por 6 camas para atender pacientes en condición estable, inestable o crítica, según recomendaciones de OPS para responder a la pandemia de COVID-19. 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, técnicos de terapia respiratoria y técnicos en cuidados intensivos.

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

Al respecto, se observa que las mayores brechas se encuentran en la disponibilidad de camas censables y camas de Unidades de Cuidados Intensivos (UCI) e intensivistas para atender a



pacientes en condiciones críticas; y, por ende, en los equipos asociados a este tipo de atención. Entre estos últimos se destacan: la ventilación mecánica, red de gases medicinales con oxígeno, aire y vacío, el sistema secundario de suministro de oxígeno, aparatos para monitoreo continuo e invasivo, bomba de infusión para el suministro de medicamentos, entre otros recursos médicos. Es importante señalar que al repetir la simulación de la evolución de la enfermedad a 90 días después de reportarse el primer caso, el modelo matemático arroja un resultado interesante sobre los requerimientos de recursos. Asumiendo que se genera un escenario de riesgo moderado de contagio con una efectividad de aislamiento media, se reduce el número de personas que requieren atención hospitalaria y la única brecha que prevalece es en el número de camas de UCI e intensivistas, aunque en menor cuantía (-424 y -51, respectivamente). Este resultado sugiere que, a mayor disciplina en el cumplimiento de las medidas de contención del virus, habría un mayor margen de maniobra para que el sistema sanitario responda con mayor eficacia a la emergencia.

En cualquiera de estos escenarios, aunque pareciera que el sistema cuenta con suficientes médicos y enfermeras para responder a la emergencia, en la práctica no así es del todo. Es importante señalar que la capacidad instalada existente ofrece diferentes servicios de atención que no pueden ser descuidados. Solo cierto porcentaje del personal médico disponible podría designarse para atender los casos de COVID-19, considerando la complejidad creciente de los pacientes con esta enfermedad que se proyecta tener. De allí que es importante establecer planes y mecanismos efectivos para reorganizar y ampliar progresivamente los servicios de salud en el territorio, de acuerdo con la evolución de la pandemia.

En el caso salvadoreño, la adopción temprana de medidas preventivas extremas para contener la difusión del virus ha

permitido ganar algún tiempo para aumentar la capacidad de respuesta del sistema. Sin embargo, según la OPS (2020) esto no debe limitarse a conseguir el número de camas y recursos humanos que hacen falta para atender a pacientes que requieren hospitalización o atención clínica de alta complejidad. Paralelamente, debe aumentarse la capacidad del primer nivel de atención para detectar y controlar los casos de COVID-19, dar seguimiento a pacientes en su domicilio e identificar complicaciones tempranas, clasificar pacientes según la urgencia de atención (triaje), atender pacientes con otras condiciones agudas o crónicas, entre otras actividades a considerar al reorganizar los servicios de salud durante la emergencia sanitaria.

Adicionalmente, la OPS (3 de abril de 2020) también ha recomendado a los gobiernos aprovechar las capacidades y recursos del sector privado de la salud para planificar y maximizar el uso de los recursos disponibles. Desde la perspectiva sanitaria, la responsabilidad de actuar frente a la pandemia no debe ser únicamente del sector público. El llamado es a combinar esfuerzos y recursos públicos y privados para ampliar de manera rápida la capacidad del sistema de salud. El sector privado puede contribuir a resolver algunos de los desafíos más urgentes, entre ellos: el acceso a pruebas de COVID-19 que sean asequibles y de calidad, así como la provisión tanto de equipos de protección para el personal de salud, como de medicamentos y equipamientos necesarios para atender a pacientes.

Por otra parte, considerando la relación entre economía y salud, el sector privado también puede aportar soluciones en otras áreas. Este puede apoyar iniciativas no solo para fortalecer el cumplimiento de medidas sanitarias en las comunidades, sino también fortalecer o crear mecanismos de protección para la población vulnerable (población



en condición de pobreza, en situación de inseguridad alimentaria, discapacitados, adultos mayores, etc.). El sector empresarial, en particular, también podría ayudar a ingeniar soluciones que permitan reactivar gradualmente la actividad económica manteniendo protocolos sanitarios para proteger a los trabajadores. De esta manera, se podría reducir la pérdida de empleos e ingresos para los hogares ocasionadas por las medidas de contención ante el coronavirus; mantener las cadenas de abastecimiento; sostener la capacidad productiva y detener la recesión económica y sus consecuencias en el bienestar social.

Después de haber expuesto las conclusiones más importantes que se derivan del análisis de distintos escenarios de evolución del COVID-19 en El Salvador, las recomendaciones generales de política pública sanitaria se pueden definir en los siguientes términos:

- Es necesario procesar la mayor cantidad de prueba RT-PCR⁵ para verificar identificar infectados e inmunes.

Sin contar con una vacuna contra COVID-19 o un rebaño inmune a este virus en la sociedad, volver a la normalidad es tan difícil como mantener una cuarentena domiciliar, la cual es insostenible. Para evitar caer en la paralización de la sociedad y la economía, urge ampliar la capacidad para aplicar pruebas masivas y selectivas (Baldwing, 26 de marzo de 2020 y Romer y Shah, 2 de abril de 2020). ¿Por qué?

En primer lugar, interesa identificar a los trabajadores en sectores esenciales (Ej.: salud, alimentación, seguridad y

⁵ RT-PCR viene de *Reverse Transcription- Polymerase Chain Reaction*, que significa “transcripción inversa -reacción en cadena de la polimerasa”. Es un tipo de prueba para detectar el material genético del virus.

transporte) que no están infectados para que puedan trabajar, siguiendo medidas que les protejan de ser contagiados. En segundo lugar, la aplicación de pruebas a trabajadores de otros sectores, sumado a la implementación de controles sanitarios rigurosos, permitiría reactivar la actividad económica minimizando los riesgos de transmisión de COVID-19. Y, en tercer lugar, para lograr un balance apropiado entre el establecimiento de cuarentenas y otras medidas para reducir la transmisión del virus es vital contar con más información sobre la prevalencia de la enfermedad. Una manera de lograrlo sería a través de la aplicación de pruebas de COVID-19 a una muestra representativa de la población en diferentes ámbitos. Según Nussbaumer-Streit, *et al.* (2020), esta estrategia puede ayudar a comprender mejor cuál es la verdadera proporción de personas infectadas; y, además, esto ayudaría a definir mejores parámetros de los modelos epidemiológicos que ayudan a orientar la toma de decisiones de política pública.

- Crear un programa de “identificación de inmunidad” para reincorporar la fuerza productiva a las empresas y no paralizar la economía.

Las medidas de distanciamiento social reducen significativamente el dinamismo del consumo y la producción de bienes y servicios, situación que de no ser atendida podría traducirse en una profunda recesión económica (Baldwing y Weder di Mauro, 2020). El problema es que mientras no exista una vacuna contra esta enfermedad, existe una alta probabilidad de que surjan nuevos brotes de infección, lo cual volvería a poner en aprietos al sistema sanitario y a la economía.

Para reducir los riesgos sanitarios provocados por una segunda ola de contagios y reactivar el aparato productivo, podrían diseñarse mecanismos para que las empresas identifiquen al personal inmune y puedan operar siguiendo



controles sanitarios rigurosos. Al respecto Hernández Suárez y González Farias (2020) proponen la creación de un programa de “identificación de inmunidad”. Este utilizaría pruebas para identificar a las personas que ya han adquirido la enfermedad y usaría modelos predictivos para determinar la dinámica de la epidemia en la empresa y la velocidad a la cual los trabajadores podrían reincorporarse. Sin embargo, para que un programa como este funcione se debe asegurar que los mecanismos para identificar inmunidad son confiables. Al respecto, Dewatripont *et al.* (2020) sugieren utilizar dos tipos de pruebas para este fin. Las pruebas de serología ELISA⁶ para detectar los anticuerpos específicos al SARS COVID-2 y las pruebas RT-PCR para detectar el material genético del virus. De esta manera se puede saber si una persona considerada inmune sigue siendo portadora del virus e infectar a otros.

- Crear un programa de especialización médica, rápido y eficaz de capacitación de intensivistas, para neumólogos, internistas, etc. Para ir cerrando la brecha.

Para contar con suficientes médicos especialistas en terapia intensiva, la OPS (2020) recomienda a los países capacitar no solo a intensivistas y urgenciólogos pediátricos en el manejo de adultos. También propone formar rápidamente a médicos internistas, neumólogos, otorrinolaringólogos, entre otros médicos con especialidades afines. Además, debe prepararse un grupo de enfermeras y otros profesionales de la salud en

⁶ Se refiere a la técnica de ensayo por inmunoabsorción ligado a enzimas para determinar antígenos y gérmenes que causan enfermedades. Es importante señalar que, según el *Center for Health Security* de *John Hopkins University*, existe una variedad de pruebas de serología basadas en otras técnicas para detectar la presencia de anticuerpos al SARS-COV-2 que están siendo desarrolladas para ponerlas a disposición del público. Ver: <https://tinyurl.com/t5em42z>

el manejo de pacientes en condición crítica con necesidad de ventilación asistida y terapia respiratoria. Todos los esfuerzos de capacitación de estos profesionales de la salud deben incluir el entrenamiento en el uso adecuado de los equipos de protección personal, así como en el conocimiento de las medidas de prevención y control de infecciones relacionadas con la pandemia de COVID-19.

Dado que es complejo suponer que se podrá entrenar a médicos no especializados en el corto plazo, de una manera completa para manejar pacientes críticos, con la complejidad que presentan aquellos con COVID-19, en muchos países desarrollados, como Estados Unidos, se ha optado por formar equipos (“pods”) para personal médico y de enfermería. En el caso de los médicos, cada equipo está liderado por un intensivista (“UCIólogo”) experimentado. A este, en forma piramidal, se le agregan 2-3 médicos no intensivistas, pero con alguna experiencia en cuidados críticos (neumólogos, cirujanos, emergenciólogos). El líder del grupo asiste en la toma de decisiones y evaluación, pero no necesariamente está al lado de todos los pacientes. De esta forma se explota la experiencia y el conocimiento de los intensivistas experimentados. Este modelo es muy común en el mundo de la medicina “académica”, donde residentes e internos reportan al médico a cargo, quien ayuda en el manejo y toma de decisiones. Para el personal de enfermería, se toma un concepto similar. Formando “pods” con una enfermera líder, con experiencia en cuidados críticos, a la cual se le asignan 3-4 enfermeras no especializadas en esta rama. El líder ayudará en el cuidado de los pacientes y sirve como guía para las enfermeras no especializadas. Estos modelos permiten expandir y explotar el conocimiento y especialidad del personal ya capacitado y experimentado, para incrementar los recursos de una manera eficiente, segura, y rápida.



- Diseñar un programa de dotación de cama 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.

Al respecto se propone aumentar la disponibilidad de camas censables y camas UCI de manera progresiva, atendiendo a las proyecciones de la demanda de pacientes de COVID-19. Sobre este punto, la OPS (2020) sugiere establecer un mecanismo de gestión centralizada de camas, el cual permitiría integrar la capacidad nacional, especialmente de cuidados críticos, de la red de hospitales del sistema. De esta manera se podría saber cuál es la disponibilidad diaria de camas censables y no censables, a fin de poder utilizar con mayor eficiencia los recursos.

- Continuar resolviendo modelos matemáticos haciendo ajustes y afinando los datos y resultados de las proyecciones acerca de la evolución del COVID-19 en el país.

En la medida que se obtiene más información sobre la enfermedad se pueden ajustar los parámetros del modelo epidemiológico y mejorar las predicciones sobre los escenarios de evolución de la enfermedad. Esta información ayudaría a orientar mejor a los tomadores de decisiones de política pública sobre el tipo de medidas de contención de la enfermedad, así como su duración. También puede ser muy útil en la definición de cuántos recursos se requieren para enfrentar la pandemia en un período de tiempo y poderse preparar con anticipación evitando el despilfarro.

- Apoyar a las empresas, universidades e instituciones que pueden aportar equipos y otros insumos necesarios.

Para ampliar la capacidad del sistema público de salud para enfrentar la pandemia de COVID-19 es importante involucrar a empresas, universidades y otras instituciones que puedan

aportar conocimiento y recursos valiosos para este fin. Como ya se ha mencionado, estos actores pueden complementar los esfuerzos gubernamentales desarrollando innovaciones y brindando apoyo para dar solución de las necesidades más urgentes, tales como: el acceso a pruebas de COVID-19 e inmunidad al virus SARS-COVID-2 que sean asequibles y de calidad, la provisión de equipos de protección para el personal de salud, medicamentos, y equipos necesarios para la atención de pacientes, especialmente aquellos en condición crítica.



Nota técnica final:

Al 1 de mayo de 2020, fecha en que cerramos este informe, a un mes trece días de haber iniciado la pandemia de COVID19 en El Salvador (18 de marzo de 2020), y considerando: a) La evolución de casos; b) el estudio de los dos modelos matemáticos aplicados; y c) el mantener las medidas de aislamiento actuales a 86 días; el equipo técnico considera que los escenarios más reales podrían estar entre: a) Optimista -aislamiento moderado- en modelo de 90 días: 966 infectados (511 hospitalizados, 71 camas UCI); y b) Moderado –de aislamiento moderado- en modelo de 60 días: 5,175 infectados (1965 hospitalizados, 167 camas UCI).

Bibliografía

Bai, Y., Yao, L. Wei, T. (2020). Presumed asymptomatic carrier transmission of COVID-19. *Jama.* doi:10.1001/jama.2020.2565

Baldwing, R. (26 de marzo de 2020). COVID-19 testing for testing times: Fostering economic recovery and preparing for the second wave. *VOX, CEPR Policy Portal. Research-based policy analysis and commentary from leading economists.* Recuperado en: <https://voxeu.org/article/testing-testing-times>

Baldwing, T. y Weder di Mauro, B. (2020). *Mitigating the COVID-19 Crisis. Act fast and do whatever it takes.* London: CEPR Press, Centre for Economic Policy Research.

Cosme, C., Cárdenas, R., Miyar, A. (1999). *Economía y Salud Conceptos, Retos y Estrategias.* La Habana: Organización Mundial de la Salud y Organización Panamericana de la Salud.

Cámara de Comercio e Industria de El Salvador (CAMARASAL). (2020). El 95% de las empresas reportan baja de ventas durante periodo de emergencia por COVID-19. *Camarasal.* Disponible en: <https://www.camarasal.com/noticias/1461-el-95-de-las-empresas-reportan-baja-de-ventas-durante-periodo-de-emergencia-por-covid-19>

Casals, M., Guzmán, K., y Cayla, J. (2009). Modelos matemáticos utilizados en el estudio de las enfermedades transmisibles. *Rev. Esp. Salud Pública [online].* 2009, vol.83, n.5, pp.689-695. ISSN 2173-9110.



Campos Guevara, W.O. (2020). COVID-19: Análisis de las series de tiempo en países clave. San Salvador: Universidad de El Salvador (2020).

Centers for Disease Control and Prevention (CDC). (2020). Interim U.S. Guidance for Risk Assessment and Public Health Management of Healthcare Personnel with Potential Exposure in a Healthcare Setting to Patients with Coronavirus Disease (COVID-19). CDC. Disponible en: <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/hcp/guidance-risk-assesment-hcp.html>.

Dewatripont, M.; Goldman, M.; Muraille, E.; y Platteau, J-P (2020). Rapidly identifying workers who are immune to COVID-19 and virus-free is a priority for restarting the economy. *VOX CEPR Policy Portal. Research-based policy analysis and commentary from leading economists.* Recuperado en: <https://tinyurl.com/rv9xrck>

Dong, E., Hongru, D. y Gardner,L. (2020). An interactive web-based dashboard to track COVID-19 in real time. *The Lancet Infectious Diseases.* [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(20\)30120-1](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(20)30120-1)

Gabinete de Salud (2020). *Situación del sistema de salud: capacidad instalada.* Documento de Trabajo. Gobierno de El Salvador, San Salvador, El Salvador (sin publicar).

Gu,J., Han,B. and Wang,J.(2020).COVID-19:Gastrointestinal manifestations and potential fecal-oral transmission. *Gastroenterology.*
<https://doi.org/10.1053/j.gastro.2020.02.054>

Guan, Wei-jie, Zheng-yi Ni, Yu Hu, Wen-hua Liang, Chun-quan Ou, Jian-xing He, Lei Liu, Hong Shan, Chun-liang Lei, and David SC Hui. (2020). Clinical characteristics of coronavirus disease 2019 in China, *New England Journal of Medicine*. doi: 10.1056/NEJMoa2002032

Hernández Suarez, C. y González Farías, G. (2020). *Plan de reincorporación sostenible y controlada de la fuerza de trabajo para las empresas*. Documento sin publicar.

Huang, Chaolin, Yeming Wang, Xingwang Li, Lili Ren, Jianping Zhao, Yi Hu, Li Zhang, Guohui Fan, Jiuyang Xu, and Xiaoying Gu. (2020). Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China, *The Lancet*, 395: 497-506. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30183-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30183-5)

Instituto Salvadoreño del Seguro Social. (2019). *Inventario de los principales recursos humanos y físicos de salud del ISSS*. Subdirección de Salud, División de políticas y estrategias de salud, Departamento de atención y programación en salud. San Salvador, El Salvador (Sin publicar).

Jasper Fuk-Woo Chan, Shuofeng Yuan, Kin-Hang Kok, Kelvin Kai-Wang To, Hin Chu, Jin Yang, Fanfan Xing, Jieling Liu, Cyril Chik-Yan Yip, Rosana Wing-Shan Poon, Hoi-Wah Tsoi, Simon Kam-Fai Lo, Kwok-Hung Chan, Vincent Kwok-Man Poon, Wan-Mui Chan, Jonathan Daniel Ip, Jian-Piao Cai, Vincent Chi-Chung Cheng, Honglin Chen, Christopher Kim-Ming Hui, Kwok-Yung Yuen (2020). A familial cluster of pneumonia associated with the 2019 novel coronavirus indicating person-to person transmission: a study of a family cluster, *The Lancet*, 395: 514-23. [https://www.thelancet.com/pdfs/journals/lancet/PIIS0140-6736\(20\)30154-9.pdf](https://www.thelancet.com/pdfs/journals/lancet/PIIS0140-6736(20)30154-9.pdf)



Li, Qun, Xuhua Guan, Peng Wu, Xiaoye Wang, Lei Zhou, Yeqing Tong, Ruiqi Ren, Kathy SM Leung, Eric HY Lau, and Jessica Y Wong. (2020). Early transmission dynamics in Wuhan, China, of novel coronavirus–infected pneumonia, *New England Journal of Medicine*. DOI: 10.1056/NEJMoa2001316

Liu, Yang, Li-Meng Yan, Lagen Wan, Tian-Xin Xiang, Aiping Le, Jia-Ming Liu, Malik Peiris, Leo LM Poon, and Wei Zhang. (2020). Viral dynamics in mild and severe cases of COVID-19, *The Lancet Infectious Diseases*. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(20\)30232-2](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(20)30232-2)

Liu, Ying, Albert A Gayle, Annelies Wilder-Smith, and Joacim Rocklöv. (2020). The reproductive number of COVID-19 is higher compared to SARS coronavirus, *Journal of Travel Medicine*, 27. <https://doi.org/10.1093/jtm/taaa021>

Maier, B. y Brockmann, D. (2020). Effective containment explains sub-exponential growth in confirmed cases of recent COVID-19 outbreak in Mainland China, *arXiv preprint arXiv:2002.07572*

Matjasko, J.L., Cawley, J.H., Baker-Goering, M.M., Yokum Am, D.V. (2016). Applying behavioral economics to public health policy: Illustrative examples and promising directions *Prev Med*, 50: S13-Ss9. DOI: 10.1016/j.amepre.2016.02.007

McIntosh, K. (2020). Coronavirus disease 2019 (COVID-19). *UpToDate. Hirsch MS, Bloom A (Eds.).* Disponible en: <https://www.uptodate.com/contents/coronavirus-disease-2019-covid-19-epidemiology-virology-clinical-features-diagnosis-and-prevention>

Ministerio de Salud. (2018). Observatorio de recursos humanos en salud de El Salvador. Gobierno de El Salvador. Disponible en: <https://rrhh.salud.gob.sv/node/90>

Montesinos-López, O., Hernández-Suárez, C. (2007). Modelos matemáticos para enfermedades infecciosas. *Salud Pública Mex.* vol.49, no.3, pp. 218-226. Disponible en: <https://www.scielosp.org/pdf/spm/2007.v49n3/218-226>

Navarro-Robles, E., Martínez-Matsushita, L., López-Molina, R., Fritz-Hernández, J., Flores-Aldana, B.A., Mendoza-Pérez, J.C. (2012). Modelo para estimación del comportamiento epidémico de la influenza A (H1N1) en México. *Rev Panam Salud Pública.* 31(4), pp. 269–274. <https://scielosp.org/article/rpsp/2012.v31n4/269-274/>

Nussbaumer-Streit, B., Mayr, V., Dobrescu, AI., Chapman, A., Persad, E., Klerings, I., Wagner, G., Siebert, U., Christof, C., Zachariah, C., Gartlehner, G. (2020). Quarantine alone or in combination with other public health measures to control COVID-19: a rapid review. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, Issue 4. Art. n.º.: CD013574. DOI: 10.1002/14651858.CD013574

Ogilvy, W., McKendrick, A. y Walker, G. (1997). A contribution to the mathematical theory of epidemics. *The Royal Society Publishing*, 115, pp. 700–721. DOI: <http://doi.org/10.1098/rspa.1927.0118>

Organizacion Panamericana de la Salud. (2020). *Similitudes y diferencias entre la COVID-19 y la gripe*. Disponible en: https://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=15760:similitudes-y-diferencias-entre-la-covid-19-y-la-gripe&catid=740&lang=es&Itemid=1926.



Organización Panamericana de la Salud. (2020).

Recomendaciones para la reorganización y ampliación progresiva de los servicios de salud para la respuesta a la pandemia COVID-19. OPS. Documento técnico de trabajo. Recuperado de: <https://tinyurl.com/vnp8d7j>

Organización Panamericana de la Salud. (3 de abril de 2020).

Directora de la OPS llama al sector privado a cooperar en la respuesta a la COVID-19 en las Américas. OPS. Recuperado de: <https://tinyurl.com/rfpevkq>

Poletti, P., Ajelli, M. y Merler, S. (2011). The effect of risk perception on the 2009 H1N1 pandemic influenza dynamics, *PLOS ONE* 6(2): e16460. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0016460>

Romer, P. y Shah, R. (2 de abril de 2020). Testing is our way out. *Wall Street Journal. Opinion.* Recuperado en: <https://www.wsj.com/articles/testing-is-our-way-out-11585869705>

Rothe, C., Schunk, M., Sothmann, P., Bretzel, G., Froeschl, G., Wallrauch, C., Zimmer, T., Thiel, V., Janke, C and Guggemos, W. (2020). Transmission of 2019-nCoV infection from an asymptomatic contact in Germany. *New England Journal of Medicine.* DOI: 10.1056/NEJMc2001468

Shen, Chenguang, Zhaoqin Wang, Fang Zhao, Yang Yang, Jinxiu Li, Jing Yuan, Fuxiang Wang, Delin Li, Minghui Yang, and Li Xing. (2020). Treatment of 5 Critically Ill Patients With COVID 19 With Convalescent Plasma, *Jama.* doi:10.1001/jama.2020.4783

Sneader, K. y Singhal, S. (Marzo, 2020). Beyond coronavirus: The path to the next normal. *McKinsey and Company*. Recuperado de: <https://www.mckinsey.com/industries/healthcare-systems-and-services/our-insights/beyond-coronavirus-the-path-to-the-next-normal>

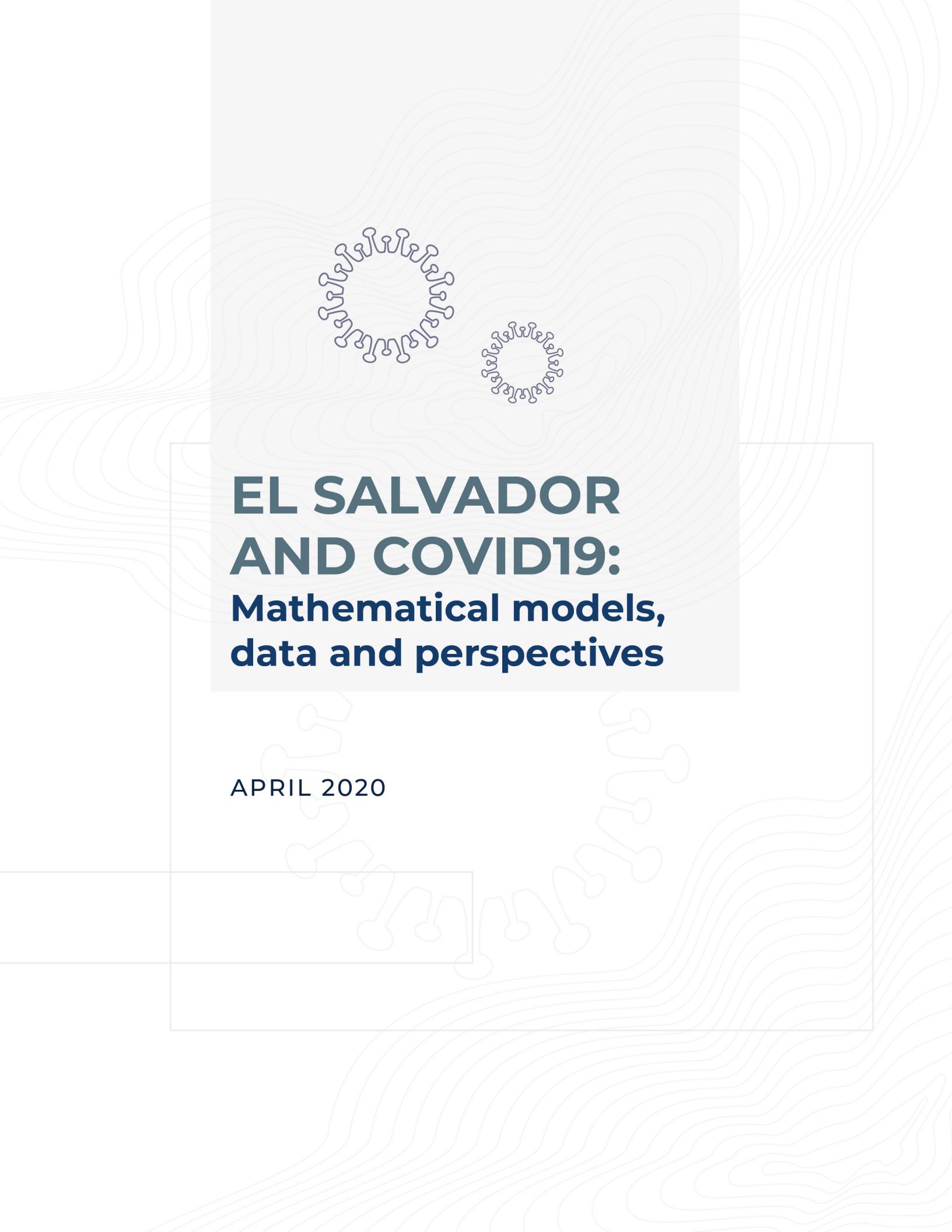
Wang, Ying Liu, and Yuan Wei. (2020). Epidemiological and clinical characteristics of 99 cases of 2019 novel coronavirus pneumonia in Wuhan, China: a descriptive study, *The Lancet*, 395: 507-13.

Worldometer. (2020). South Korea. *Worldometer*. Disponible en: <https://www.worldometers.info/coronavirus/country/south-korea/>.

Wu, Zunyou, and Jennifer M McGoogan. 2020. ‘Characteristics of and important lessons from the coronavirus disease 2019 (COVID-19) outbreak in China: summary of a report of 72 314 cases from the Chinese Center for Disease Control and Prevention’, *Jama*. doi:10.1001/jama.2020.2648

Yu, Ignatius T.S., Yuguo Li, Tze Wai Wong, Wilson Tam, Andy T. Chan, Joseph H.W. Lee, Dennis Y.C. Leung, and Tommy Ho. (2004). Evidence of Airborne Transmission of the Severe Acute Respiratory Syndrome Virus, *New England Journal of Medicine*, 350: 1731-39. DOI: 10.1056/NEJMoa032867

Zhou, Fei, Ting Yu, Ronghui Du, Guohui Fan, Ying Liu, Zhibo Liu, Jie Xiang, Yeming Wang, Bin Song, and Xiaoying Gu. 2020. ‘Clinical course and risk factors for mortality of adult inpatients with COVID-19 in Wuhan, China: a retrospective cohort study’, *The Lancet*. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30566-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30566-3)



EL SALVADOR AND COVID19: Mathematical models, data and perspectives

APRIL 2020



Acknowledgements: Carlos Castillo-Chavez, PhD, ASU; Carlos Hernández, Universidad de Colima, México; Juan Aparicio, Universidad de Salta, Argentina; Marlio Paredes, Universidad del Valle, Colombia; and Thomas Bossert, Ph. D, Director International Health Systems Program, Department of Global Health and Population, Harvard T.H. Chan School of Public Health.



Abstract

The following report presents data, questions and perspectives from the relationship between economy and health as a result of the COVID-19 pandemic and its development in El Salvador; subsequently, with the mathematical model SIR/SEIR scenarios are run in Python to learn about the development of the pandemic and to be able to project policies, measures and programs to address the crisis. The isolation scales (low, medium and high) propose three reasonable possibilities: optimistic, moderate and critical.

Descriptors

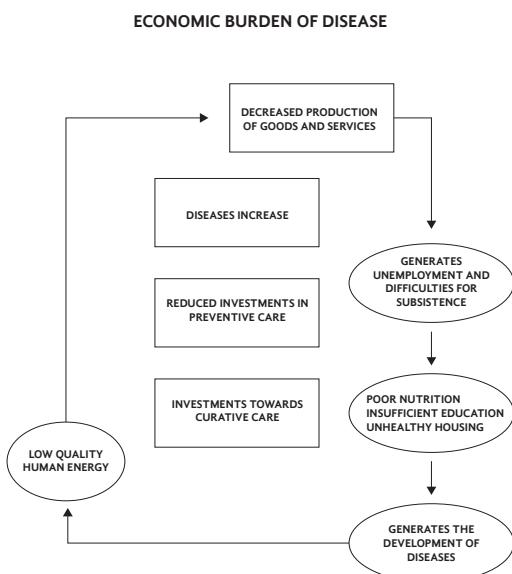
Descriptors: Epidemiology; COVID-19; Mathematical models; Economy; Health; SIR; SEIR; El Salvador; Public Policies.



Overview

The COVID-19 (coronavirus disease) pandemic was declared by WHO on March 11, 2020; it is an infectious disease caused by the SARS-CoV-2 virus, which was first detected in the Chinese city of Wuhan (Hubei Province) in December 2019. The exacerbated contagion globally and on significant scales has begun to generate serious health and economic problems.

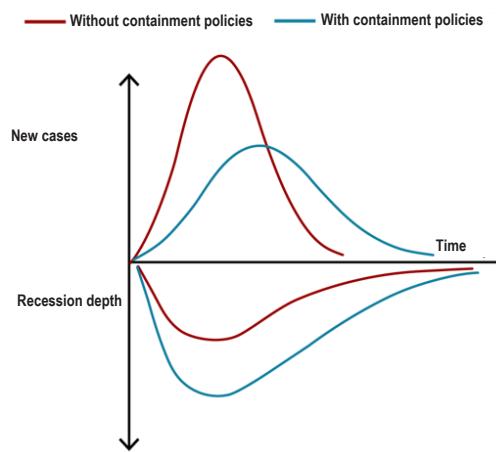
The relationship between economic and public health decisions is interdependent, complex and co-determining; indeed, "economics, which is thought of in terms of investment, costs, and expenditures or behavior, has moved towards a much more critical and interdisciplinary approach to explaining the dynamics and relationships between the economic system, the environment, and the institutions" (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)



Disease economics. Source: Pan American Health, Economy and Health Organization. Concepts, Challenges and Strategies, 1999.

Since the end of the 18th century, there have been references to the relationship between health, economics, and development. Almost a century later, the World Health Organization (WHO) has been helping to find suitable methods to adapt the mission of the Health Sector to the new international economic and social context. In the "World Health Report, 1998. Life in the 21st Century: A Perspective for All", on the occasion of the 50th Anniversary of WHO, is stated as a growing concern about resources for health in unequal contexts.

COVID19: The double medical and economic curve



Source: Richard Baldwin, Inspired by illustrations by Pierre Oliver Gourinchas BBC.

In short, for health economics to be an effective tool and public health to be better, it requires interdisciplinarity, understanding of complexity, greater government awareness and attention, as well as scientificity and training. Here, the dialogue is essential; especially overcoming the divorce between economic and social policy. If we take only one of the aspects of the health concept, the disease, its connection with the economy and the influence in both directions of one on the other is clear, as proposed by Cosme C; Cárdenas R; Miyar A (Economics and Health Concepts, Challenges and Strategies, PAHO, 1999).

The debate between establishing social distance - through a quarantine - to avoid the contagion of COVID-19 and the survival of micro-enterprises and informal trade, is essential; also, apart from reserves, medium and large enterprises may fall into crisis or loss of competitiveness.

According to a recent survey by CAMARASAL (Chamber of Commerce and Industry of El Salvador acronym) to micro-enterprises, one month is the maximum tolerance margin that small traders have to keep their businesses closed, then they would go bankrupt, especially if they have to meet wage obligations without income. As of the date of the business survey (March 30, 2020); in which 301 companies of the commerce, industry and services sectors participated, distributed in the following manner 44% micro, 32% small, 16% medium and 9% large, it is obtained that 85% of the sales have decreased, 13% are maintained and barely 2% have increased. The ANEP (National Association of Private Enterprise acronym) survey (March 27-29, 2020) also



recorded worrying economic data for businesses, having consulted 932 unionized companies from at least seven sectors - micro, small, medium and large - which reflected a drop in sales, the elimination of jobs and problems in paying creditors, among others.

The COVID-19 pandemic, due to its contagious belligerence, represents a very critical dilemma between economy and health; indeed, to the extent that more drastic social distancing measures are applied to apply the epidemiological curve, social mobility is restricted and this impacts proportionally on a country's economy.

Knowing that health is above economics, the alarming effects on the productive system and the possible economic recessions, particularly the hard blow to informal trade, micro, and medium enterprises, still cause concern.

The double medical and economic curve is an image of a paradox for decision-makers since the balance between containment policies and survival of the business system can present us with a scenario of a substantial decrease in the disease and at the same time an economy in default.

According to McKinsey & Company in: *Beyond coronavirus: The path to the next normal:*

“It is increasingly clear our era will be defined by a fundamental schism: the period before COVID-19 and the new normal that will emerge in the post-viral era: the “next normal.” In this unprecedented new reality, we will witness a dramatic restructuring of the economic and social order in which business and society have traditionally operated. What will it take to navigate this crisis, now that our traditional metrics and assumptions have been rendered irrelevant? Our answer

is a call to act across five stages: 1.- Resolve; 2.- Resilience; 3.- Return; 4. Reimagination, and 5.- Reform.”

However, these suggestions imply having rigorous and relevant data and information, to design economic and health policies consistent with the needs and projections; and at least try to establish some questions and working hypotheses:

- If there is no equity in the region in productive measures around COVID-19, will there be serious trade imbalances?
- What is the crisis cycle and what is the real criterion for quarantine, 15 days or 40 days?
- Safeguarding with specific measures the most vulnerable people affected by COVID-19, even so, should a large part of the productive apparatus be closed?
- Are there studies, data, information among the economic costs of the measures taken by COVID-19?
- With respect to the global projections for the health sector in the face of the COVID-19 crisis (hospitals, beds, ICU, doctors, nurses, equipment), on what basis is this done, what is the cost, are there reasonable progressive scenarios?
- Have fiscal assessments of the country been made before and after the crisis, and medium-term prospects for the health system?

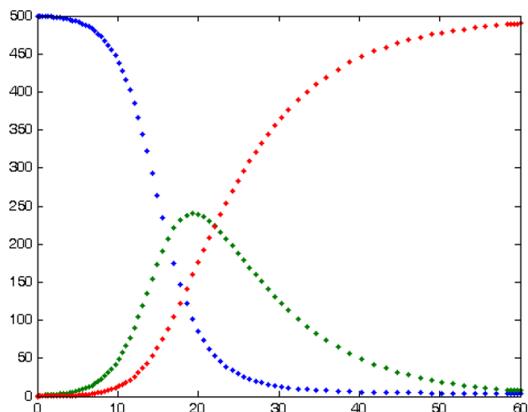


COVID-19 and mathematics

In the history of mankind, infectious diseases, epidemics, and pandemics have had a great impact on morbidity, mortality and the generation of fear or panic, which surely led to attempts being made for years to make predictions about the evolution of diseases, and subsequently models to explain their evolution, development, and impact.

The works of Bernouilli and D'Alambert (1771 and 1776) on plague and smallpox; those of Farr (1840) on bovine diseases; that of Ronald Ross (1911) on Malaria as well as its eradication; and Kermack and McKendrick's (1927) mathematical model of the Indian plague are the antechamber of contemporary mathematical and statistical thinking that gave rise to generalized linear models, multiple linear regression, categorical data analysis, spatial statistics, and Bayesian and statistical methods ("bootstrap" - GEE ("general estimating equations")).

Paraphrasing Casals, Guzmán and Caylà (2009), with the technological, computer and biomedical advances in the 1990s, the creation of multidisciplinary teams is of vital importance to achieving a holistic view of infectious phenomena; thus, clinical or medical staff, epidemiologists, but also mathematicians, statisticians, computer scientists, biologists, physicists, work on mathematical, biostatistical and bioinformatics models to achieve forecasts, trends, probabilities of what can happen when a viral disease is triggered.



SIR model example (Blue = Susceptible Population, Green = Infected Population and Red = Recovered Population).

Most contagious diseases: Ebola, HIV-AIDS, malaria, tuberculosis, influenza A/H1N1, SARS and now COVID19, etc., have been treated with various models, among which we highlight: SEIR, SI, SEIS or EIR, “Generalized Linear Model” (GLM), Markov, space models, Bayesian models, Monte Carlo models and “Generalized Estimating Equations” (GEE).



COVID-19 and the indicated models

Mathematical models of epidemics or biologicals involve the use of language and mathematical tools to explain and predict the behavior of infectious and potentially harmful agents to human or animal populations. There are two types of mathematical models: deterministic and stochastic. In a deterministic model, the factors involved in the study of the process or phenomenon can be controlled and therefore their results can be accurately predicted. In a stochastic model, it is not possible to control the factors involved in the study of the phenomenon and therefore it does not produce simple unique results. Each of the possible outcomes is generated with a "probability" function (Montesinos-López, Hernández-Suárez, 2007).

In mathematics, modeling is an attempt to extract the significantly important aspects of a real situation and translate them into the form of mathematical expressions and equations; the models use data and create simulations of contagion using specialized software: STATA, R or Python.

The **SIR** model (W. O. Kermack and A. G. McKendrick, 1927) - the one recommended for testing COVID-19 - considers a disease that develops over time and only three classes of individuals (where the name comes from):

- **S** Susceptible individuals, i.e. those who have not previously been ill and therefore may become infected when they come into contact with the disease.
- **I** Infected. Individuals who are infected and therefore able to transmit the disease to those in the S group.

- **R Recovered.** Individuals who have recovered from the disease and are no longer able to become ill again or to transmit the disease to others.

The **SEIS** model considers a new class of **E** individuals (exposed), that is, those who carry the disease but who, when they are in their incubation period, do not show symptoms and may or may not be able to infect others; and the **SEIR** model, derived from the **SEIS** model, adds **R**, the population of recoveries.

These models create curves, graphs and data that are important for the establishment of public health policies; for interventions, and above all for preventing scenarios. A virus as contagious as COVID19, which saturates hospital systems and demands a significant number of mechanical respirators, intensive care units (ICU), supplies and medical personnel, demands a solid and reasonable contingency plan, which can be fed by the SIR or SEIR model.



The applied SEIR model and scenarios

Model diagram

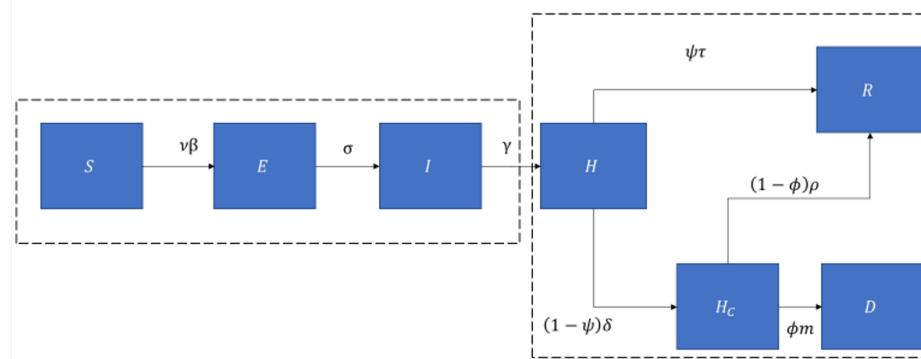


Figure 1: Diagram of the modified SEIR compartment model

We've divided the population into Susceptible (S), Exposed (E) and Infected (I); the infected population goes to Quarantine (H) and from Quarantine to Recovery (R) at best or to Intensive Care (HC) at worst. People in intensive care become recovered when they get better and in the worst case, they become dead (D).

Model equations:

Equation 1: Susceptible class

$$S' = -v\beta \frac{IS}{T}$$

Equation 2: Exposed class

$$E' = v\beta \frac{IS}{T} - \sigma E$$

Equation 3: Infected class

$$I' = \sigma E - \gamma I$$

Equation 4: Hospitalized class

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

Equation 5: Recovered class

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

Equation 6: Intensive Care class

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

Equation 7: Deceased class

$$D' = \phi m H_C$$

Variables:

The values of each variable refer to the number of cases reported by the government of El Salvador through the platform covid19.gob.sv on the morning of April 1, 2020.



Table 1: Variables list and initial condition

Symbol	Description	Initial condition
S	Susceptible population in the country.	6,581,859
E	Exposed population.	15
I	Infected population.	1
R	Recovered population. They no longer have any symptoms and are completely cured of the disease.	0
H	Hospitalized population. People who test positive for COVID-19 and are completely isolated, under supervision or medical care.	27
H_C	Population in intensive care. People with severe coronavirus disease who are under ICU care.	2
D	Deceased population. Individuals who died as a result of COVID-19 disease.	2

Parameters

Table 2: Parameters list

Symbol	Description	Optimistic scenario	Moderate scenario	Critical scenario
B	COVID-19 transmission rate. Estimated (worldwide) based on data from https://www.worldometers.info/coronavirus/	1.1897	1.1897	1.1897
σ^{-1}	Average incubation time of the virus. (taken from WHO)	5.2	5.2	5.2
γ^{-1}	Average time (in days) it takes a sick person at liberty to be isolated (R_0/β)	1.26	2.1	3.36
τ^{-1}	Average time (in days) that an individual spends in the hospital before recovery. (14-gamma)	12.74	11.9	10.64
ρ^{-1}	Average time it takes a person in intensive care to move to intermediate care. (14-gamma-delta)	8.74	7.9	6.64
δ^{-1}	Average time it takes a hospitalized individual to be admitted to intensive care.	3	3	3
m^{-1}	Life expectancy of individuals in intensive care. (33-gamma-delta)	25.14	24.3	23.04
N	Effectiveness of isolation in the country, excluding shelters.	[0,1]	[0,1]	[0,1]
ψ	Proportion of hospitalized population fully recovering from illness.	0.95	0.95	0.95
Φ	Proportion of individuals in intensive care who die of coronavirus.	0.09	0.09	0.09

Model limitations and scope

Mathematical modeling has been recognized as an important resource for epidemiological forecasting; however, like any scientific tool, it has certain limitations and scopes that need to be listed.

Limitations:

Availability of updated data on susceptible, exposed, infected and recovered (SEIR) individuals, this associated with problems of recording, application of tests, and other statistical variables involved in the model.

Given that COVID19 is a new pathology, there are still unresolved discussions in terms of viral processes of incubation, contagion, symptoms, etc.

Additional limitations may be considered, the fact of not considering factors that could affect the dynamics of the epidemic, such as age distribution, age-dependent susceptibility, population movements, and other idiosyncratic or cultural aspects.

In Latin America, epidemiological surveillance data are susceptible to error and may lack precision, which affects the accuracy of the models.

Regarding the equation and parameters, despite the robustness of the model, values are estimated from the literature of other countries, which requires making weekly adjustments; for example, in the case of mortality, where multiple interpretations persist.



Scope:

Despite the limitations mentioned, the contribution of this study lies in the fact that this approach allowed for immediate modeling of the behavior of the epidemic, which made it possible to carry out an exercise with real data that could help in making quick decisions and short and medium-term planning based on the results, with the support of accepted scientific literature (Robles et al, 2012).

The models run at 60 and 90 days have allowed important results and adjustments, which are evaluated with other “mirror” factors, such as the local epidemiological trend and evolution of cases or the observation of other countries with similar demographic conditions, allowing a reasonable prospection. Likewise, the results of other models (ARIMA Kolmogorov-Smirnov time series, developed by Walter Otoniel Campos of the University of El Salvador -04-01-2020) present similar scenarios and results to those obtained in this study.

The study is an important reference for decision-makers in the health field, especially as a short and medium-term instrument, since there is no variety of research in the academic environment to feedback into the design of decisions. Likewise, this work presents real gaps based on comparisons between real hospital capacity (beds, ICU, intensivists, doctors, and nurses) and the results of the model, which allows for reasonable progressive planning, avoiding limitations and excesses, to better manage fiscal resources.

The scope of the model is deterministic, which implies equal results in each run for the control of factors; in this context, the model is a projection of possible scenarios and, the effectiveness will depend to a great extent on the fulfillment

of the procedures of social distancing (e.g. domiciliary quarantine, migratory closing, airport closing); changes in these measures due to political or economic pressures could affect the results.

Results

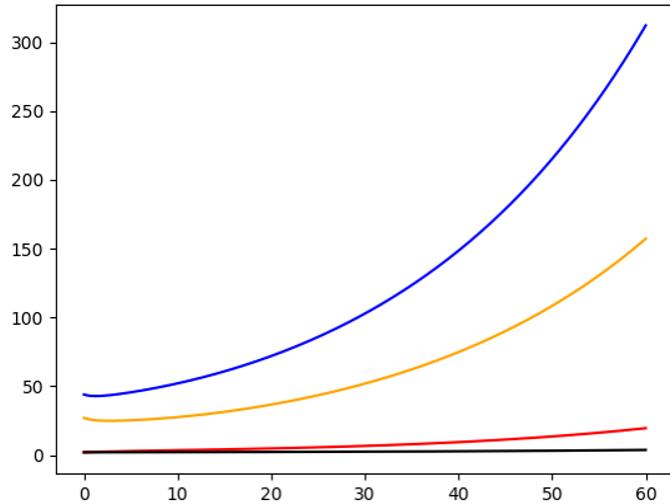
For the simulations, a program written in the Python programming language was developed and the Rutgen Kutta algorithm applied to the numerical solution of differential equations was used. The projection of the results was calculated for the next 60 days.



Optimistic scenario. We assume that an infected person can infect 1.5 susceptible people ($R_0=1.5$).

Table 3: Summary of results according to the effectiveness of isolation. Optimistic scenario.

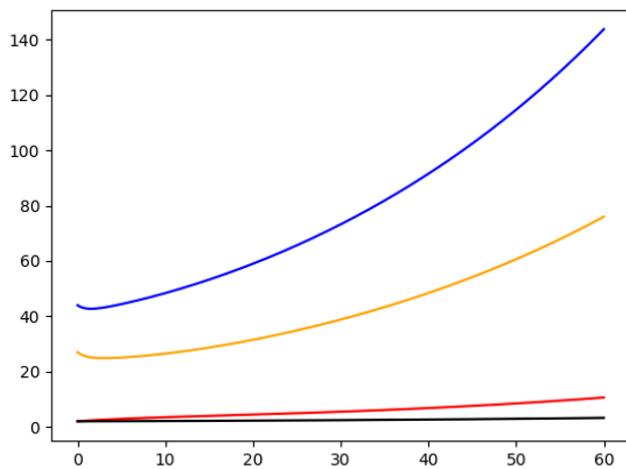
Isolation Effectiveness	Infected	Hospitalized	Intensive Care	Deceased
Low	313	158	20	4
Medium	144	77	11	4
High	67	37	6	3



After 60 days there will be: **313** infected, **158** people will be hospitalized, **20** will go to ICU and **4** may die

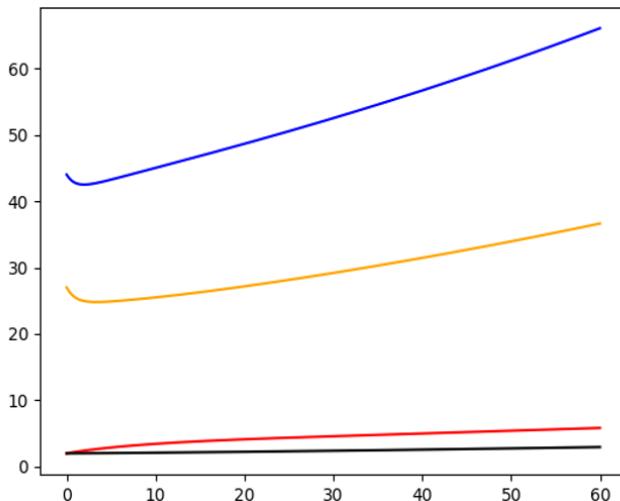
Graphic 1: Low isolation effectiveness¹.

1 Note: Although the model presents a low mortality from the global data (<https://www.worldometers.info/coronavirus/>), it is important to note that this rate could vary between 0.3 and 3.4% demographic conditions and other aspects of the efficiency of the hospital system.



Graphic 2: Medium isolation effectiveness.

After 60 days there will be: **144** infected, **77** people will be hospitalized, **11** will go to ICU and **4** may die.



Graphic 3: High isolation effectiveness.

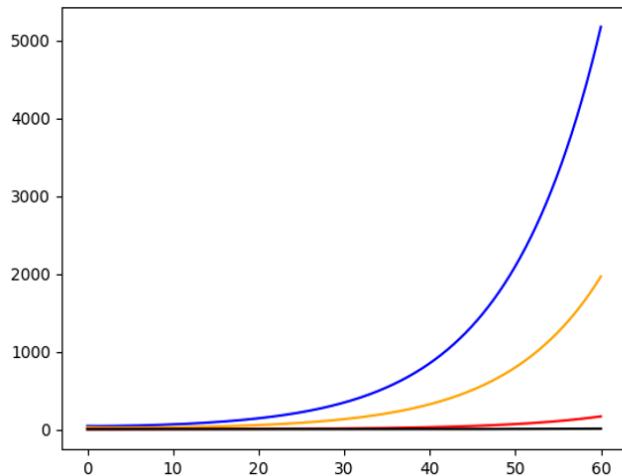
After 60 days there will be: **67** infected, **37** people will be hospitalized, **6** will go to ICU and **3** may die.



Moderate scenario. We assume that one infected person can infect 2.5 susceptible people ($R_0=2.5$).

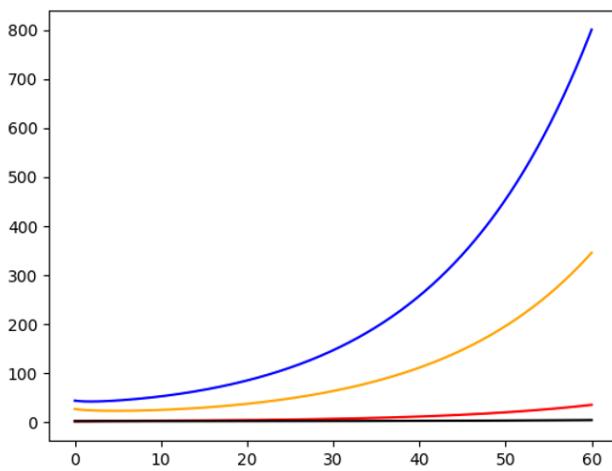
Table 4: Summary of results according to the effectiveness of isolation. Moderate scenario.

Isolation Effectiveness	Infected	Hospitalized	Intensive Care	Deceased
Low	5,175	1,965	167	9
Medium	801	346	36	5
High	111	56	8	3



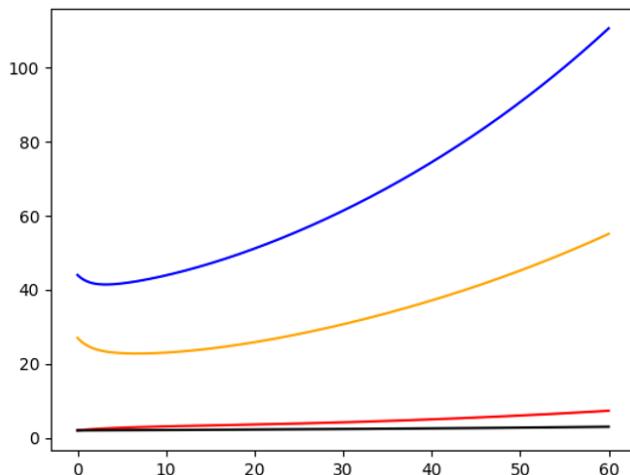
Graphic 4: Low isolation effectiveness.

After 60 days there will be: **5,175** infected, **1,965** people will be hospitalized, **167** will go to ICU and **9** may die.



Graphic 5: Medium isolation effectiveness.

After 60 days there will be: **801** infected, **346** people will be hospitalized, **36** will go to ICU and **5** people may die.



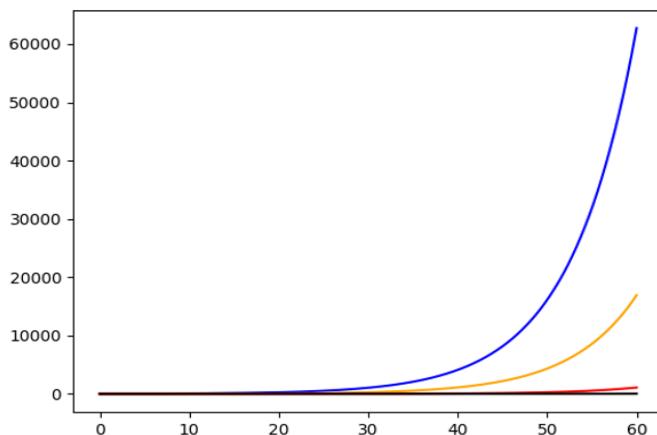
Graphic 6: High isolation effectiveness.

After 60 days there will be: **111** infected, **56** people will be hospitalized, **8** will go to ICU and **3** people may die.

Critical scenario. We assume that an infected person can infect 4 susceptible people ($R_0=4$).

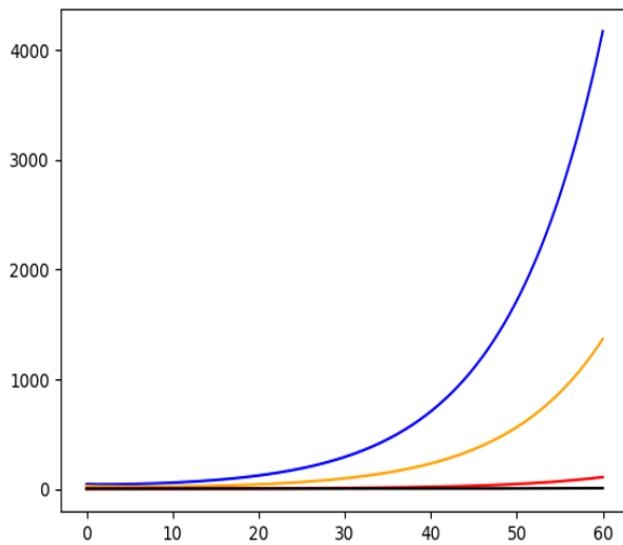
Table 5: Summary of results according to the effectiveness of isolation. Critical scenario.

Efectividad de aislamiento	Infectados	Hospitalizados	Cuidados intensivos	Muertos
Baja	62,710	16,926	1,089	34
Media	801	346	36	5
Alta	111	56	8	3



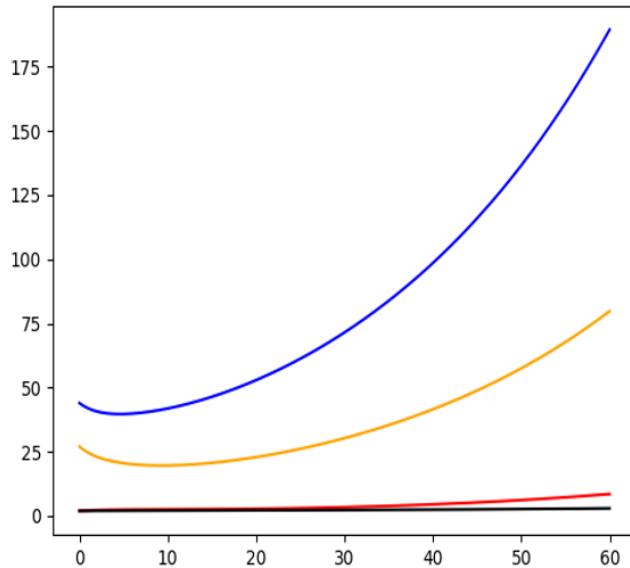
Graphic 7: Low isolation effectiveness.

After 60 days there will be: **62,710** infected, **16,926** people will be hospitalized, **1089** will go to ICU and **34** people may die



Graphic 8: Medium isolation effectiveness.

After 60 days there will be: **4,175** infected,
1,369 people will be hospitalized, **108** will
go to ICU and **7** people may die.



Graphic 9: High isolation effectiveness.

After 60 days there will be: **190** infected, **80**
people will be hospitalized, **9** will go to ICU
and **3** people may die.

On April 8, 2020, a new model with a 90-day range was run; this second simulation helps to better “calibrate and locate” possible scenarios of the evolution of the pandemic in El Salvador. First, the conditions of low isolation were eliminated, since certain important conditions are being met in the country, such as airport closure, migration closure, and quarantine. It also moved the interpretation criterion of the initial 60-day simulation: from the critical scenario to the moderate scenario, since the evolution of infections at 21 days from the first case marks a trend. The 90-day critical scenario has changed substantially, but it may be unrealistic according to the trend and evolution of cases; and it fluctuates in the following infection data: a) Optimist: high isolation 283, medium isolation 966; moderate scenario: high isolation 685, medium isolation 14,916 (this is the suggested reading); and pessimistic scenario: high isolation 1728, medium isolation 193,439.



COVID-19: Epidemiological notes

On March 11, 2020, the director of the World Health Organization (WHO) declared a “pandemic”, as more than 118,000 cases of a new disease were known in 114 countries: COVID-19, caused by a new coronavirus called SARS-CoV-2. As of April 1, 2020, more than 900,000 cases of COVID-19 have been reported worldwide.

Of these, 191,000 have recovered and more than 45,000 have died (Dong, Du, and Gardner 2020). Cases continue to increase exponentially in different regions of the world. All continents have reported cases, except Antarctica.

The first cases of the disease (COVID-19) were reported in December 2019 in Wuhan, Hubei Province, China. More than 80,000 cases and a total of 3,316 deaths have been reported in China to date (Dong, Du, and Gardner 2020). The peak of cases occurred between late January and early February 2020, with a declining incidence throughout March.

Transmission

It is presumed that the transmission of the disease, from person to person, is through airborne secretions. However, the method of transmission has not been fully defined. Small droplets are spread to other people and surfaces when a person infected with the virus sneezes or coughs, even while speaking. Contact with the body mucous membranes of those infected can also lead to infection. The secretions usually do not spread more than 2 meters, so it has been defined as “risky contact”, those that occur at shorter distances than this (CDC 2020). Therefore, it is recommended to adopt “contact” and “respiratory”

measures. Some have suggested that the virus can also be transmitted by “aerosols” (Yu et al. 2004) and through the digestive system (Gu, Han, and Wang 2020).

Infection period

The length of time an infected individual is “infectious” has not been fully determined, nor has the length of time people continue to “shed” the virus. However, studies with patients who had only mild symptoms suggested that 90% of patients would have a negative test for nasopharyngeal swab after 10 days. Patients with more severe cases remain positive for longer periods (Liu, Yan, et al. 2020). Other studies have suggested that this period is longer (8-37 days), averaging 20 days (Zhou et al. 2020).

The Pan American Health Organization (PAHO) estimates that the number of secondary infections, starting with one patient (R_0), is between 2 and 2.5 (PAHO 2020). However, other studies suggest that this number could be much higher, averaging 3.28 and a median of 2.79 (IQR 1.16) (Liu, Gayle, et al. 2020). Transmission from patients who remain completely asymptomatic has also been described; this is difficult to quantify since many of these patients will go undiagnosed (Rothe et al. 2020; Bai et al. 2020).

Most pandemics caused by SARS-CoV-2-like viruses have several “stages” of growth. The initial growth of an uncontrolled viral disease is exponential - one patient transmits it to 2-3 people, who can transmit it to 2-3 others, and so on. This pattern of growth results in “hot spots” in places where few cases were initially observed. COVID-19 has been no exception, with an initial phase of “slow” growth that then accelerates and reaches its



peak. The incubation time and the possible number of asymptomatic patients, who can transmit the disease, make it very particular. The characteristics of the virus, demographic and movement patterns, and population structure affect the pattern of transmission (Poletti, Ajelli, and Merler 2011). Studies from several provinces in China have suggested a “sub-exponential” growth by COVID-19. This is presumed to be due to the radical social measures taken in the different provinces of the country. This is presumably due to radical social measures in the different provinces of the country. The effects of the measures “external” to the behavior of the virus are given as they exhaust the individuals “susceptible” to catch the disease while extreme isolation and suppression measures are implemented (Maier and Brockmann 2020). Containment and suppression strategies are effective and should possibly be maintained for a longer period than the incubation period of the virus (Maier and Brockmann 2020). However, it is quite possible that we will see a fast increase of cases in the following weeks, following the exponential growth of the disease, characteristic of these viruses, from a small number of cases.

Immunity

It remains uncertain whether the formation of antibodies to the exposure to the virus generates immunity. Preliminary information indicates that certain antibodies confer protection. However, it is not known whether all those exposed to the virus will mount a lasting protective immune response. Studies are evaluating the use of serum from recovered patients to determine whether it can be used to incite an immune reaction in those with an active infection (Shen et al. 2020). It is clarified that none of these studies have been published and their results are preliminary.

Clinical profile

The incubation period is estimated to be 14 days, after exposure to the disease. Most cases occur between days four and five (Li et al. 2020; Guan et al. 2020).

Presentation and spectrum of the disease

The presentation of this disease varies from mild to severe and critical (Wu and McGoogan 2020). The vast majority of patients will have a mild presentation; influenza-like symptoms with a dry cough, body aches, fever and discomfort (Chan et al. 2020). These represent approximately 85 % of diagnosed cases. Treatment is supportive only, with medication to improve discomfort and fever. Many cases will not even be diagnosed because of their mild presentation.

About 15% of those infected will have a severe condition and will need to be admitted to the hospital. Their symptoms will include respiratory difficulty, low oxygen saturation and pulmonary complications such as pneumonia (Huang et al. 2020).

Finally, being a minority of diagnosed cases, 5 % of the patients will present a critical picture, needing intensive care and life support. They will have respiratory failure, shock and multiorgan dysfunction (Chen et al. 2020).

Mortality is estimated at 2.3% of all diagnosed cases. According to the WHO, mortality has varied from 0.7% to 5.8% in different provinces of China (McIntosh 2020). These deaths include primarily those with severe or critical presentation. However, these figures vary from country to country. In Italy, a mortality of 11.9% is observed, in contrast to 3% in South Korea ('Worldometer' 2020).



The clinical presentation of the disease and its mortality are probably related to demographic characteristics of the population. More severe presentations of COVID-19 are observed in older adults and in those with chronic diseases such as cardiovascular disease, diabetes, chronic lung disease, cancer and chronic renal failure (Zhou et al. 2020; Wu and McGoogan 2020). The vast majority of deaths have been seen in those with pre-existing health conditions.

Comparative studies on COVID-19: Costa Rica, Guatemala and Honduras

While it is true that the COVID-19 has almost completely paralyzed the world, the measures and times in which each country has closed down or faced up to it have been different.

As of 11 April 2020, the COVID-19 figures for the Central American countries were as follows

Table 6: COVID-19 compared data from the Central American region

Country	Confirmed cases	Deceased	Recovered	Tests
Belice	10	2	0	364
Guatemala	137	3	19	1,134
El Salvador	117	6	15	N/D
Nicaragua	8	1	3	N/D
Costa Rica	558	3	42	6,298
Panamá	2,974	74	17	11,776
Honduras	392	24	7	1,636

Source: Information and coordination platform SICA / COVID-19

Measures adopted by Guatemala

Guatemala is under curfew. It has recently been extended to April 12; this has been accompanied by a suspension of some activities. For example, since Monday, March 16, President Alejandro Giammattei ordered the suspension of all “labor activities, both public and private”; he also suspended public transportation services, events of all kinds and prohibited the hoarding of necessities. At the first minute of March 17, Guatemala closed its borders in order to combat the outbreak of the coronavirus. The current curfew restricts the movement of people between 4:00 p.m. and 4:00 a.m.



The president of Guatemala only took two days to tighten his measures. On March 14, he had already banned crowds of more than 100 people and with that, bars, churches, and some artistic and sporting events had begun to be canceled. On the same day, educational activities were suspended.

Day with the most cases: 7 cases on March 28, 2020.

Day with the most deaths: One on March 16, 2020.

Measures adopted by Honduras

Honduras behaved in much the same way as Guatemala. Its president, Juan Orlando Hernández, ordered on March 16 that its land, air and sea borders be closed. A day earlier, on March 15, he had already ordered the suspension of all public and private activities, the cancellation of sports events and the cancellation of public transport services. The measures have been toughened, and as of this date, people are only allowed to leave their homes on Mondays, Wednesdays, and Fridays.

In Honduras, all school classes were suspended on March 12, as well as all cultural events, when the health emergency was decreed.

Day with the most cases: 28 cases on March 28, 2020.

Day with the most deaths: One on March 27 and 29, 2020.

Measures adopted by Costa Rica

The government of Costa Rica began a few days before Guatemala and Honduras, on March 9, 2020, sporting events, concerts and popular festivals were already suspended. Schools and religious events were not suspended.

In the same government declaration, on March 9, the private company was already called upon to promote home-office and the control of prices of essential goods and food.

After the confirmation of 35 cases, on March 16, 2020, the Costa Rican government decided to close its borders and suspend all academic activities. There is currently a ban on vehicular traffic from 10:00 p.m. to 5:00 a.m.

Day with the most cases: 32 cases on 28 and 29 March 2020.

Day with the most deaths: One on March 19 and 21, 2020.

Measures adopted by El Salvador

The government of El Salvador on March 11 had already suspended all academic activities and ordered quarantine for all persons arriving in the country from abroad (from some countries since March 7). Foreigners were already prohibited from entering the country. The latter measure had been escalating, with Italians and South Koreans banned from entering on February 25 and Iranians on February 28.

On March 14, a State of Emergency and State of Exception was approved in El Salvador. On March 17, the borders are closed in their totality; by March 20, the absolute domicile quarantine is ordered in the country.

Day with the most cases: 6 cases on March 29, 2020.

Day with the most deaths: One every day.

If we look at the number of infected per country, we observe that Costa Rica and Panama have the most infected in the region. Costa Rica is a subject of this study and it is evident



that having kept the airport open until March 16 could have affected the numbers of those infected. The Juan Santamaría International Airport has a flow of more than 4.4 million passengers a year since the virus began to become a threat more than half a million people may have circulated.

Even though El Salvador's San Óscar Arnulfo Romero y Galdámez International Airport is the next in terms of traffic, having closed little by little - until it reached its full capacity - prevented a greater number of infections from abroad.

Conclusions and recommendations for Public Policy

Based on the construction of different scenarios on how COVID-19 could evolve, derived from the epidemiological model for El Salvador, it is possible to establish different frontiers of possibilities. Although the optimistic scenario is the most desirable, considering the trend in the appearance of cases, it is expected that the most real scenario - 60 days from the start - that El Salvador faces could range from: a) moderate: 5,175 infected; of which 1,965 people would be hospitalized, 167 would go to intensive care and nine people could die. And, b) Critical: 62,710 infected; of which 16,926 would be hospitalized, 1,089 would go to intensive care and 34 people could die.

This result shows a complicated scenario for the country but seems to be relatively more manageable than the one expected by the Government of El Salvador. In fact, on March 21, 2020, the government reported a projection of 3.1 million people infected in the next two months, thus justifying the mandatory and immediate adoption of home quarantine. Although indeed this measure to contain the diffusion of the virus in an early way is considered appropriate, the projections generated by the “Mathematical Progression” presented by the government, where 3×2^n , for $n=0,1,2,3,5,\dots$ (assuming that the number of cases doubles every 3 days); achieving an exponential growth where the figure is multiplied by two: 3,6,12,24,48,96,... until reaching 3,145,728 infected is unreal. In practice, this projection is unlikely due to the adoption of a series of containment measures, such as airport closure, migration closure, the establishment of Quarantine Compliance Centers (shelters), social distancing, among other actions. The expectation is that all these prevention measures will contribute to reducing a possible avalanche of COVID-19 cases in the health system that would exceed



its capacity to attend them. However, the possibility of this disease generating a crisis in the health system is one of the most important challenges to be faced.

It is difficult to know precisely what the capacity of the health system is to deal with the coronavirus pandemic, but the existing evidence for the public sector, which is the largest, suggests that it is limited. The Salvadoran National Health System is made up of the Ministry of Health (MINSAL, Spanish acronym), the Salvadoran Social Security Institute (ISSS, Spanish acronym), Military Health (SM, Spanish acronym), the Salvadoran Health Fund (FOSALUD, Spanish acronym), Teachers' Welfare (BM, Spanish acronym) and the Salvadoran Institute for Integral Rehabilitation (ISRI, Spanish acronym). Of all these institutions, the MINSAL and ISSS are the largest and account for approximately 90% of the system's capacity. The MINSAL has 30 hospitals (including 2 regional and 1 specialized), 754 Family Health Units and another 136 First Level Health Care Facilities²; and the ISSS has 11 hospitals, 35 medical units (20 with hospitalization), 287 Business Clinics and other First Level Health Care Establishments³. According to the official records of human resources in health for 2018, both institutions account for 89% of all physicians (general, resident, specialist, social service, and internal practitioner), and 91% of all nurses (general, specialist, and auxiliary) in the National Health System. Since the MINSAL and the ISSS have taken the lead in the fight against COVID-19, the analysis of gaps in their capacity to do so reveals their main weaknesses.

Table 7 shows the gaps in bed type by complexity and some of the key human resources to be able to care for patients

² These include: Rural Health Centers, Health Houses, Emergency Care Centers and Maternity Waiting Homes. Source: Health Office (2020).

³ It refers to Community Clinics and Day Care Centers. Source: ISSS (2019)

with COVID-19 for the worst-case scenario. These estimates consider the recommendations of the Pan American Health Organization (PAHO, 2020) regarding the reorganization of resources to respond to the emergency generated by the COVID-19 pandemic.

Table 7: National Health System Capacity: ISSS and MINSAL

Resources	Current	Worst case scenario requirement in 60 days (*)	GAP
Beds	6,557	16,926	-10,369
ICU beds	238	1,089	-851
General or resident physicians	3,587	1,411	2,177
Intensivists (**)	60	182	-122
Nurses	4,605	2,821	1784

* Assumes 1 physician for 12 beds, 1 intensivist for 6 beds and 1 nurse (professional or specialist) for 6 beds to care for patients in stable, unstable, or critical condition, as recommended by PAHO in response to the COVID-19 pandemic. All working in 8-hour shifts

** The number of MINSAL intensivists was estimated at 37 but could be less. It was not possible to find information on other specialists required, for example, pulmonologists, respiratory therapy technicians, and intensive care technicians.

Source: Own calculations based on data from ISSS and MINSAL 2018 and 2019

In this regard, the greatest gaps are found in the availability of staffed beds and beds in Intensive Care Units (ICUs) and intensivists to care for patients in critical conditions; and, therefore, in the equipment associated with this type of care. Among the latter are mechanical ventilation, medical gas network with oxygen, air and vacuum, secondary oxygen supply system, devices for continuous and invasive monitoring, infusion pump for drug supply, among other medical resources. It is important to point out, that by repeating the simulation of the evolution of the disease 90 days after the first case was reported, the resource requirements that the mathematical model gives an interesting result. Assuming a



scenario of moderate risk of contagion with average isolation effectiveness, the number of people requiring hospital care is reduced and the only gap that prevails is in the number of ICU and intensive care beds, although in smaller numbers (-424 and -51, respectively). This result suggests that the greater the discipline in compliance with virus containment measures, the greater the room for maneuver for the health system to respond more effectively to the emergency. Table 7 shows the gaps in bed type by complexity and some of the key human resources to be able to care for patients with COVID-19 for the worst-case scenario. These estimates consider the recommendations of the Pan American Health Organization (PAHO, 2020) regarding the reorganization of resources to respond to the emergency generated by the COVID-19 pandemic.

In any of these scenarios, although it appears that the system has enough doctors and nurses to respond to the emergency, in practice this is not entirely the case. It is important to note that the existing installed capacity offers different care services that cannot be neglected. Only a certain percentage of the existing medical staff could be designated to attend to cases of COVID-19, considering the increasing complexity of the patients with this disease who are projected to have it. Hence, it is important to establish effective plans and mechanisms to progressively reorganize and expand health services in the territory, following the evolution of the pandemic.

In the case of El Salvador, the early adoption of extreme preventive measures to contain the spread of the virus has bought some time to increase the system's response capacity. However, according to PAHO (2020), this should not be limited to obtaining the number of beds and human resources needed to care for patients requiring hospitalization or highly complex clinical care. At the same time, the capacity of the

first level of care should be increased to detect and control cases of COVID-19, follow up patients in their homes and identify early complications, classify patients according to the urgency of care (triage), and care for patients with other acute or chronic conditions, among other activities to be considered when reorganizing health services during a health emergency.

PAHO (April 3, 2020) has also recommended that governments take advantage of the capacities and resources of the private health sector to plan and maximize the use of available resources. From the health perspective, the responsibility for action in the face of the pandemic should not be solely the responsibility of the public sector. The call is for combined public and private efforts and resources to rapidly expand health system capacity. The private sector can contribute to solving some of the most urgent challenges, including access to affordable, quality COVID-19 testing, and the provision of both protective equipment for health workers and the drugs and equipment needed to care for patients.

On the other hand, considering the relationship between the economy and health, the private sector can also provide solutions in other areas. It can support initiatives not only to strengthen the enforcement of health measures in communities but also to strengthen or create protection mechanisms for vulnerable populations (people living in poverty, food insecurity, the disabled, the elderly, etc.). The business sector, particularly, could also help to devise solutions that would gradually revive economic activity by maintaining health protocols to protect workers. In this way, the loss of jobs and income for households caused by coronavirus containment measures could be reduced, supply chains maintained, productive capacity sustained and the economic recession and its impact on social welfare halted.



Having presented the most important conclusions derived from the analysis of different scenarios for the evolution of COVID-19 in El Salvador, the general recommendations for public health policy can be defined in the following terms:

- It is essential to process as many RT-PCR⁴ tests as possible to verify that the infected and immune are identified.

Without a COVID-19 vaccine or a herd immune to this virus in society, returning to normality is as difficult as maintaining a home quarantine, which is unsustainable. To avoid paralyzing society and the economy, there is an urgent need to expand capacity for mass and targeted testing (Baldwing, March 26, 2020 and Romer and Shah, April 2, 2020). Why?

Firstly, it is important to identify workers in essential sectors (e.g. health, food, security, and transport) who are not infected so that they can work, following measures that protect them from being infected. Secondly, the application of tests to workers in other sectors, together with the implementation of rigorous health controls, would allow economic activity to be reactivated by minimizing the risks of COVID-19 transmission. And thirdly, to achieve an appropriate balance between the establishment of quarantines and other measures to reduce the transmission of the virus, having more information on the prevalence of the disease is vital. One way to achieve this would be through the application of COVID-19 tests to a representative sample of the population in different settings. According to Nussbaumer-Streit, et. al. (2020), this strategy can help to better understand what the true proportion of infected people is; and, furthermore, this

⁴ RT-PCR means Transcription- Polymerase Chain Reaction. It's a type of test to detect the genetic material of the virus.

would help to define better parameters of epidemiological models that help to guide public policy decisions.

- Create an “immunity identification” program to bring the productive force back into their businesses and not paralyze the economy.

Social distancing measures significantly reduce the dynamism of consumption and production of goods and services, a situation that if not addressed could lead to a deep economic recession (Baldwing and Weder di Mauro, 2020). The problem is that as long as there is no vaccine against this disease, there is a high probability of new outbreaks of infection, which would again put the health system and the economy under pressure.

To reduce the health risks caused by a second wave of contagion and to reactivate the production system, mechanisms could be designed to enable companies to identify immune personnel and to operate under strict health controls. In this regard, Hernández Suárez and González Farias (2020) propose the creation of an “immunity identification” program. This would use tests to identify people who have already acquired the disease and would use predictive models to determine the dynamics of the epidemic in the company and the speed at which the workers could return. However, for such a program to work, it must be ensured that the mechanisms for identifying immunity are reliable. In this regard, Dewatripont et. al (2020) suggest using two types of tests for this purpose. Serological ELISA tests to detect specific antibodies to SARS COVID-2 and RT-PCR tests to detect the genetic material of the virus. In this way, it can be known whether a person considered immune still carries the virus and infects others.



- Create a fast and effective medical specialization program to train intensivists, pulmonologists, internists, etc. To close the gap.

In order to have enough physicians specialized in intensive care, PAHO (2020) recommends that countries train not only intensivists and pediatric emergency physicians in the management of adults. It also proposes to rapidly train internists, pulmonologists, otolaryngologists, and other physicians with related specialties. Besides, a group of nurses and other health professionals should be trained in the management of critically ill patients in need of assisted ventilation and respiratory therapy. All training efforts for these health professionals should include training in the proper use of personal protective equipment, as well as knowledge of infection prevention and control measures related to the COVID-19 pandemic.

Since it is complex to assume that non-specialist doctors can be trained in the short term, in a comprehensive way to manage critical patients, with the complexity of those with COVID-19, many developed countries, such as the United States, have opted to form teams (“pods”) for medical and nursing staff. In the case of physicians, each team is led by an experienced intensivist. To this, in a pyramidal shape, 2-3 non-intensive physicians are added, but with some experience in critical care (pulmonologists, surgeons, emergency physicians). The group leader assists in decision making and evaluation but is not necessarily at the side of all patients. In this way, the experience and knowledge of experienced intensivists are exploited. This model is very common in the “academic” medical world, where residents and interns report to the attending physician, who assists in management and decision making. For nursing staff, a similar concept is taken. Forming “pods” with a nurse leader, experienced in critical care, who is assigned 3-4 noncritical

care nurses. The leader will assist in the care of patients and serve as a guide for the non-specialist nurses. These models allow for the expansion and exploitation of the knowledge and expertise of already trained and experienced staff, to increase resources in an efficient, safe, and expeditious manner.

- Design a program for the provision of ICU beds and rooms based on the projection of the model, on a scale of 15 days to one month, in order to achieve the closing of the gap.

In this regard, it is proposed to increase the availability of staffed beds and ICU beds progressively, in accordance with the projections of the demand for COVID-19 patients. On this point, PAHO (2020) suggests establishing a mechanism for centralized bed management, which would make it possible to integrate the national capacity, especially for critical care, of the system's hospital network. In this way, it would be possible to know the daily availability of staffed and non-staffed beds, in order to use resources more efficiently.

- Continue solving mathematical models by making adjustments and refining the data and results of the projections about the evolution of the COVID-19 in the country.

As more information is obtained about the disease, the parameters of the epidemiological model can be adjusted and predictions about disease evolution scenarios can be improved. This information would help to better guide public policy decision-makers on the type and duration of disease containment measures. It can also be very useful in defining how many resources are required to deal with the pandemic over a time period and to be able to prepare in advance by avoiding waste.



- Supporting businesses, universities, and institutions that can provide equipment and other necessary inputs.

To expand the capacity of the public health system to deal with the COVID-19 pandemic, it is important to involve businesses, universities, and other institutions that can provide valuable knowledge and resources for this purpose. As mentioned, these actors can complement government efforts by developing innovations and providing support to address the most urgent needs, such as access to quality and affordable testing for COVID-19 and immunity to SARS-COVID-2 virus, provision of protective equipment for health workers, medicines, and equipment needed to care for patients, especially those in critical condition.

Final technical note:

As of May 1, 2020, the date on which we close this report, one month thirteen days after the start of the COVID19 pandemic in El Salvador (March 18, 2020), and considering: a) The evolution of cases; b) the study of the two applied mathematical models; and c) maintaining the current isolation measures at 86 days; The technical team considers that the most real scenarios could be between: a) Optimistic - moderate isolation - in the 90-day model: 966 infected (511 hospitalized, 71 ICU beds); and b) Moderate - of moderate isolation - in a 60-day model: 5,175 infected (1965 hospitalized, 167 ICU beds).



Bibliography

JL Matjasko, JH Cawley, MM Baker-Goering, DV Yokum Am, *Applying behavioral economics to public health policy: Illustrative examples and promising directions* Prev Med, 50: S13-Ss9, 2016.

Baldwing, R. (March 26, 2020). *COVID-19 testing for testing times: Fostering economic recovery and preparing for the second wave*. VOX, CEPR Policy Portal. Research-based policy analysis and commentary from leading economists. Retrieved: <https://voxeu.org/article/testing-testing-times>

Baldwing, T. and Weder di Mauro, B. (2020). *Mitigating the COVID-19 Crisis. Act fast and do whatever it takes*. A VoxEUR.org Book, CEPR Press, London, UK.

Cosme C; Cárdenas R; Miyar A, *Economía y Salud Conceptos, Retos y Estrategias* [Economy and Health Concepts, Challenges and Strategies], OPS (1999).

CAMARASAL; *Encuesta empresarial* [Business Survey] (March 30, 2020)

Dewatripont, M.; Goldman, M.; Muraille, E.; and Platteau, J-P (2020). *Rapidly identifying workers who are immune to COVID-19 and virus-free is a priority for restarting the economy*. VOX CEPR Policy Portal. Research-based policy analysis and commentary from leading economists. Retrieved: <https://tinyurl.com/rv9xrck>

McKinsey & Company: *Beyond coronavirus: The path to the next normal* (2020)

Casals, Martí; Guzmán, Katty and Cayla, Joan A. *Modelos matemáticos utilizados en el estudio de las enfermedades transmisibles* [Mathematical models used in the study of contagious diseases]. Rev. Esp. Salud Pública [online]. 2009, vol.83, n.5, pp.689-695. ISSN 2173-9110.

Montesinos-López OA, Hernández-Suárez CM *Modelos...* [Models CM...] 218 Salud Pública de México / vol.49, no.3, may-june 2007

William Ogilvy Kermack and A. G. McKendrick; *A contribution to the mathematical theory of epidemics;* (1927)

Bai, Yan, Lingsheng Yao, Tao Wei, Fei Tian, Dong-Yan Jin, Lijuan Chen, and Meiyun Wang. 2020. *Presumed asymptomatic carrier transmission of COVID-19*, Jama.

Campos Guevara, W.O; COVID-19: *Análisis de las series de tiempo en países clave* [COVID19: Time series analysis in key countries]; Universidad de El Salvador (2020); no editorial data.

CDC, Centers for Disease Control and Prevention -. 2020. *Interim U.S. Guidance for Risk Assessment and Public Health Management of Healthcare Personnel with Potential Exposure in a Healthcare Setting to Patients with Coronavirus Disease (COVID-19)*. <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/hcp/guidance-risk-assesment-hcp.html>.

Fanfan Xing, Jieling Liu, Cyril Chik-Yan Yip, and Rosana Wing-Shan Poon. 2020. *A familial cluster of pneumonia associated with the 2019 novel coronavirus indicating person-to person transmission: a study of a family cluster*, The Lancet, 395: 514-23.



Wang, Ying Liu, and Yuan Wei. 2020. *Epidemiological and clinical characteristics of 99 cases of 2019 novel coronavirus pneumonia in Wuhan, China: a descriptive study*, *The Lancet*, 395: 507-13.

Dong, Ensheng, Hongru Du, and Lauren Gardner. 2020. *An interactive web-based dashboard to track COVID-19 in real time*, *The Lancet Infectious Diseases*.

Gabinete de Salud (2020). *Situación del sistema de salud: capacidad instalada* [Situation of the health system: installed capacity]. Work paper. Government of El Salvador, San Salvador, El Salvador (unpublished paper).

Gu, Jinyang, Bing Han, and Jian Wang. 2020. COVID-19: *Gastrointestinal manifestations and potential fecal-oral transmission*, *Gastroenterology*.

Guan, Wei-jie, Zheng-yi Ni, Yu Hu, Wen-hua Liang, Chun-quan Ou, Jian-xing He, Lei Liu, Hong Shan, Chun-liang Lei, and David SC Hui. 2020. *Clinical characteristics of coronavirus disease 2019 in China*, *New England Journal of Medicine*.

Hernández Suarez, C. and González Farías, G. (2020). *Plan de reincorporación sostenible y controlada de la fuerza de trabajo para las empresas* [Sustainable and controlled workforce reincorporation plan for companies]. Unpublished paper.

Huang, Chaolin, Yeming Wang, Xingwang Li, Lili Ren, Jianping Zhao, Yi Hu, Li Zhang, Guohui Fan, Jiuyang Xu, and Xiaoying Gu. 2020. *Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China*, *The Lancet*, 395: 497-506.

ISSS, Instituto Salvadoreño de El Seguro Social [Salvadoran Institute of Social Security] (2019). *Inventario de los principales recursos humanos y físicos de salud del ISSS* [Inventory of the main human and physical health resources of the ISSS], Subdirección de Salud, División de políticas y estrategias de salud, Departamento de atención y programación en salud. San Salvador, El Salvador (Unpublished paper)

Li, Qun, Xuhua Guan, Peng Wu, Xiaoye Wang, Lei Zhou, Yeqing Tong, Ruiqi Ren, Kathy SM Leung, Eric HY Lau, and Jessica Y Wong. 2020. *Early transmission dynamics in Wuhan, China, of novel coronavirus–infected pneumonia*, New England Journal of Medicine.

Liu, Yang, Li-Meng Yan, Lagen Wan, Tian-Xin Xiang, Aiping Le, Jia-Ming Liu, Malik Peiris, Leo LM Poon, and Wei Zhang. 2020. *Viral dynamics in mild and severe cases of COVID-19*, The Lancet Infectious Diseases.

Liu, Ying, Albert A Gayle, Annelies Wilder-Smith, and Joacim Rocklöv. 2020. *The reproductive number of COVID-19 is higher compared to SARS coronavirus*, Journal of Travel Medicine, 27.

Maier, Benjamin F, and Dirk Brockmann. 2020. *Effective containment explains sub-exponential growth in confirmed cases of recent COVID-19 outbreak in Mainland China*, arXiv preprint arXiv:2002.07572.

MINSAL, Ministerio de Salud [Healt Ministry of El Salvador] (2018) *Observatorio de recursos humanos en salud de El Salvador* [Observatory of Health Human Resources in El Salvador]. Government of El Salvador. Available in: <https://rrhh.salud.gob.sv/node/90>



McIntosh, Kenneth. 2020. *Coronavirus disease 2019 (COVID-19)*, UpToDate. Hirsch MS, Bloom A (Eds.). Accessed Mar, 5.

Nussbaumer-Streit B, Mayr V, Dobrescu AI, Chapman A, Persad E, Klerings I, Wagner G, Siebert U, Christof C, Zachariah C, Gartlehner G. *Quarantine alone or in combination with other public health measures to control COVID-19: a rapid review*. Cochrane Database of Systematic Reviews 2020, Issue 4. Art. No.: CD013574. DOI: 10.1002/14651858.CD013574.

Navarro-Robles E, Martínez-Matsushita L, López-Molina R, Fritz-Hernández J, Flores-Aldana BA, Mendoza-Pérez JC. *Modelo para estimación del comportamiento epidémico de la influenza A (H1N1) en México* [Model for estimating the epidemic behavior of influenza A (H1N1) in Mexico]. Panamerican Journal of Public Health. 2012;31(4):269–74.

OPS, Organizacion Panamericana de la Salud (PAHO) 2020. *Similitudes y diferencias entre la COVID-19 y la gripe* [Similarities and differences between the COVID-19 and the flu]. https://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=15760:similitudes-y-diferencias-entre-la-covid-19-y-la-gripe&catid=740&lang=es&Itemid=1926.

OPS, Organización Panamericana de la Salud (PAHO) (2020). *Recomendaciones para la reorganización y ampliación progresiva de los servicios de salud para la respuesta a la pandemia COVID-19* [Recommendations for the reorganization and progressive expansion of health services for the response to the COVID-19 pandemic]. Technical Working Paper. Retrieved: <https://tinyurl.com/vnp8d7j>

OPS, Organización Panamericana de la Salud (PAHO) (April 3, 2020). *Directora de la OPS llama al sector privado a cooperar en la respuesta a la COVID-19 en las Américas* [PAHO Director calls on the private sector to cooperate in the response to COVID-19 in the Americas]. Washington, D.C. Retrieved: <https://tinyurl.com/rfpevkq>

Romer, P. y Shah, R. (April 2, 2020). *Testing is our way out*. Wall Street Journal. Opinion. Retrieved: <https://www.wsj.com/articles/testing-is-our-way-out-11585869705>

Poletti, Piero, Marco Ajelli, and Stefano Merler. 2011. *The effect of risk perception on the 2009 H1N1 pandemic influenza dynamics*, *PloS one*, 6.

Rothe, Camilla, Mirjam Schunk, Peter Sothmann, Gisela Bretzel, Guenter Froeschl, Claudia Wallrauch, Thorbjörn Zimmer, Verena Thiel, Christian Janke, and Wolfgang Guggemos. 2020. *Transmission of 2019-nCoV infection from an asymptomatic contact in Germany*, *New England Journal of Medicine*.

Shen, Chenguang, Zhaoqin Wang, Fang Zhao, Yang Yang, Jinxiu Li, Jing Yuan, Fuxiang Wang, Delin Li, Minghui Yang, and Li Xing. 2020. *Treatment of 5 Critically Ill Patients With COVID 19 With Convalescent Plasma*, *Jama*.

Worldometer. 2020. <https://www.worldometers.info/coronavirus/country/south-korea/>.

Wu, Zunyou, and Jennifer M McGoogan. 2020. *Characteristics of and important lessons from the coronavirus disease 2019 (COVID-19) outbreak in China: summary of a report of 72 314 cases from the Chinese Center for Disease Control and Prevention*. *Jama*.



Yu, Ignatius T.S., Yuguo Li, Tze Wai Wong, Wilson Tam, Andy T. Chan, Joseph H.W. Lee, Dennis Y.C. Leung, and Tommy Ho. 2004. *Evidence of Airborne Transmission of the Severe Acute Respiratory Syndrome Virus*. New England Journal of Medicine, 350: 1731-39.

Zhou, Fei, Ting Yu, Ronghui Du, Guohui Fan, Ying Liu, Zhibo Liu, Jie Xiang, Yeming Wang, Bin Song, and Xiaoying Gu. 2020. *Clinical course and risk factors for mortality of adult inpatients with COVID-19 in Wuhan, China: a retrospective cohort study*, The Lancet.

Misión de FUSADES

Ser un centro de pensamiento e investigación de alta credibilidad, que promueva el progreso económico y social de los salvadoreños, mediante el desarrollo sostenible, bajo un sistema democrático y de libertades individuales, incentivando el diálogo como mecanismo de búsqueda de acuerdos de país.

FUSADES Mission

To be a highly credible think and research center that promotes the economic and social progress of Salvadorans, through sustainable development, under a democratic system and individual liberties, encouraging dialogue as a mechanism for seeking country agreements.

Misión de Departamento de Estudios Sociales

Generar conocimiento y recomendaciones de política social, promover el diálogo y debate calificado, e incidir en acciones de contraloría social desde la sociedad civil.

Mission of the Department of Social Studies

Generate knowledge and recommendations of social policy, promote dialogue and qualified debate, and influence actions of social control from civil society.

Misión UFC

La formación de profesionales competentes, innovadores, emprendedores y éticos, mediante la aplicación de un proceso académico de calidad que les permita desarrollarse en un mundo globalizado.

UFG Mission

The training of competent, innovative, entrepreneurial and ethical professionals, through the application of a quality academic process that allows them to develop in a globalized world.

Misión del Instituto de Ciencia, Tecnología e Innovación

Diseñar, promover y acompañar iniciativas, políticas, programas y proyectos académicos-empresariales para el desarrollo de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación que impacten en la productividad y competitividad de El Salvador.

Mission of the Institute of Science, Technology and Innovation

Design, promote and support academic-business initiatives, policies, programs and projects for the development of Science, Technology and Innovation that impact the productivity and competitiveness of El Salvador.

ISBN 978-99923-47-82-9