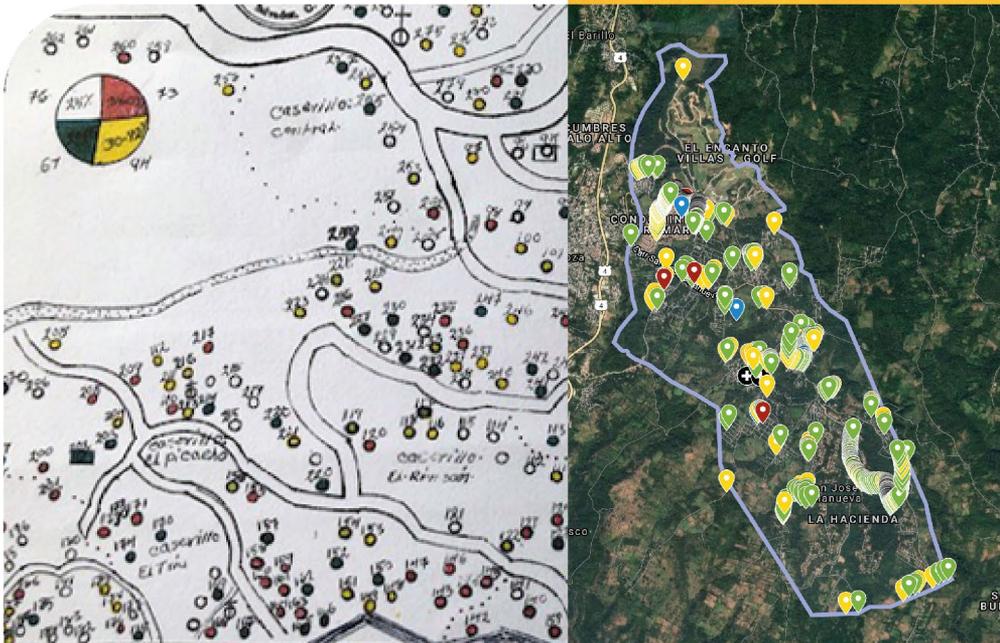


Manual de Epidemiología Actualizado

CERCOS EPIDEMIOLÓGICOS INTELIGENTES:

UN ENFOQUE EDUCATIVO, INFORMACIONAL Y TECNOLÓGICO



O. Picardo Joao

A. Montes Figueroa
(Revisor)



**COLEGIO MÉDICO
DE EL SALVADOR**
UNIDAD, CIENCIA Y SERVICIO

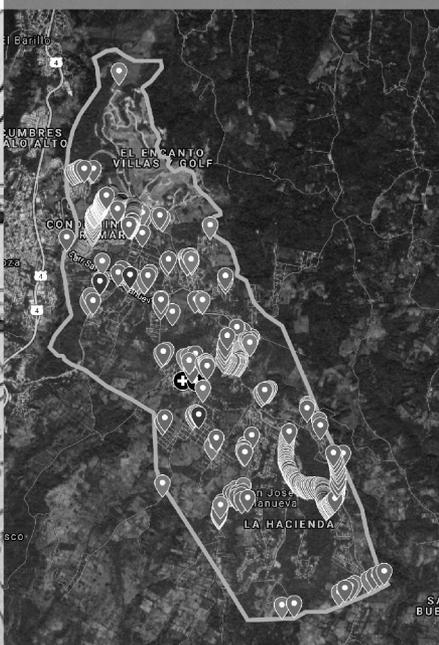
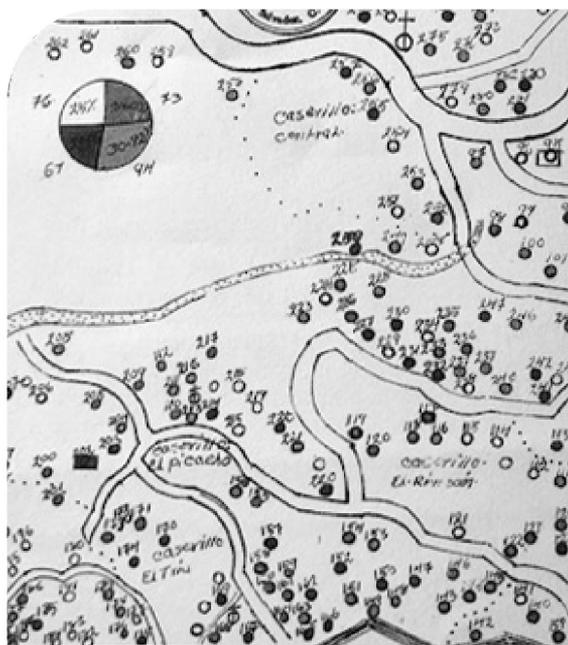
UFG-Editores

UNIVERSIDAD FRANCISCO GAVIDIA

Manual de Epidemiología Actualizado

CERCOS EPIDEMIOLÓGICOS INTELIGENTES:

UN ENFOQUE EDUCATIVO, INFORMACIONAL Y TECNOLÓGICO



O. Picardo Joao

A. Montes Figueroa
(Revisor)



COLEGIO MÉDICO
DE EL SALVADOR
UNIDAD, CIENCIA Y SERVICIO

UFG-Editores
UNIVERSIDAD FRANCISCO GAVIDIA

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

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

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

Correctora de estilo

Claudia Renee Meyer

Diagramación y diseño

Gustavo A. Menjivar

Fotografías

Raúl Benítez

DIRECCIÓN Y CONTACTO

CalleElProgreso, n.º 2748, EdificiodeRectoría,
San Salvador, El Salvador, Centroamérica.
Tel.: (503) 2249-2700 y (503) 2249-2716
Correo electrónico: editores@ufg.edu.sv
www.ufg.edu.sv

Consejo de Redacción

Dr. Oscar Picardo Joao
Director del Instituto de Ciencia, Tecnología e Innovación
(ICTI-UFG).
Correo electrónico: opicardoj@ufg.edu.sv

Dr. Rainer Christoph
Investigador Nanotecnología ICTI-UFG.
Correo electrónico: rainer@nanotecnia.net

Doctorando Rolando Balmore Pacheco
Director de Egresados y Graduados UFG.
Correo electrónico: rpacheco@ufg.edu.sv

DE ESTA EDICIÓN

Título: Cercos Epidemiológicos Inteligentes: Un enfoque educativo, informacional y tecnológico.

Autores: Oscar Picardo Joao (Adán Montes Figueroa, revisor).

Colección: Salud Pública

Primera edición

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

ISBN: _____

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 O, Montes A. Cercos Epidemiológicos Inteligentes: Un enfoque educativo, informacional y tecnológico. El Salvador: UFG Editores; 2020.

Hecho el depósito que dicta la ley.

Impreso en: _____
Agosto de 2020, San Salvador, República de El Salvador, Centroamérica.

Carta de entendimiento entre la Universidad Francisco Gavidia (UFG) y
El Colegio Médico de El Salvador (COLMED)

En la ciudad de San Salvador, a los treinta y un días del mes de julio de dos mil veinte, presentes, por una parte, el Ing. Mario Antonio Ruiz Ramírez, en calidad de Representante Legal de la Universidad Francisco Gavidía, en adelante UFG, y por otra Dr. Milton Brizuela persona que tiene acreditada la representación legal del Colegio Médico de El Salvador en su calidad de Presidente, en adelante COLMED, convenimos en celebrar la presente Carta de Entendimiento.

CONSIDERANDO:

1. Que la Universidad Francisco Gavidia dentro de su misión tiene 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 y que, por lo tanto, puede establecer convenios con empresas, organizaciones e instituciones públicas o privadas, nacionales e internacionales para la consecución de sus fines.
2. Que siendo la Universidad una corporación de utilidad pública, sin fines de lucro, apolítica, con personalidad jurídica, otorgada de conformidad con las Leyes de la Republica; como institución de educación superior, su misión es formar profesionales con alta calidad académica, conscientes del servicio con sus semejantes.
3. Que El Colegio Médico de El Salvador tiene como objetivo mantener y elevar el nivel científico, cultural y moral de sus miembros para proporcionar a la Sociedad salvadoreña adecuados servicios profesionales.

POR TANTO: Con fundamento en los considerandos que anteceden,

AMBAS PARTES ACUERDAN: celebrar la presente Carta de Entendimiento de conformidad con las siguientes cláusulas:

CLÁUSULA PRIMERA: Finalidad

Esta Carta de Entendimiento entre la Universidad Francisco Gavidia y El Colegio Médico de El Salvador tiene como objetivo principal desarrollar acciones académicas y científicas de beneficio mutuo para ambas instituciones y para la sociedad salvadoreña; de modo particular acordar una coedición editorial.

CLÁUSULA SEGUNDA: Mecanismos de Comunicación

Las instituciones firmantes se comprometen a crear los mecanismos adecuados para mantener una comunicación permanente, fluida, oportuna y eficaz entre ellas, con el

Carta de entendimiento entre la Universidad Francisco Gavidia (UFG) y El
Colegio Médico de El Salvador (COLMED)

propósito de garantizar el cumplimiento óptimo de esta Carta de Entendimiento, respetando la naturaleza y forma de trabajo de ambas instituciones.

En todo lo que compete al cumplimiento de esta Carta de Entendimiento, la Universidad Francisco Gavidia nombra al Dr. Óscar Picardo Joao como enlace con El Colegio Médico de El Salvador y esta a su vez nombra al Dr. Adán Montes como su enlace ante la Universidad Francisco Gavidia. Ambos entes se comprometen a programar reuniones periódicas con el fin de verificar que el cumplimiento de esta Carta de Entendimiento este siendo efectivo.

CLÁUSULA TERCERA: Contribución de las Partes:

La Universidad Francisco Gavidia se compromete a:

- Editar y publicar un manual actualizado de epidemiología, titulado “Cercos Epidemiológicos Inteligentes”, trabajo que surge de una experiencia en campo diseñada por el Dr. Oscar Picardo Joao (UFG), y revisada por el Dr. Adán Montes (COLMED).
- Esta coedición será con el aval de la Junta Directiva del COLMED, una vez publicado UFG y COLMED presentarán el libro a la comunidad de médicos salvadoreños y a los diversos departamentos de Educación Médica del país; asimismo, se entregarán a cada biblioteca médica ejemplares para que sea estudiado.

El Colegio Médico de El Salvador se compromete a:

- Revisar y aprobar el contenido médico.
- Colaborar en la difusión del libro con los agremiados, bibliotecas especializadas del área médica y Facultades de Medicina a nivel nacional, regional e internacional.

CLÁUSULA CUARTA: Vigencia

La presente Carta de Entendimiento entre la Universidad Francisco Gavidia y El Colegio Médico de El Salvador tendrá una duración de un año prorrogable por común acuerdo por escrito y entrará en vigencia a partir de la fecha de su firma, que puede ser prorrogable por un periodo igual previo acuerdo de las partes.



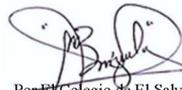
Carta de entendimiento entre la Universidad Francisco Gavidia (UFG) y El
Colegio Médico de El Salvador (COLMED)

En caso que cualquiera de las dos partes estime necesario, se deja abierta la posibilidad de modificar cualquier de las cláusulas antes del vencimiento del convenio; siendo para ello necesario que se convoque a una reunión de los representantes de las partes y ambas acuerden las modificaciones por medio de una enmienda a la presente Carta de Entendimiento.

EN FE DE LO CUAL, los representantes de las partes legalmente autorizadas firman la presente Carta de Entendimiento, en dos ejemplares originales de igual contenido y valor cada uno, en la ciudad de San Salvador a los treinta y un días del mes de julio de dos mil veinte.



Por la Universidad Francisco Gavidia Ing.
Mario Antonio Ruiz Ramirez
MaED Rector



Por El Colegio de El Salvador
Dr. Milton Brizuela Presidente

Prólogo

El presente libro habla principalmente sobre una alternativa que surgió como sugerencia en el manejo de la pandemia actual COVID-19. Hablar de “Cercos Epidemiológicos Inteligentes” nos hace recordar que la epidemiología es una rama de la salud pública que tiene múltiples herramientas para enfrentar enfermedades transmisibles.

Los mapas de riesgos y la implementación de cercos epidemiológicos son herramientas terapéuticas que se han utilizado para enfrentar otras epidemias y pandemias a través de la historia; el combinar una herramienta antigua con el uso de las tecnológicas de la información y la comunicación con la que se cuenta actualmente es algo que el país debió haber aprovechado en las diferentes etapas del desarrollo de la pandemia del COVID-19.

Esperamos que este libro, publicado por la Universidad Francisco Gavidia y el Colegio Médico de El Salvador, sirva para ilustrar a los profesionales de la salud y al pueblo salvadoreño que las opiniones vertidas desde la academia y desde las organizaciones gremiales vinculadas con el tema de la salud tienen un respaldo científico-académico; y que dichas opiniones están respaldadas por la experiencia de profesionales especialistas en la rama de salud pública y epidemiología.

Como Colegio Médico de El Salvador agradecemos a la Universidad Francisco Gavidia por permitirnos participar en el desarrollo de este excelente material didáctico que puede ser utilizado por futuros gobiernos o por el actual, como una herramienta para modificar el desarrollo de una enfermedad trasmisible o la pandemia que actualmente enfrentamos como nación.

Reitero mis felicitaciones a los autores y en nombre del gremio médico salvadoreño, agradezco el esfuerzo de recordarnos que la ciencia, el profesionalismo y la experiencia pueden sacar adelante a nuestro país de situaciones sanitarias como las que se están viviendo en nuestra nación y a nivel mundial.

Dr. Milton Dagoberto Brizuela Ramón

Presidente del Colegio Médico de El Salvador

Índice de contenidos

Introducción.....	17
1. El trabajo epidemiológico	29
2. Vigilancia epidemiológica	31
3. Epidemiología de campo y social.....	37
4. Estadística aplicada a la epidemiología	40
5. Sobre curvas epi.....	51
6. Epidemiología y modelos matemáticos	53
7. Velocidad y dinamismo de contagio	66
8. La identidad de los virus y la epidemiología	69
9. Notas sobre el desarrollo de enfermedades.....	78
10. Seis modelos epidemiológicos para el abordaje de la pandemia COVID-19	81
11. Cadenas y cálculos de contagio	84
12. El “Cercos Epidemiológico Inteligente” (CEI).....	91
Bibliografía	122
Bibliografía complementaria	127

Introducción

La pandemia de COVID-19 (acrónimo del inglés coronavirus *disease*), declarada por la Organización Mundial de la Salud (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. Este fenómeno de gran impacto sanitario, económico y social a nivel global, invita a revisar y a actualizar diversos aspectos de la educación médica en salud pública, particularmente en el campo de la epidemiología.

La salud pública es la disciplina de la ciencia médica encargada de la protección y promoción de la salud aplicados a nivel de toda la población o a grupos específicos. Su objetivo es el estudio de la salud y la enfermedad de las poblaciones para mejorar su salud, así como el control y erradicación de las enfermedades. Es una ciencia de carácter multidisciplinario, que requiere de la participación de profesionales de las ciencias biológicas, sanitarias, conductuales y sociales (entre otras) y constituye uno de los pilares en la formación de todo profesional de la salud.

La epidemiología, palabra derivada del griego *Epi* (sobre) *Demos* (pueblo) y *Logos* (estudio), es una disciplina científica básica de la salud pública. Además de su importante rol en la vigilancia y prevención de las enfermedades, requiere de la interacción con las especialidades clínicas, biomédicas, de laboratorio, informática y técnicos de los equipos de salud para identificar condiciones de riesgo, orientar la definición de prioridades, fomentar la investigación, difundir la información y desempeñar un papel más crítico en el análisis y evaluación de los servicios, y del uso de los recursos disponibles.

La epidemiología estudia la distribución, la frecuencia y los factores determinantes de estados y eventos (en particular de enfermedades)

relacionados con la salud en poblaciones específicas, y la aplicación de esos estudios al control de enfermedades y otros problemas sanitarios (1).

Existen diversos métodos para llevar a cabo investigaciones epidemiológicas: la vigilancia y los estudios descriptivos se pueden utilizar para analizar la distribución, y los estudios analíticos permiten analizar los factores determinantes. Algunos autores han descrito a la epidemiología como la ciencia que estudia la dinámica de salud en las poblaciones.

Existe también una epidemiología veterinaria que estudia los mismos aspectos en los padecimientos que afectan la salud de los animales; y también podría hablarse de una epidemiología zoológica y botánica, íntimamente relacionadas con la ecología. En epidemiología se estudian y describen las enfermedades que se presentan en una determinada población, para lo cual se tienen en cuenta una serie de patrones de enfermedad que se reducen a tres aspectos: tiempo, lugar y persona.

Con relación al **tiempo**, las enfermedades infecciosas suelen ser agudas y algunas, como la influenza, tienen estacionalidad. También pueden registrar ocurrencia en ciclos, con patrones de variación en períodos mayores a un año, o con patrón de variación o comportamiento en el tiempo (tendencia secular). En los servicios de salud, la Curva epidémica y el Corredor (canal) endémico, constituyen instrumentos útiles para el análisis de la situación epidemiológica de una enfermedad, la determinación de situaciones de alarma y la predicción de epidemias. En base a la información de los Boletines epidemiológicos semanales, habitualmente, los corredores se construyen con series de casos de cinco a siete años, detectando tempranamente cifras anormalmente altas de casos de la enfermedad en estudio, que sobrepasan la incidencia habitual de la enfermedad en dicha población (2).

El **lugar**, es decir, la localización geográfica de los problemas de salud, es fundamental para conocer su extensión y la velocidad de diseminación. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) ofrecen hoy la posibilidad de utilizar al máximo el análisis de la variable lugar (la ciudad, la población, el país, el tipo de zona) en donde se han presentado los casos.

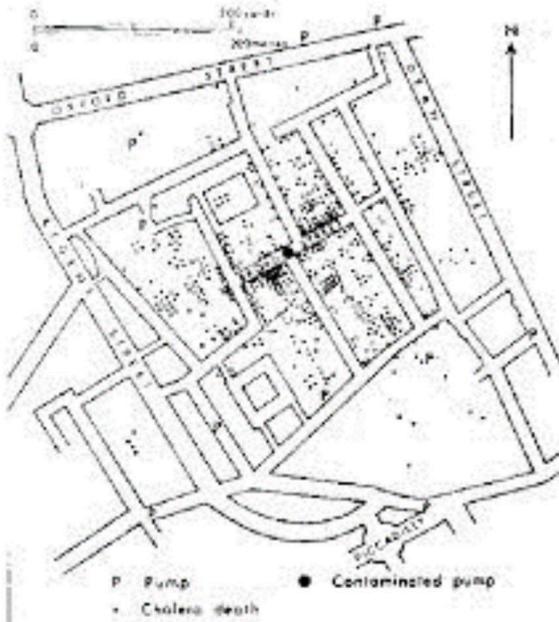
Por último, **las personas**, y las características que pueden atribuírseles, tales como la edad, género, sus hábitos y conductas (ocupación y estilos de vida), estado nutricional y su condición social, permiten identificar la distribución de las enfermedades, factores de riesgo y grupos expuestos más propensas a padecerla (niños, ancianos, etc., según el caso).

El empleo de mapas para presentar datos sobre un brote puede facilitar la identificación de **conglomerados** y proporcionar pistas importantes sobre la presencia de fuentes comunes de infección y exposiciones de riesgo. El ejemplo clásico y vigente de caracterización de un brote en espacio, utilizando la localización geográfica de la enfermedad en un mapa simple para describirla e identificar una medida de control inmediata, es el empleado por John Snow al estudiar la epidemia de cólera en Londres entre 1849 y 1854 (3), según podemos ver en la Imagen 1.

Después de la legendaria erradicación mundial de la viruela en 1980, logrado por la disponibilidad de una vacuna efectiva, segura y de fácil aplicación, el triunfo se consolidó gracias a la estrategia basada en “cercos vacunales” alrededor de los casos, que permitió interrumpir la transmisión del virus.

Las Américas lograron la eliminación del sarampión y la erradicación de la poliomielitis, sustentando el programa en un sistema de vigilancia epidemiológica, único en su género por la calidad de los

Imagen 1: Mapa de Snow.



Fuente: Epidemiología descriptiva (4).

datos, la oportunidad y cobertura de las acciones, y sobre todo por la rápida respuesta.

El caso de la poliomielitis demandó la disponibilidad de laboratorios diagnósticos de alta especialidad y de personal muy calificado, para la identificación y diferenciación entre el virus salvaje y el virus vacunal.

En la epidemia del cólera a principios de los 90, la planificación y organización anticipada para esperar su llegada, permitió el diagnóstico oportuno de los primeros casos y la atención de todos los brotes para controlar su diseminación, manteniendo así un control más estable de la transmisión del *Vibrio Cholerae*.

Después de la perseverante lucha para controlar el paludismo y la tuberculosis, superar la amenaza del cólera y luchar tenazmente contra las epidemias de dengue, zika y chikungunya, se consideraba que el país había avanzado en su preparación para situaciones de desastre de tal naturaleza.

La pandemia de COVID-19 alcanza nuestro país en marzo de 2020 y pone al descubierto las debilidades del Sistema Nacional Integrado de Salud, evidenciando la necesidad de fortalecer los fundamentos básicos de la salud pública y de la epidemiología: la preparación ante la amenaza, el desarrollo de las acciones para controlar el contagio, contener la diseminación del virus y el manejo de los casos graves de la enfermedad han mostrado la necesidad de fortalecer la planificación, gestión, administración, prestación, control y evaluación de los servicios de salud a la población.

Las enfermedades transmisibles mantienen su importancia en el nuevo perfil epidemiológico de las poblaciones (debido al aumento de morbilidad de enfermedades crónicas no transmisibles), demandando el fortalecimiento de las redes nacionales e internacionales de vigilancia sanitaria por la aparición de nuevas enfermedades como el SARS, el AH1N1, el COVID-19, y el resurgimiento de otras que se consideraban controladas como la tuberculosis, el sarampión, el ébola, entre otras.

En 1978, el lanzamiento de la estrategia de Atención Primaria en Salud (APS), y de Salud para Todos en el año 2000 (SPT), generó un interés en el desarrollo de las capacidades en los países para aplicar de manera sistemática el pensamiento y la práctica de la epidemiología en la salud pública y en la implementación de políticas sanitarias.

La Organización Panamericana de la Salud (OPS) apoyó a los países miembros en las siguientes cuatro áreas prioritarias de cooperación técnica:

1. Formación de talento humano en salud pública y epidemiología,
2. Fomento del uso de la epidemiología en la gestión de salud,
3. Promover la investigación epidemiológica, y
4. La diseminación del conocimiento epidemiológico.

Posteriormente se planteó el compromiso de los Objetivos de Desarrollo del Milenio para el año 2015 (ODM), y recién los Objetivos de Desarrollo Sostenible para el año 2030 (ODS).

La organización de los servicios de salud continúa siendo uno de los más importantes problemas que debe enfrentar el sector salud. Nuestro país afronta el compromiso de mejorar la gestión y la administración del Sistema Nacional Integrado de Salud (SNIS).

El presente documento, a partir de la experiencia pandémica de COVID-19 y sobre una base teórica sólida, presenta un modelo de trabajo titulado “Cercos Epidemiológicos Inteligentes: educación, información y tecnologías” desarrollado por el Instituto de Ciencia, Tecnología e Innovación (ICTI) de la Universidad Francisco Gavidia (UFG); la idea es recapitular la experiencia de trabajo, desde las plataformas teóricas de modelos matemáticos SEIR aplicados durante la pandemia, hasta una propuesta de trabajo y proyecto realizado en el municipio de San José Villanueva, en el departamento de La Libertad, en El Salvador.

Glosario técnico

Hay una serie de términos que tienen un significado específico para la epidemiología y, en gran medida, al conocer estos conceptos se comprende el quehacer científico de esta especialidad.

Epidemia: es la ocurrencia de casos de una enfermedad u otros eventos de salud con una incidencia mayor a la esperada para un área geográfica y período determinado. El número de casos que indican la

presencia de una epidemia varía según el agente, el tamaño y tipo de población expuesta, su experiencia previa o ausencia de exposición a la enfermedad y el lugar y tiempo de ocurrencia. El corredor endémico expresa en forma gráfica la distribución típica de una enfermedad durante un año cualquiera y representa el comportamiento esperado de dicha enfermedad en un año calendario.

Pandemia: se trata de una epidemia que se disemina ampliamente en varios países y continentes. Usualmente por todo el mundo.

Endemia: Es la presencia constante de una enfermedad o agente infeccioso dentro de un área geográfica o grupo poblacional determinados. Se refiere a la prevalencia usual de una enfermedad específica dentro de dicha área o grupo de población.

Incidencia: Es la medida del número de casos nuevos de una enfermedad, llamados casos incidentes, originados de una población en riesgo de padecerla, durante un período de tiempo determinado. La incidencia es un indicador de velocidad de ocurrencia de una enfermedad u otro evento de salud en la población y, en consecuencia, es un estimador de riesgo absoluto de padecerla.

Prevalencia: es la medida del número total de casos existentes, llamados casos prevalentes, de una enfermedad en un punto o periodo de tiempo y en una población determinados, sin distinguir si son o no casos nuevos. La prevalencia es un indicador de la magnitud de ocurrencia de una enfermedad u otro evento de salud en la población.

Brote: es el aumento inusual en el número de casos de dos o más casos relacionados epidemiológicamente, de aparición súbita y diseminación localizada en un espacio específico. Por la connotación que tiene la palabra epidemia, explica el que muchos prefieran usar en su lugar el término “brote” para referirse al exceso de casos de una enfermedad o daño.

SEIR: acrónimo de *Susceptible, Exposed, Infected, Recovery*, un modelo matemático creado por Kermack and McKendrick en 1927 para el estudio, prospectiva y dinamismo de enfermedades contagiosas.

RO: erre cero o número reproductor básico es un parámetro matemático que estima la velocidad y el dinamismo de contagio; un RO igual o menos de $1 \leq$ indica que se ha contenido la epidemia; un RO de 2 o $4 \geq$ indica que hay un contagio acelerado y significativo, en dónde cada persona contagia en un día a otras dos o cuatro, volviéndose un factor exponencial.

Curva EPI: es un gráfico estadístico utilizado en epidemiología para visualizar el inicio de un brote epidémico. Puede ayudar con la identificación del modo de transmisión de la enfermedad y también puede mostrar la magnitud de la enfermedad, sus valores atípicos, su tendencia en el tiempo y su periodo de incubación.

Incubación: es el intervalo de tiempo que transcurre entre la exposición a un agente infeccioso y la aparición del primer signo o síntoma de la enfermedad.

Mortalidad: una forma de medir la ocurrencia de enfermedad en la población es a través el recuento de las defunciones que se presentan. La tasa de mortalidad general resulta de dividir el número de defunciones entre la población total por mil. Las tasas de mortalidad pueden referirse a la población total de un país, un territorio o a una muestra de la población y también pueden calcularse para grupos específicos de población según género, edad, grupo de enfermedades, en cuyo caso constituyen tasas específicas (3).

En nuestro país la defunción y sus causas se anotan en un registro de defunción normalizado y para codificar las causas de muerte se utiliza la Clasificación Internacional de Enfermedades (CIE 10 WHO).

Letalidad: es la capacidad del agente infeccioso de producir casos fatales. Es una característica empleada para describir la gravedad de una epidemia. Es el cociente de dividir el número de fallecimientos a causa de una determinada enfermedad, en un período de tiempo, entre el número de casos diagnosticados de la enfermedad en ese mismo período. Es una razón, pero suele denominarse “tasa de letalidad”, por 100.

Morbilidad: se refiere a la frecuencia de las enfermedades en la población. Las clásicas medidas de frecuencia de enfermedad son la prevalencia y la incidencia. Otras fuentes de información sobre morbilidad son los datos de ingresos y altas hospitalarias, de consultas ambulatorias y de atención primaria, así como de servicios especializados, como en el caso de accidentes.

Las tasas de morbilidad son útiles para estudiar enfermedades de letalidad elevada. En muchas enfermedades la letalidad es baja, y en estos casos los datos de frecuencia de la enfermedad son más útiles que las tasas de mortalidad.

Hay otras medidas de morbilidad; una es la tasa de incidencia acumulada, en la cual el denominador solo se mide al iniciar el estudio (número de personas libres de la enfermedad en la población expuesta al riesgo, al inicio del estudio), presentada por 1,000 habitantes. Y la tasa de ataque de la enfermedad, que es la tasa de incidencia que se obtiene en una situación de un brote o epidemia y que se expresa usualmente en porcentaje; es decir, el cociente de dividir el número de enfermos entre el número de expuestos a la enfermedad por 100.

La historia natural de la enfermedad: es la manera propia de evolucionar que tiene toda enfermedad, cuando se abandona a su propio curso, desde el inicio hasta su resolución. El proceso se inicia con la exposición de un huésped susceptible a un agente causal y termina con la recuperación, la discapacidad o la muerte.

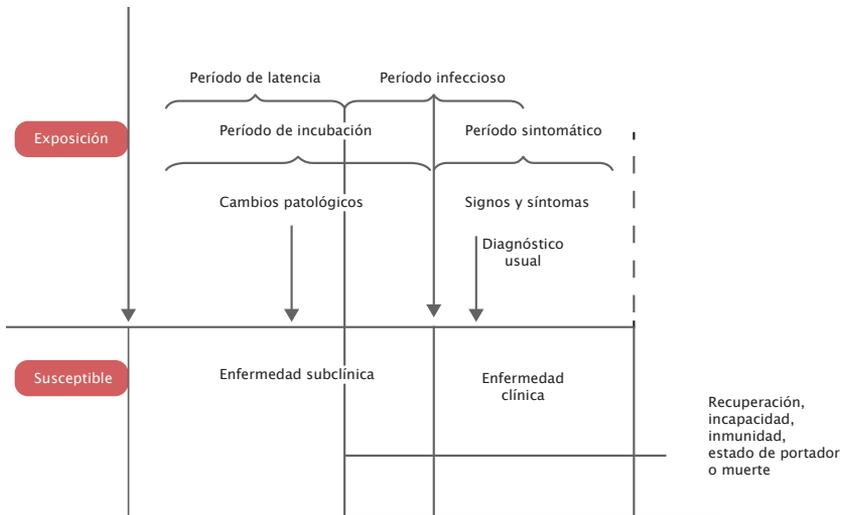
El modelo tradicional propuesto por Level y Clark delimita claramente un período prepatogénico y otro patogénico, en el primero refleja la interacción del agente, el ambiente y el huésped, antes de la enfermedad. En el período patogénico muestra los cambios que se presentan en el huésped una vez realizado el contacto, marcando el horizonte clínico el momento en que la enfermedad es aparentemente clínica. Este modelo remarca la importancia de las diferentes medidas de prevención primaria en el período prepatogénico y están encaminadas al fomento de la salud y a la protección específica; de la prevención secundaria cuyas acciones son dirigidas al diagnóstico precoz, el tratamiento temprano y la limitación del daño, y la prevención terciaria que se enfoca en la rehabilitación (3).

El modelo de la Figura 1 asume que los casos clínicos de enfermedad pasan por una fase preclínica detectable y que, en ausencia de intervención, la mayoría de los casos preclínicos progresarán a la fase clínica. Como se mencionó anteriormente, los períodos de tiempo de cada etapa son importantes para la detección, el tamizaje de los casos y la intervención con las medidas preventivas y terapéuticas sobre los factores del agente infeccioso, el huésped y el ambiente (5).

En las enfermedades transmisibles, el periodo de latencia es el tiempo que transcurre desde la infección hasta que la persona se vuelve infecciosa. El período de incubación es el tiempo que transcurre desde la infección hasta la presentación de síntomas (6). Ver Figura 1.

Transición epidemiológica: la creciente complejidad de la salud en Latinoamérica se caracteriza por la persistencia de problemas tradicionales, por modificaciones de los mismos y por la aparición de nuevos problemas de salud. El carácter global de la salud se expresa a través de dos dimensiones fundamentales: las condiciones de salud de las poblaciones y la respuesta social a tales condiciones, estructurada a través de los sistemas de salud.

Figura 1: Historia natural de la enfermedad.



Fuente: OPS/OMS (3).

Las definiciones del estado y necesidades de salud de las poblaciones varían de acuerdo con los cambios socioeconómicos, ambientales y los avances del conocimiento, los cuales han sido utilizados para explicar la transformación de los perfiles epidemiológicos de los países. Aunque diversas enfermedades infecciosas tradicionales han sido total o parcialmente controladas, su importancia sigue siendo considerable en muchas áreas geográficas y poblaciones del mundo. El sarampión, el paludismo, el cólera, el dengue, la enfermedad de Chagas, las infecciones de transmisión sexual y la tuberculosis (entre otras) han recobrado su importancia como causas de morbilidad y mortalidad a nivel global.

Además de las transmisibles, las enfermedades crónicas y los problemas emergentes son también de especial relevancia. Se suma a ello el surgimiento de nuevas poblaciones en riesgo, como los

trabajadores migrantes y los refugiados. Por otro lado, además de la desnutrición, que afecta a millones en el mundo, los cambios en los patrones alimentarios han tenido también como resultado que un mayor número de personas consuman dietas asociadas a un riesgo mayor de enfermedades crónicas.

En Latinoamérica las enfermedades transmisibles mantienen su importancia, en tanto que las no transmisibles, las lesiones y las toxicomanías han cobrado mayor relevancia como causas de morbilidad y mortalidad. Este nuevo perfil epidemiológico evidencia nuestra vulnerabilidad a los cambios naturales, sociales y biológicos y demanda el fortalecimiento de las redes nacionales e internacionales de vigilancia en salud pública (3).

Estudio longitudinal: es un tipo de estudio observacional que investiga al mismo grupo de gente de manera repetida a lo largo de un período de años, en ocasiones décadas o incluso siglos, en investigaciones científicas que requieren el manejo de datos estadísticos sobre varias generaciones consecutivas de progenitores y descendientes.

Estudio transversal: tipo de estudio de prevalencia o estudio vertical (en inglés *cross-sectional study* o *cross sectional survey*) con características estadísticas y demográficas, utilizado en ciencias sociales y ciencias de la salud –estudio epidemiológico–. Es un tipo de estudio observacional y descriptivo, que mide a la vez la prevalencia de la exposición y del efecto en una muestra poblacional en un solo momento temporal; es decir, permite estimar la magnitud y distribución de una enfermedad en un momento dado.



El trabajo epidemiológico

Existen múltiples enfoques de trabajo epidemiológico: **Epidemiología descriptiva** (descripción del fenómeno en términos de tiempo, lugar, frecuencia, distribución); **Epidemiología analítica** (observa, experimenta, busca relaciones causales); **Epidemiología experimental** (controla condiciones y variables para obtener conclusiones); **Eco-epidemiología** (estudia factores ambientales); **Epidemiología de campo** (trabajo *in situ* para llevar indicadores y tomar notas de prácticas domésticas y culturales en el marco de enfermedades transmisibles); **Epidemiología social** (se auxilia de la antropología y la sociología para entender las relaciones y factores de contagio en comunidades o ciudades); y **Epidemiología clínica** (estudia los determinantes de la enfermedad en ámbitos clínicos).

Las bases de la epidemiología moderna fueron sentadas por Girolamo Fracastoro (Verona, 1487-1573) en sus obras *De sympathia et antipathia rerum* (Sobre la simpatía y la antipatía de las cosas) y *De contagione et contagiosis morbis, et eorum curatione* (Sobre el contagio y las enfermedades contagiosas y su curación), ambas publicadas en Venecia en 1546, donde Fracastoro expone sucintamente sus ideas sobre el contagio y las enfermedades transmisibles. Se considera al inglés John Graunt (1620-1674) quien publicó en 1662 el libro *Natural and Political Observations Made upon the Bills of Mortality* –sobre Londres– uno de los precursores de la epidemiología y de la demografía. Sin embargo, es John Snow (1813-1858) a quien se considera el precursor de la epidemiología contemporánea, ya que formuló la hipótesis de la transmisión del cólera por el agua y lo demostró confeccionando un mapa de Londres, en donde un reciente brote epidémico había matado más de 500 personas en un período de 10 días. Snow marcó en el mapa

los hogares de los que habían muerto y la distribución mostraba que todas las muertes habían ocurrido en el área de *Golden Square*. La diferencia clave entre este distrito y el resto de Londres era el origen del agua potable. La compañía de agua privada que suministraba al vecindario de *Golden Square* extraía el agua de una sección del Támesis, especialmente contaminada. Cuando se cambió el agua y comenzó a extraerse río arriba, de una zona menos contaminada, cedió la epidemia de cólera. Un progreso muy importante en el siglo XX, publicado en 1956 con los resultados del estudio de médicos británicos, fue la demostración de la relación causal entre fumar (tabaquismo) y el cáncer de pulmón (7).

La epidemiología se basa en el método científico para la obtención de conocimientos, a través de los estudios específicos de ciertas enfermedades. Ante un problema de salud, y los datos disponibles sobre el mismo, se formula una hipótesis, la cual se traduce en una serie de consecuencias contrastables mediante experimentación. Se realiza entonces un proyecto de investigación que comienza con la recolección de datos y su posterior análisis estadístico, que permite obtener medidas de asociación (*odds ratio* –monomios–, riesgo relativo, razón de tasas), medidas de efecto (riesgo atribuible) y medidas de impacto (fracción etiológica o riesgo atribuible proporcional), tanto a nivel de los expuestos como a nivel poblacional. De los resultados de esta investigación es posible obtener conocimientos que servirán para realizar recomendaciones de salud pública, pero también para generar nuevas hipótesis de investigación.

El triángulo epidemiológico causal de las enfermedades está formado por los siguientes factores: el medioambiente, los agentes y el huésped. Un cambio en cualquiera de estos tres componentes alterará el equilibrio existente para aumentar o disminuir la frecuencia de la enfermedad, por lo tanto, se pueden llamar factores causales o determinantes de la enfermedad.

2.

Vigilancia epidemiológica

La vigilancia epidemiológica está considerada una de las principales funciones básicas de la salud pública y es la mejor herramienta con la que se cuenta para prevenir y controlar epidemias. Un sistema efectivo de vigilancia epidemiológica permite identificar problemas de salud y facilita el control y resolución de los mismos. Asimismo, como instrumento de investigación sanitaria permite registrar sistemáticamente la ocurrencia de enfermedades y sus determinantes en un área geográfica específica, con la finalidad de conocer su frecuencia y sus tendencias, así como para llevar acciones sanitarias para su control o eliminación.

Los Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades (8), de Estados Unidos de Norteamérica -CDC, por sus siglas en inglés-, han definido la vigilancia epidemiológica como: “La recolección sistemática, análisis e interpretación de datos de salud necesarios para la planificación, implementación y evaluación de políticas de salud pública, combinado con la difusión oportuna de los datos a aquellos que necesitan saber”.

Esencialmente, la vigilancia epidemiológica implica la recolección de datos sobre un problema de salud, su análisis y posteriormente el uso de los mismos en la prevención de enfermedades y en la mejora de las condiciones de salud de la población; los tipos de vigilancia reconocidos son:

- **Vigilancia pasiva:** es realizada por las propias instituciones de salud quienes envían reportes sobre las enfermedades a los encargados de la vigilancia epidemiológica. No se busca

información activamente sobre una enfermedad, sino que se recopila y analiza la información que llega a través de los diferentes miembros de la red de vigilancia. La cooperación entre hospitales –públicos y privados–, unidades de salud municipales, laboratorios y profesionales privados es esencial en el éxito de la vigilancia epidemiológica pasiva. Aunque la OMS considera que es un tipo de vigilancia menos costosa que otras, el hecho de que necesita la acción coordinada de tantos actores hace que se corra el riesgo de pasar por alto datos importantes.

- **Vigilancia activa:** en la vigilancia epidemiológica activa el personal a cargo de la vigilancia busca activamente información sobre la enfermedad que es objeto de investigación. Se contacta al personal médico, se visitan los centros de atención comunitarios y se analizan los registros de salud en busca de indicios de la enfermedad. Si se detectan casos sospechosos, se toman muestras y se envían a los laboratorios para su análisis. Como parte de la vigilancia activa, también se informa rápidamente a las autoridades competentes por medio de los canales previamente establecidos.
- **Vigilancia epidemiológica especializada o centinela:** Un sistema de vigilancia centinela utiliza datos de alta calidad, recopilados en centros especializados y por epidemiólogos que se seleccionan cuidadosamente. Si bien en la vigilancia pasiva se recopilan datos de la mayor cantidad de fuentes posibles, en la activa se contacta con todos los actores que puedan ofrecer información sobre posibles casos con los que han estado en contacto. Sin embargo, en la vigilancia centinela se selecciona cuidadosamente a los miembros de la red de vigilancia porque la importancia está en la calidad de la información. Generalmente participan centros y profesionales especializados en la enfermedad bajo vigilancia y laboratorios diagnósticos de alta calidad (9).

La vigilancia epidemiológica se ha desarrollado y evolucionado conforme lo ha hecho el conocimiento y la investigación de las enfermedades. En este sentido, el ser humano ha dejado evidencia escrita sobre la percepción de enfermedades que afectan a toda la población, tal es el caso de las pestes, plagas y epidemias descritas en el papiro de Ebers, la Biblia, el Talmud, el Corán, el Códice Florentino y muchos otros documentos. Se trata de descripciones más o menos detalladas que incluían medidas de prevención y de control que sin duda fueron útiles para enfrentar emergencias. Sin embargo, fue hasta el siglo XVII cuando gracias al desarrollo de la Estadística sanitaria se inició el análisis sistemático de variables relacionadas con el estado de salud de las poblaciones como los nacimientos y las causas de muerte; trabajos que fueron fundamentales para establecer los primeros sistemas de recolección y organización de la información que permitieron tomar decisiones en Salud pública, es decir, fueron las bases de los primeros sistemas de vigilancia, como se conocen actualmente (10).

A finales del siglo XIX, gracias a la aceptación de la teoría del contagio, se consolidó la necesidad de establecer los primeros sistemas de notificación de enfermedades con el principal objetivo de cuantificar el número de personas afectadas por una epidemia. Esta actividad dio inicio en el Reino Unido y Estados Unidos, para después extenderse al resto de países de Europa y América. Este modelo perduró durante algunos años; sin embargo, a partir de la tercera década del siglo XX, la vigilancia epidemiológica pasó de ser una actividad eventual y pasiva a una actividad permanente, rigurosa y dinámica, al desarrollar programas y campañas específicas de salud e incorporar a la Estadística en la descripción del estado de salud, predicción, evaluación de las medidas de control.

La vigilancia epidemiológica –además de los tipos citados anteriormente, pasiva, activa y centinela–, utiliza como unidades de análisis los eventos transmisibles, eventos no transmisibles y otros eventos; para ello se auxilia de las siguientes estrategias y técnicas:

Vigilancia clínica: tiene carácter universal. Se notifica ante la sospecha clínica del médico tratante, respetando la definición correspondiente de Caso sospechoso. Le da sensibilidad y oportunidad al sistema. Luego, se rectifica o ratifica ante la confirmación ya sea por laboratorio o por nexo epidemiológico. Dentro de esta estrategia se encuentra también la vigilancia sindrómica, que agrupa una serie de enfermedades con manifestaciones clínicas dentro del período prodrómico de similares características.

Vigilancia de laboratorio: es una vigilancia complementaria a la vigilancia clínica, le provee especificidad aportando los diagnósticos de agentes etiológicos, reservorios y/o vectores. Tiene como objetivo principal contribuir al conocimiento de eventos de salud en lo referente a las características del agente causal, determinando la frecuencia de los distintos microorganismos, la tendencia de su distribución geográfica y variaciones temporales, e identificar los patrones de comportamiento de los distintos agentes.

Estudios especiales: se trata de estudios epidemiológicos que se realizan periódicamente, para vigilar tendencias de eventos. Generalmente son estudios transversales de prevalencia y se utilizan para obtener líneas de base y luego se aplican con una determinada periodicidad para conocer los cambios en la tendencia relacionado con la implementación de medidas de control. Ejemplo: encuesta de factores de riesgo para enfermedades no transmisibles, encuestas de seroprevalencia para enfermedades típicas, etc.

Estas estrategias también utilizan “Modalidades de notificación” entre las que se destacan:

- Numérica: corresponde a eventos en los que la cantidad de casos registrados se notifican según grupos de edad y lugar de ocurrencia.

- Individual: corresponde a eventos en los que el caso se notifica en forma individual y se subdivide en:
 - Individual sin ficha de investigación: solo se notifica identificación de la persona, sexo, edad, lugar de residencia y fecha de consulta.
 - Individual con ficha de investigación: se completa una ficha que contiene una serie de variables universales y específicas, diseñadas para cada evento en cuestión.
- Negativa: corresponde a eventos bajo programa de eliminación.

La periodicidad y vía de notificación se realiza teniendo en cuenta la frecuencia e impacto en salud de las personas y la comunidad, así como la necesidad de lograr la adecuada oportunidad en la notificación para facilitar la implementación de las acciones de investigación y control. Se define la periodicidad de la notificación en:

- Inmediata: corresponde a aquellos eventos que requieren una intervención inmediata, por lo que la notificación se realiza ante la sospecha clínica. Se realiza dentro de las 24 h de ocurrido el caso, utilizando como vía de comunicación del caso el teléfono, fax, correo electrónico y la carga *on line* en el *software* específico del sistema nacional de vigilancia.
- Semanal: corresponde a aquellos eventos generalmente endémicos y que no requieren de una intervención inmediata excepto que se trate de un brote. La notificación se realiza ante el Caso sospechoso y posteriormente se ratifica o rectifica con la confirmación según corresponda. Se utiliza como vía de comunicación la carga *on line* en el *software* específico del sistema nacional de vigilancia y alternativamente el correo electrónico.

- Otra: se trata de eventos que requieren de estudios especiales como por ejemplo estudios de prevalencia o de frecuencia en poblaciones específicas (bancos de sangre, embarazadas, niños menores de cinco años, población en general, etc.) y se notifican en general trimestralmente, semestralmente o cuando se ejecutan. Se utiliza la carga *on line* en el *software* específico del sistema nacional de vigilancia y alternativamente el correo electrónico.

Finalmente, los “Instrumentos de recolección de la información” son planillas que contienen las variables de interés para la recolección de los datos de la vigilancia. Se utilizan como fuente las planillas de consultas de los servicios de guardia o emergencia y la de los ingresos y egresos de internados. También planillas con variables de interés específico de ciertas enfermedades, datos de la vigilancia de laboratorio o fichas específicas de investigación de casos o centinelas, las cuales se diseñan para cada evento a investigar, o bien para un conjunto de eventos cuya presentación en el período prodrómico es similar (vigilancia sindrómica). Contiene variables universales y específicas.

En términos generales, los sistemas de vigilancia se categorizan en:

- Vectoriales (dengue, fiebres, paludismo, etc.)
- Zoonóticas (leptospirosis, rabia, etc.)
- Gastroentéricas (diarreas, fiebres tifoideas, etc.)
- Inmunoprevenibles (difteria, poliomielitis, etc.)
- Respiratorias (gripe, SARS)
- Meningoencefalitis
- Hepatitis virales
- Envenenamientos
- Otros eventos (brotos)

3. Epidemiología de campo y social

Para este apartado se utiliza el aporte de Javier Segura del Pozo, **Epidemiología de campo y epidemiología social**, publicado en la *Gaceta Sanitaria* de Barcelona (11). En este contexto, el autor citado delimita los dos enfoques de trabajo epidemiológico en los siguientes términos:

“La epidemiología de campo se caracteriza porque está centrada en la intervención para controlar una enfermedad. Esta intervención debe ser además lo más inmediata posible. La obtención de la información y la acción se realiza «en el campo», en el terreno, es decir, en el territorio epidémico. Hay un predominio de la práctica sobre la teoría, y ésta debe tener un carácter «aplicado», tal como proclama el programa de formación español y su inspirador estadounidense. Es el polo opuesto de cierta epidemiología que se produce en las universidades e institutos de investigación, que puede permitirse la producción de información separada de la acción, especialmente de la acción inmediata. Su práctica está centrada fundamentalmente en la vigilancia epidemiológica y la investigación y control de brotes.

La epidemiología social es la rama de la epidemiología que estudia la distribución social y los determinantes sociales de los estados de salud. Según algunos autores, el término epidemiología social es una escandalosa redundancia, ya que lo social-colectivo ya está contenido tanto en el designativo (demos) como en el objeto del conocimiento de la ciencia epidemiológica. Tiene la vocación de proporcionar información útil sobre qué políticas públicas aumentan o

disminuyen las desigualdades en la salud. Es el polo opuesto de la epidemiología dominante, que opera con factores de riesgo individuales, desconsidera las variables sociales (clase social, ingresos, educación, etnia, país de origen, etc.) y aboga por una «despolitización» de la práctica. La epidemiología social está centrada fundamentalmente en los estudios sobre desigualdades sociales en salud, sobre todo a partir de la comparación de la distribución de indicadores, como salud percibida, mortalidad, prevalencia de factores de riesgo individuales de enfermedades crónicas o tumores o prevalencia de enfermedades mentales, con la distribución de indicadores de posición socioeconómica e incluso con los diferentes contextos sociopolíticos” (párr. 3-4)

Las diferencias y semejanzas entre los dos enfoques estriban en la “acción” con o sin marco teórico de referencia, en los micro y macro espacios de influencia, en el tipo de comunicación científica, en las metodologías positivistas y descriptivas y en los enfoques epistemológicos (dónde y cómo se ubica el epidemiólogo para conocer o abordar la realidad de su trabajo).

Segura del Pozo (11), establece diez interrogantes para acercar los dos enfoques –de campo y social– y así revitalizar la formación de especialistas:

1. ¿Incorporamos las variables sociales (ocupación, educación, ingreso, etnia, país de origen, etc.) en nuestros sistemas de vigilancia o información?
2. ¿Consideramos el contexto social en nuestros análisis habituales y en las investigaciones de brotes?
3. ¿Consideramos que el «agente» suele ser un «intermediario» en los brotes?

4. ¿Discriminamos suficientemente los diferentes niveles (individual, grupal, vecindario, comunitario, regional, etc.) en nuestros análisis?
5. ¿Incorporamos metodología de investigación cualitativa para el estudio de los determinantes sociales?
6. ¿Conseguimos sacar a la vigilancia epidemiológica de área fuera del coto de las enfermedades transmisibles? ¿Incorporamos el estudio de las enfermedades no transmisibles, de la mortalidad y de la discapacidad en nuestros sistemas de vigilancia?
7. ¿Transmitimos con suficiente claridad a la población los elementos del contexto social y político que influyen sobre los indicadores de salud o bien contribuimos a dar una información descontextualizada socialmente?
8. ¿Nos esforzamos por coordinarnos con los profesionales e instituciones de nuestro territorio con intereses comunes en la salud de la comunidad (servicios sociales, educadores, etc.)?
9. ¿Estamos implicados en que esta información esté orientada a su utilización en políticas públicas de interés para la salud (educación, servicios sociales, urbanismo, vivienda, empleo, etc.)?
10. ¿Nuestra información sirve para evaluar el impacto en la salud de determinadas políticas públicas?” (párr. 18)

4

Estadística aplicada a la epidemiología

Los profesionales sanitarios, particularmente los epidemiólogos, necesitan de una formación continuada para estar al día y poder interpretar, de forma crítica, la multitud de datos y estadísticas nuevas sobre las enfermedades que aparecen en la literatura científica y en el campo de trabajo. Otros requieren de una formación metodológica aplicada para poder diseñar, ejecutar e interpretar con rigor científico sus propios proyectos de investigación.

El uso de STATA, SPSS, Excel o MatLab como *softwares* especializados para la estadística, representan una necesidad profesional para facilitar el trabajo en el manejo e interpretación de datos; asimismo, big data e Inteligencia Artificial son dos campos que se están desarrollando a gran velocidad en el mundo científico y al cual los epidemiólogos se deben acercar.

La epidemiología es la ciencia que estudia la frecuencia y distribución de los fenómenos relacionados con la salud en las poblaciones humanas, así como las causas que los producen. La propia definición de epidemiología ya deja entrever la importancia de la estadística para cumplir su objetivo, ya que habla de “estudio de frecuencia y distribución” y “estudio de las causas”. La estadística ha jugado históricamente un papel fundamental en el campo de la epidemiología, hasta el punto que algunos de los métodos estadísticos empleados en la actualidad han surgido por la necesidad de dar solución a preguntas de investigación surgidas en esta disciplina. Esta fuerte presencia y especialización de la estadística en el campo de la investigación biomédica, ha propiciado la aparición del término bioestadística para describir la estadística aplicada al ámbito de la salud humana (12).

Los problemas más frecuentes en la investigación en epidemiología son resueltos mediante diversos diseños metodológicos. La estadística ha contribuido a la conceptualización, desarrollo y éxito de dichos estudios. Por ejemplo, el estudio de casos y controles, su relación con el estudio de cohortes; también, la forma de medir la asociación entre factor de riesgo y enfermedad, utilizando el parámetro de razón de chances (*odds ratio*) entre muchos otros (13).

Antes de llegar a la fase del análisis estadístico en una investigación determinada, el epidemiólogo o epidemióloga debe resolver una serie de problemas teóricos cuya solución permitirá hacer un buen uso de los instrumentos estadísticos.

El concepto de medición en epidemiología es otro elemento fundamental; se pueden distinguir cuatro niveles de medición, cada uno de los cuales requiere la utilización de un determinado conjunto de instrumentos estadísticos. En concreto, las pruebas o tests estadísticos que se van a poder utilizar para contrastar hipótesis dependerán de la escala o nivel de medida de los diferentes aspectos estudiados (14):

- **Medidas nominales:** se realiza una medida nominal cuando la propiedad estudiada en los objetos o acontecimientos solo puede agruparse en categorías lógicamente exhaustivas y mutuamente exclusivas, de tal modo que pueden establecerse claramente equivalencias o diferencias. La clasificación o medida nominal es el nivel más bajo de medición. Algunos autores se refieren a este nivel de medición con el término escala nominal. En epidemiología, muchas variables aparecen medidas a nivel nominal, tales como el sexo, cualidad de enfermo, estar expuesto a un determinado riesgo.
- **Medidas ordinales:** se tiene una medida ordinal cuando, además de incluir las propiedades de la medida nominal, se incluye la

propiedad de que las categorías pueden ser ordenadas en el sentido de menor que o mayor que. Este tipo de medición es, por supuesto, de más alto nivel que el que se obtiene cuando se utiliza una medida nominal, ya que no solo se puede distribuir a los fenómenos o individuos en categorías diferentes, sino que, además, se pueden ordenar tales categorías.

- **Medidas de intervalo:** en un sentido restringido, el concepto de medición habría que aplicarlo solo a las medidas de intervalo, en las que sus categorías se definen en términos de una unidad de medición estándar, tal como años de edad, grados de temperatura, nivel de glucemia en sangre, etc. Se realiza una medida de intervalo cuando pueden asignarse al objeto o acontecimientos estudiados números que permiten la interpretación de la diferencia entre dos medidas. Esto es la asignación de números a las diferentes categorías de los objetos o acontecimientos es tan precisa que podemos conocer cuán amplios son los intervalos (distancias) entre todos los objetos de la escala. Es posible utilizar modelos estadísticos que son más poderosos y eficientes que los modelos que utilizan medidas nominales y ordinales.
- **Medidas de cociente o proporción:** cuando una medición tiene todas las características de una medida de intervalo y, además, se le puede asignar un punto de origen verdadero de valor 0, se tiene entonces una medida de cociente o proporción. En tal caso, se ha conseguido establecer una escala con cero absoluto o escala de cociente o proporción (en inglés, *ratio scale*). El peso se mide mediante una escala de cociente o proporción, ya que la escala del peso, en gramos, contiene un punto cero verdadero, siendo el cociente de dos pesos independientes de la unidad de medida (sean kilogramos o libras, por ejemplo). La escala de tiempos, en segundos, también es una escala de cociente. Así, pues, el tiempo de reacción a un cierto estímulo será una medida de cociente.

Estadística es la ciencia que se ocupa de la recolección de datos, su organización y análisis, así como de las predicciones que, a partir de estos datos, pueden hacerse. Los datos en epidemiología son clave, al organizarlos se transforman en información y al interpretarlos se hace conocimiento. No pretendemos en este apartado desarrollar un curso de estadística, sino refrescar algunos aspectos clave para el uso epidemiológico.

Tradicionalmente se distinguen dos tipos de estadística:

- **Descriptiva:** se ocupa de tomar los datos de un conjunto, organizarlos en tablas o gráficos y calcular unos números que nos resumen el conjunto estudiado.
- **Inferencial:** se ocupa de elaborar conclusiones para la población, partiendo de los resultados de una muestra y del grado de fiabilidad de estas conclusiones.

En estadística epidemiológica utilizamos los conceptos de:

- Población: conjunto de todos los elementos a estudiar.
- Individuo: cada elemento de la población.
- Muestra: subconjunto de la población.
- Tamaño de la muestra: número de individuos que componen la muestra.
- Parámetro: cantidad numérica de una población.
- Censo: listado de una o más características de todos los elementos de una población.

- **Valor:** es el resultado que puede cada uno de los datos del estudio.
- **Media:** suma de los valores de todas las observaciones entre el número total de estas.
- **Mediana:** el punto dónde el número de observaciones por encima es igual al número de abajo.
- **Moda:** el valor más frecuente en el grupo de datos.
- **Amplitud:** la diferencia entre el valor menor y el mayor en una distribución de observaciones.
- **Límites:** el valor menor y el mayor en una distribución de observaciones.
- **Varianza:** suma de un conjunto de desviaciones elevadas al cuadrado y dividida entre el número total de ellas.
- **Desviación estándar:** es la raíz cuadrada de la varianza y constituye una medida de la constancia de los datos. La media \pm 3 desviaciones estándar incluye a 99.7% de las observaciones de una distribución de mediciones.
- **Error estándar:** es la desviación estándar dividida entre la raíz cuadrada del número de observaciones cuando estas son 30 o más. La desviación estándar se divide entre las observaciones menos uno, cuando estas son menos de 30. Constituye una medida de confiabilidad de los datos.
- **Variables o caracteres estadísticos:** propiedades de los elementos de una población (**variables cualitativas:** las que no se pueden medir; **variables cuantitativas:** las que se pueden medir; variables cuantitativas discretas: sólo pueden tomar un número finito

de valores; **variables cuantitativas continuas:** pueden tomar cualquier valor en un intervalo).

- *Odds ratio* o la razón de momios (RM): razón de oportunidades o razón de probabilidades —en inglés, *odds ratio* (OR)— es una medida estadística utilizada en estudios epidemiológicos transversales y de casos y controles, así como en los meta-análisis. En términos formales, se define como la posibilidad que una condición de salud o enfermedad se presente en un grupo de población frente al riesgo de que ocurra en otro. En epidemiología, la comparación suele realizarse entre grupos humanos que presentan condiciones de vida similares, con la diferencia de que uno se encuentra expuesto a un factor de riesgo (m_i) mientras que el otro carece de esta característica (m_o). Por lo tanto, la razón de momios o de posibilidades es una medida de tamaño de efecto. Para mostrar la definición de la razón de momios, se puede hacer referencia a la tabla estándar de 2×2 .

Tabla 1: *Odds ratio*.

	Casos	No Casos	
Presente	a	B	Total de expuestos (m_i)
Ausente	c	d	Total de no expuestos (m_o)
	Total de casos (n_i)	Total de no casos (n_o)	Población total (n)

Fuente: Elaboración propia.

En un estudio transversal, la razón de momios es el cociente entre la posibilidad de exposición observada en los casos (enfermos) a/b y la posibilidad de exposición del grupo control c/d :

$$OR = \frac{a/b}{c/d}$$

En un estudio de casos y controles, la razón de momios es el cociente entre la oportunidad de enfermedad del grupo expuesto (o en el grupo tratado) a/b y la oportunidad de enfermedad del grupo no expuesto (o no tratado) c/d (los casos serían los enfermos al final del estudio y los controles los no enfermos):

$$OR = \frac{a/b}{c/d}$$

Tanto la fórmula de la RM de un estudio de cohorte como la de uno de casos y controles puede leerse como:

$$OR = \frac{a.d}{b.c}$$

Lo que en definitiva no es más que una forma de expresar la proporción de veces que un suceso ocurra frente a que no ocurra. De tal manera que un $OR = 2,5$ debemos leerlo como 2,5:1, mejor aún dado que un efecto aparece ante la presencia de otra variable es de 2,5 veces más que si esta variable no está presente. Si se piensa que el $OR = 1$, esto significa que la cantidad de veces que el evento ocurra ante la presencia de otra variable versus las veces que ocurra en ausencia de esa variable, o sea 1:1. Lo que es lo mismo que decir que aparecerá tantas veces cuando la variable esté presente como cuando la variable no se presente. De modo tal que podemos transformar el OR en probabilidades a partir de la fórmula:

$$\text{Probabilidad} = \frac{RM}{RM+1}$$

En este caso si el OR fue de 2,5 entonces aplicando la fórmula la probabilidad es de 0,714, o lo que es igual del 71,4%. Mientras que en el caso del $OR = 1$, la probabilidad es del 50 %; es decir, que existen en este

último caso las mismas probabilidades que el evento ocurra estando o no la otra variable en estudio presente.

Existe cierta confusión al homologarlo con el riesgo relativo que se usa en estudios prospectivos o de cohorte, el cual en realidad está comparando dos tasas de incidencia (o probabilidades acumuladas), una con el factor de exposición presente y otra con el factor de exposición ausente.

Los epidemiólogos utilizan diversos métodos de investigación para su trabajo de campo y analítico. Los estudios epidemiológicos observacionales o no experimentales tienen por objeto definir la etiología de la enfermedad. Los tipos más importantes son los transversales, de casos y controles; y de cohorte.

Los **estudios de casos y controles** son estudios analíticos y pueden ser retrospectivos o prospectivos. Se les utiliza especialmente en enfermedades poco frecuentes que tienen una latencia larga (cáncer en niños y adolescentes). Son relativamente menos costosos, fáciles de organizar y requieren pocos individuos como población de estudio. En los retrospectivos se parte del efecto (enfermedad) hacia la causa (exposición al factor de riesgo), y a la inversa en los prospectivos. Su diseño básico consiste en la selección de individuos con una enfermedad (casos) que se comparan con individuos sin la enfermedad (controles). La selección de los casos requiere la definición de los criterios de diagnóstico y de los criterios de selección de las personas con el riesgo potencial de exposición. El grupo control debe pertenecer a la población en la cual se estudia la enfermedad. La selección apropiada de los controles es uno de los factores más importantes para el éxito de estos estudios. Los resultados también se analizan con tablas de contingencia de 2×2 . En este tipo de diseño no se pueden obtener medidas de frecuencia en forma directa. Si los casos representan una muestra de una población identificada

claramente en tiempo y espacio y los controles se obtienen de un muestreo directo de esta misma población, los controles son definidos como base poblacional.

Estudios de cohorte: el diseño puede ser longitudinal, analítico y concurrente (prospectivo), no concurrente (retrospectivo o histórico) o mixto. Las mayores dificultades con los estudios de cohorte son su larga duración (en ocasiones muchos años); los grupos grandes; la pérdida de individuos; y el elevado costo.

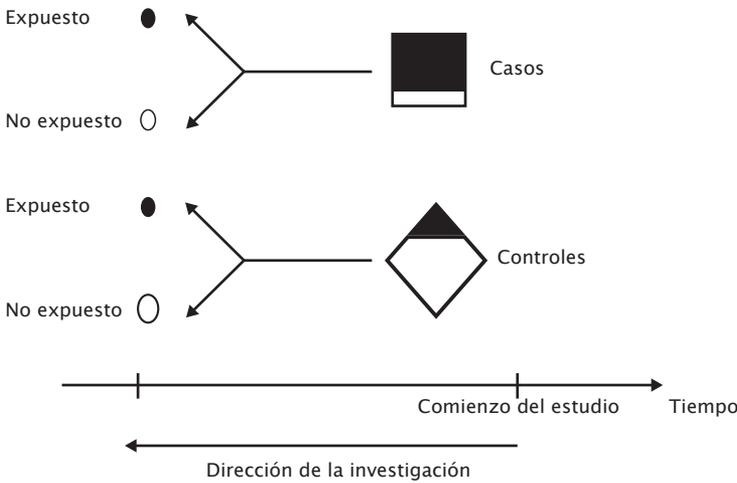
En los estudios de casos y de cohortes se seleccionan sujetos al principio y se determina si poseen el factor de riesgo o han sido expuestos. Se observa estas personas expuestas y no expuestas por cierto tiempo, para constatar el efecto de este factor. Debido a que los eventos de interés, como enfermedad, se manifiestan después de iniciado el estudio, en ocasiones se denomina prospectivo; los estudios de cohortes también sirven para identificar factores de riesgo posibles. En estos diseños resulta adecuada la comparación de los grupos mediante las tasas de incidencia de la enfermedad en estudio (D, resultado observado). Desde que los tamaños de grupos expuestos y no expuestos han sido predeterminados, una medida intuitiva, natural del efecto de exposición al factor de riesgo, es la razón de tasas (probabilidades). Esta razón es ampliamente conocida como riesgo relativo (RR).

$$RR = \frac{P(D | \text{expuesto})}{P(D | \text{no expuesto})}$$

Ver Figura 2.

A los estudios transversales también se les denomina de prevalencia y dependiendo del número de poblaciones estudiadas pueden ser **descriptivos** (solo una población) o **analíticos** (comparación de dos o más poblaciones). Son muy útiles para la identificación del perfil de

Figura 2: Sujetos expuestos y no expuestos.



Fuente: Encyclopedia of Statistical Sciences, vol. 8 (15).

salud-enfermedad de una población y para la frecuencia de exposición a uno o varios factores de riesgo. En estos diseños se mide la causa y el efecto en un momento determinado, por lo que su principal desventaja es la ambigüedad temporal, aunque no todos adolecen de este problema. Tienen su principal aplicación en las enfermedades de inicio lento y de larga duración (crónico-degenerativas). Su estructura operativa consiste en la obtención de una muestra representativa y aleatoria de una población en la que se miden las variables de estudio en los individuos, de acuerdo a si tienen o no la enfermedad y si están o no expuestos al factor de riesgo. Los resultados se analizan en una tabla de contingencia de 2×2 con la que se obtienen medidas de frecuencia, asociación, de impacto potencial, pruebas estadísticas e intervalos de confianza (16).

Finalmente, en estadística aplicada a la epidemiología, partiendo del principio que ante cualquier enfermedad lo principal es conocer cuántos

y quiénes son los contagiados, es fundamental utilizar la metodología de muestreo “*Adaptative Sampling*” (Seber & Thompson, 1996).

Se trata de un método dinámico; el muestreo adaptativo es una técnica de muestreo que se implementa mientras se envía una encuesta; es decir, el diseño de muestreo se modifica en tiempo real a medida que continúa la recopilación de datos, en función de lo aprendido del muestreo anterior que se ha completado. Su propósito es mejorar la selección de elementos durante el resto del muestreo, mejorando así la representatividad de los datos que produce toda la muestra. El propósito del muestreo es conocer una o más características de una población de interés mediante la investigación de un subconjunto, que se conoce como muestra, de esa población. Las cantidades de población típicas de interés incluyen la media, el total y la proporción de la población.

Esta técnica de muestreo, parte de una unidad muestral representativa, simple y al azar, y luego, bajo principios de estadística espacial se diseñan muestras aledañas por condiciones de interés de las variables o del estudio.

5. Sobre curvas epi

Una curva epidémica, también conocida como curva epi o curva epidemiológica, es un cuadro estadístico utilizado en epidemiología para visualizar el inicio, desarrollo y culminación de un brote de enfermedad. Puede ayudar con la identificación del modo de transmisión de la enfermedad. También puede mostrar la magnitud de la enfermedad, sus valores atípicos, su tendencia o intensidad a lo largo del tiempo y su período de incubación. Puede dar a los investigadores una idea de si es probable que un brote provenga de una fuente puntual, una fuente común continua o una fuente propagada.

Existen tres tipos de curvas epidémicas (17):

1. Los brotes de fuentes puntuales (epidemias) involucran una fuente común, y todas las exposiciones tienden a ocurrir en un período relativamente breve. En consecuencia, los brotes de fuentes puntuales tienden a tener curvas epidémicas con un aumento rápido de casos seguido de una disminución algo más lenta, y todos los casos tienden a caer dentro de un período de incubación.
2. Las epidemias continuas de origen común también pueden llegar a un pico y luego caer, pero no todos los casos ocurren dentro del lapso de un solo período de incubación. Esto implica que hay una fuente continua de contaminación. La pendiente descendente de la curva puede ser muy pronunciada si se elimina la fuente común, o gradual si se permite que el brote se agote.
3. Epidemia propagada (o fuente progresiva). En esta curva una o más de las personas infectadas en la ola inicial infectaron a un grupo

de personas que se convirtieron en la segunda ola de infección. Entonces, aquí la transmisión es de persona a persona, en lugar de una fuente común. Las curvas epidémicas propagadas generalmente tienen una serie de picos sucesivamente más grandes, que están separados por un período de incubación. Las olas sucesivas tienden a involucrar a más y más personas, hasta que se agota el grupo de personas susceptibles o se implementan medidas de control.

Es bien conocido por los epidemiólogos, no es una conjetura, que cada temporada de gripe, los Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades (CDC) manejan etapas en las curvas epidemiológicas: investigación, reconocimiento, iniciación, aceleración, estabilidad, desaceleración y vuelta a la normalidad.

En otros casos, por rebrotes epidémicos, las curvas pueden parecerse a una onda sinusoidal, con ascensos y descensos. También será importante en el diseño visual o gráfico, observar el acumulado de casos en el tiempo y los datos de recuperación –lo que verdaderamente marca el proceso de descenso a la normalidad–.

Las curvas epi suelen mostrar también las necesidades de hospitalización. Si la curva epi aumenta demasiado, la cantidad de pacientes que necesitan camas en unidades de cuidados intensivos (UCI) puede exceder la capacidad de los hospitales locales. El punto es simple. Durante su fase de rápido crecimiento, la cantidad de personas que necesitan hospitalización puede crecer a pasos agigantados, tan rápido que abruma el sistema de salud de una nación. Esto ha sucedido en Italia, España y New York en la actual pandemia por COVID-19.

6.

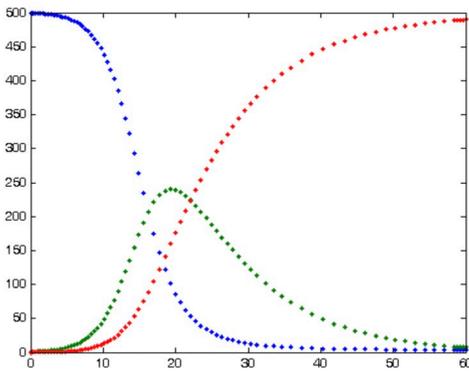
Epidemiología y modelos matemáticos

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 (18), 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 y probabilidades de lo que puede suceder cuando se desencadena una enfermedad viral.

Gráfico 1: Un ejemplo de modelo SIR (Azul = Población susceptible, Verde= Población infectada y Rojo = Población recuperada).



Fuente: Picardo Joao *et al.* (19).

La mayoría de enfermedades contagiosas: ébola, HIV-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).

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” (20).

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 y McKendrick, 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 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.

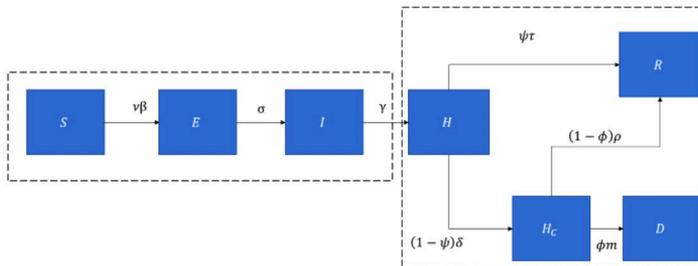
El modelo SEIS considera una nueva clase de individuos E (del inglés exposed); es decir, aquellos que portan la enfermedad pero que al hallarse en su periodo de incubación no muestran síntomas y pueden o no estar en condición de infectar a otros; y el modelo SEIR derivado del modelo SEIS, agrega **R**, 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 COVID-19, que satura los sistemas hospitalarios y demanda una cantidad significativa de respiradores mecánicos,

unidades de cuidados intensivos (UCI), insumos y personal médico, demanda un plan de contingencia sólido y razonable, el cual puede ser alimentado por el modelo SIR o SEIR.

El modelo SEIR aplicado a COVID-19: 18 de marzo al 18 de junio de 2020

Figura 3: Diagrama del modelo compartimental SEIR modificado.



Fuente: Centro de Modelaje de Matemático “Carlos Castillo-Chávez” ICTI – UFG.

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

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

Ecuación 2: Clase Expuestos

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

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 2: 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

Símbolo	Descripción	Condición Inicial
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 UCL.	2
D	Población fallecida. Individuos que murieron en consecuencia de estar enfermos por COVID-19.	2

Fuente: Elaboración propia con base a parámetros de El Salvador.

Parámetros

Tabla 3: 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. ($1/\gamma$)	12.74	11.9	10.64
ρ^{-1}	Tiempo promedio que tarda una persona en cuidados intensivos en pasar a cuidados intermedios. ($1/\gamma\delta$)	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

Fuente: Elaboración propia con base en parámetros de El Salvador.

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:

- Calidad y 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, aún existen discusiones no resueltas en términos de los procesos virales de incubación, contagio, síntomas, etcétera.
- Pueden considerarse limitaciones adicionales, el hecho de no considerar 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 carecer de precisión; 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 ejercicio 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 plazo, con base en los resultados, con respaldo de la literatura científica aceptada (21).
- 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 proyección razonable. Asimismo, los resultados de otros modelos (ARIMA series de tiempo Kolmogorov-Smirnov, desarrollado por Walter Otoniel Campos de la Universidad de El Salvador -modelo matemático realizado el 01-04-2020-) presentan escenarios y resultados similares a los obtenidos en este estudio.
- El ejemplo 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 retroalimentar el diseño de decisiones. Asimismo, este ejercicio permite analizar las 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 públicos.
- 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); los 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 los próximos 60 días.

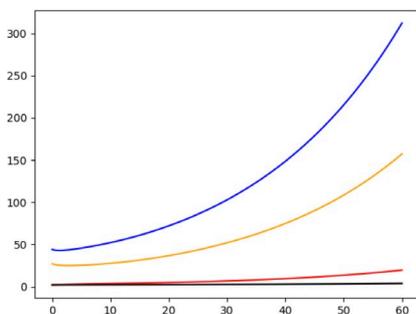
Escenario optimista. Asumimos que una persona infectada puede contagiar a 1.5 personas susceptibles ($R_0=1.5$)

Tabla 4: 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

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 2: Efectividad de aislamiento baja.

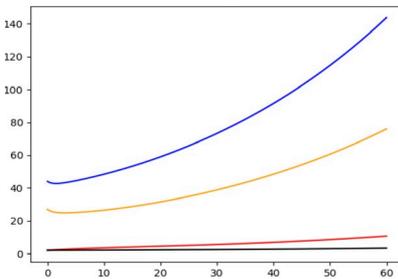


Al cabo de 60 días habrá: **313** infectados, **158** personas serían hospitalizadas, 20 pasarían a UCI y **4** podrían fallecer.¹

Fuente: Elaboración propia.

¹ 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.

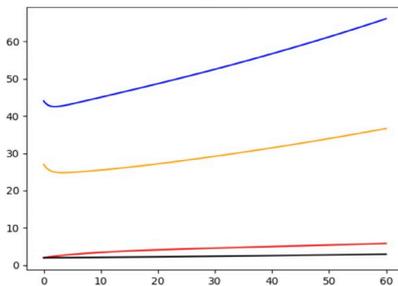
Gráfico 3: Efectividad de aislamiento media.



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

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 4: Efectividad de aislamiento alta.



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

Fuente: Elaboración propia.

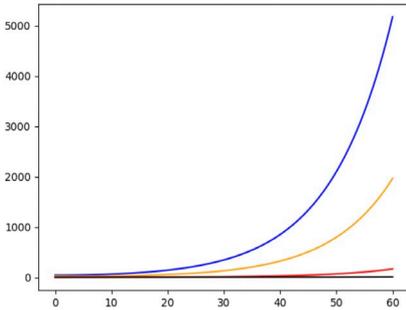
Escenario moderado. Asumimos que una persona infectada puede contagiar a 2.5 personas susceptibles ($R_0=2.5$)

Tabla 5: 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

Fuente: Elaboración propia.

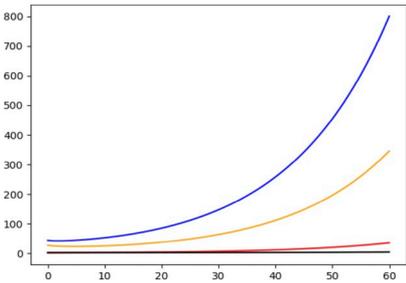
Gráfico 5: Efectividad de aislamiento baja.



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

Fuente: Elaboración propia.

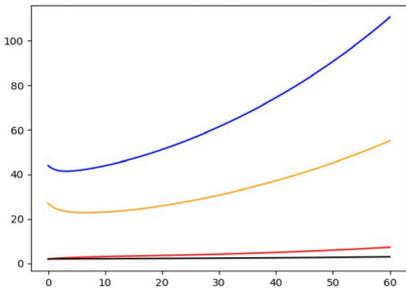
Gráfico 6: Efectividad de aislamiento medio.



Al cabo de 60 días habrá: **801** infectados, **346** personas serían hospitalizadas, **36** pasarían a UCI y **5** personas podrían fallecer.

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 7: 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.

Fuente: Elaboración propia.

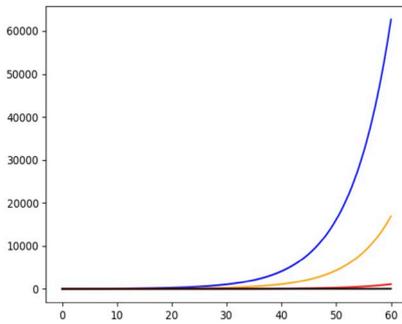
Escenario crítico. Asumimos que una persona infectada puede contagiar a 4 personas susceptibles ($R_0=4$)

Tabla 6: 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

Fuente: Picardo Joao *et al.* (19).

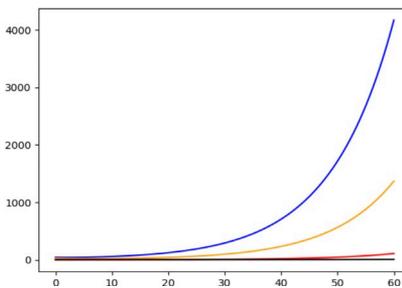
Gráfico 8: Efectividad de aislamiento baja.



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

Fuente: Elaboración propia.

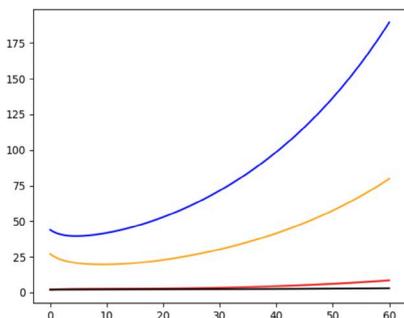
Gráfico 9: Efectividad de aislamiento medio.



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

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 10: Efectividad de aislamiento alta.



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

Fuente: Elaboración propia.

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 contagio²:

- a) Escenario optimista:** aislamiento alto 283, aislamiento medio 966;
- b) Escenario moderado:** aislamiento alto 685, aislamiento medio 14,916 (esta es la lectura sugerida); y
- c) Escenario pesimista:** aislamiento alto 1,728; aislamiento medio 193,439.

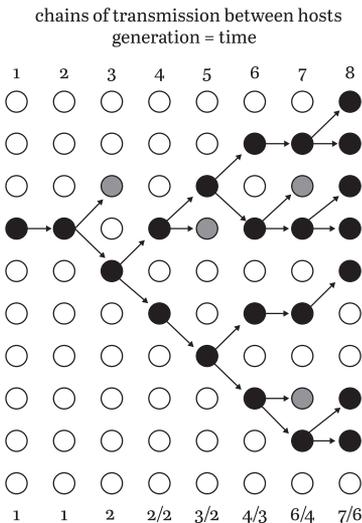
Nota: al 18 de junio de 2020 hubo 4,329 casos confirmados según <https://covid19.gob.sv/>

² Los números a continuación se refieren a cantidades de personas.

7 Velocidad y dinamismo de contagio

El número reproductor básico (R_0 o R_{sub0}) (22), es un parámetro teórico biológico matemático que mide o explica la velocidad y dinamismo de contagio de un enfermedad; Anderson *et al.* publicaron en 2004, en la prestigiosa revista *The Royal Society*, el artículo “*Epidemiology, transmission dynamics and control of SARS: the 2002–2003 epidemic*”, un estudio relacionado sobre SARS; aquí se establecieron dos parámetros explicativos de contagio: R_0 Número de reproducción básico: número promedio de casos secundarios generado por un caso primario en una población susceptible; y R_t Número de reproducción efectiva cantidad de infecciones causadas por cada nuevo caso ocurre en el tiempo t , esto fue explicado con un modelo de generación discreto.

Figura 4: Cadena de transmisión de contagio.



Fuente: Anderson *et al.* (23).

El parámetro R_0 , de modo indirecto ya había sido utilizado en los modelos epidemiológicos de compartimentado básico (modelo **S**usceptible–**I**nfectado–**R**ecuperado o SIR, en el que S, I, y R representan los tres compartimentos + **E**xpuesto) descrito por Kermack y McKendrick (1927) y luego Anderson y May en el estudio “*Population biology of infectious diseases: Part I*” (1979).

En un sentido más amplio, si el número de reproducción efectiva, $R_e = R_0 \times (S/N)$, es mayor que 1,0, cabe prever que la enfermedad se siga propagando; la reproducción efectiva refleja el hecho de que, a medida que la proporción de individuos susceptibles disminuye (S/N), la transmisión de la enfermedad se vuelve más lenta. Basándose en esta perspectiva matemática sencilla, los epidemiólogos suelen considerar que el número reproductivo básico es uno de los parámetros decisivos para determinar si una epidemia es susceptible de control.

Más allá de las ecuaciones SIR y SEIR (β es la tasa de transmisión, γ es la tasa de recuperación, N es el tamaño total de la población, etc.) el epidemiólogo debe entender las variables pragmáticas. El factor de “velocidad” de contagio es simple, y tiene que ver con la variable tiempo, pero el factor de “dinamismo” es más complejo, y aquí intervienen otras variables:

- Densidad poblacional;
- El aislamiento acordado (cierres de fronteras, aeropuertos, centros educativos, etc.)
- Factores sociales: Puntos de aglomeración (escuelas, estadios, centros comerciales, supermercados, bancos, farmacias, cajeros, transporte público, etcétera);
- Factores domésticos y laborales: Puntos de encuentro, servicios sanitarios, equipo de uso colectivo, etcétera.
- La bioseguridad hospitalaria: Garantizar que el personal de primera línea esté bien equipado.

La tasa global de ataque o el porcentaje de individuos que enfermarán durante un brote en una población dada, puede ser la característica de la enfermedad de mayor interés para las autoridades de salud, y aquí el R_0 es clave para enfrentar la enfermedad. En efecto, los controles de enfermedad y dinamismo bajarán o aplanarán la curva de contagio.

Una tarea esencial del epidemiólogo, entonces, será estudiar los factores dinámicos, identificarlos y aislarlos de la gente; así el contagio pierde fuerza y baja el parámetro R_0 . Una tabla de controles de factores dinámicos en un mapa con geolocalización podría ser muy útil para el control epidémico; por ejemplo:

Tabla 7: Tabla de control de factores dinámicos.

Factores dinámicos	Escenario A (Morazán)	Escenario B (La Libertad)
Casos de contagio (al 28 de julio)	134	1,931
Densidad poblacional	173,72 hab/km ²	222,2 /km ²
Aislamiento	No se aplica	No se aplica
Factores sociales	San Francisco Gotera	Santa Tecla Centros Comerciales
Factores domésticos	Sin definir	Sin definir
Bioseguridad hospitalaria	Garantizada	Parcialmente garantizada
Decisiones epidemiológicas	Supervisión en cinco municipios	Vigilancia en Santa Tecla Visita y cierre de comercios Cercos de ingreso y egreso

Fuente: Elaboración propia.



La identidad de los virus y la epidemiología

Para causar una enfermedad, un virus o agente patógeno debe crecer y reproducirse en el hospedador. Los epidemiólogos siguen por esta razón la historia natural de los virus o patógenos. En muchos casos, un virus o patógeno individual no puede crecer fuera del hospedador; si el hospedador muere, el virus o patógeno también muere. Asimismo, los virus o patógenos que matan al hospedador, antes de transmitirlos a otro hospedador, terminarán por extinguirse. Por tanto, la mayoría de los virus o patógenos dependientes del hospedador deben adaptarse a coexistir con el hospedador. Un virus bien adaptado vive en equilibrio con el hospedador, tomando lo que necesita para su existencia y causando sólo un mínimo de daño. Estos virus, a veces, pueden causar infecciones crónicas (infecciones de larga duración) en el hospedador. Cuando existe equilibrio entre el hospedador y el virus, ambos sobreviven. Por otra parte, el hospedador puede resultar dañado cuando su resistencia es baja, por factores como una dieta insuficiente, edad avanzada y otros agentes estresantes.

Además, algunas veces emergen nuevos virus naturales para los cuales el hospedador individual, y algunas veces la especie entera, no ha desarrollado resistencia. Estos virus emergentes, a menudo, causan infecciones agudas, caracterizadas por un comienzo rápido y llamativo. En estos casos, los virus pueden actuar como fuerzas selectivas en la evolución del hospedador, al desarrollar resistencia, puede ser una fuerza selectiva en la evolución de los patógenos. En los casos en los que el virus no depende del hospedador para sobrevivir, con frecuencia puede causar una enfermedad aguda devastadora.

Los virus son microagentes patógenos, en general miden entre 0,02 y 0,3 μm , hasta 1 μm de longitud (megavirus, pandoravirus). Los virus dependen completamente de las células donde habitan (bacterianas, vegetales o animales) para reproducirse. Los virus tienen una cubierta externa de proteínas y a veces lípidos, un núcleo de RNA o DNA y, en ocasiones, enzimas necesarias para los primeros pasos de la replicación viral. Los virus se clasifican principalmente a partir de la naturaleza, la estructura de su genoma y de su método de replicación, no según con las enfermedades que causan. Por lo tanto, hay virus de DNA y virus de RNA; cada tipo puede tener su material genético en forma de cadenas simples o dobles. Los virus de RNA de cadena simple se dividen en aquellos con RNA de sentido (+) y aquellos de sentido (-). Los virus de DNA, generalmente, se replican en el núcleo de la célula huésped y los virus de RNA lo suelen hacer en el citoplasma. Sin embargo, ciertos virus de RNA de cadena simple y sentido (+), llamados retrovirus, utilizan un método de replicación muy diferente.

Los principales virus y más peligrosos se clasifican del siguiente modo:

1. Fiebre hemorrágica de Marburgo: el virus más letal del mundo es el Marburg, similar al virus del Ébola; está considerado uno de los agentes patógenos más agresivos para los seres humanos. El primer brote identificado fue en la ciudad alemana de Marburg en 1967, mientras científicos de un laboratorio trabajaban con cultivos celulares de los riñones de simios verdes ugandeses que estaban infectados por el virus. El número de contagiados fue de 37, de los cuales fallecieron siete. El virus ocasiona un dolor de cabeza agudo y malestar general en el cuerpo; además de hemorragias severas en distintas partes del cuerpo. La tasa de mortalidad va del 25 al 80%. El peor brote fue en 2004 en Angola, donde de los 374 infectados fallecieron 329.
2. Virus del Ébola: el brote del 2014 infectó a más de dos mil personas, con una tasa de mortalidad que ronda el 90%. El epicentro de la

- epidemia se desarrolló en la capital de Guinea, Conakry, de donde se expandió a Liberia y Sierra Leona. Similar al virus de Marburg, ocasiona hemorragias en el cuerpo. No dispone aún de una vacuna o tratamiento específico para su combate; sin embargo, algunos tratamientos experimentales que no habían sido aprobados en humanos, podrían generar respuestas inmunes.
3. **Virus Hanta o Hantaan:** este virus, al igual que los dos anteriores, se contrae por zoonosis; es decir, que los animales pueden contagiar a los humanos, en este caso son los roedores, a través de excrementos y orina. El virus provoca un tipo de fiebre hemorrágica viral, la fiebre hemorrágica con síndrome renal (FHSR) o el síndrome pulmonar por hantavirus (SPHV), que afecta pulmones y corazón. Entre los síntomas se encuentran los dolores de cabeza, dolores musculares y fiebre, y al igual que los dos anteriores no existen tratamiento ni vacuna específica. El nombre proviene del río Hantan, al norte de las ciudades de Dongducheon y Paju, en Corea del Sur, lugar en el que fue aislado en 1976.
 4. **Gripe aviar:** la influenza aviar afecta, principalmente, a las aves; sin embargo, estas pueden contagiar al ser humano, al cerdo y al gato doméstico. Las variedades de virus A (H5N1) y A (H7N9) pueden ocasionar infecciones humanas severas; de hecho, la mayoría de los casos de infección humana se relacionan con el contacto directo o indirecto con aves de corral infectadas, vivas o muertas. El subtipo A (H5N1) infectó, por vez primera, al ser humano en 1997 en Hong Kong, mientras en marzo de 2013, el subtipo A (H7N9) infectó a tres personas, dos residentes de Shanghái y uno de la provincia de Anhui; todos los casos han sido reportados en China. Los síntomas son fiebre alta, superior a 38 grados, además de diarrea, vómitos, dolor abdominal, dolor torácico y sangrado por la nariz o encías, así como ronquera y producción de esputo, a veces sanguinolento. El tratamiento se basa en antivíricos, en particular el Oseltamivir, el

cual reduce la duración de la fase de replicación del virus y mejora las perspectivas de supervivencia. Ambos subtipos tienen un alto potencial pandémico.

5. Fiebre de Lassa: el primer caso reportado de infección en humanos fue el de una enfermera nigeriana y fue descubierto en 1950; sin embargo, el virus se logró aislar hasta 1969. La enfermedad es endémica de roedores de África Occidental, por ende los países más afectados son Guinea, Liberia y Sierra Leona. El contagio se da por el contacto directo con enseres domésticos contaminados por excremento de ratón de Benin. La enfermedad es progresiva y se inicia con fiebre, vómitos y dolor retroesternal; además, se observa conjuntivitis, edema periorbitario e inflamación del cuello, en algunos casos sordera y en situaciones graves shock, hemorragia, derrame pleural y edema cerebral. Los investigadores consideran que 15% de los roedores de la zona son portadores de la enfermedad y que podría presentarse un nuevo brote.
6. Fiebre hemorrágica argentina: esta enfermedad también es ocasionada por contagio de animales a humanos, a través del roedor del maíz, el cual porta el virus Junín (debido a la ciudad donde se descubrió) y tiene una tasa de mortalidad de entre 20 y 30% en los casos. Afecta principalmente al sistema vascular, neurológico e inmunitario. Entre los síntomas se hallan la conjuntivitis, hemorragias en la piel, conocidas como púrpura, petequia o sepsis, que es la respuesta del sistema inmunológico frente a infecciones graves. El virus se identificó en 1958 y su distribución geográfica quedó confinada a la región central de Argentina. El tratamiento es una transfusión de plasma inmune, el cual proviene de pacientes que se han recuperado de la enfermedad.
7. Fiebre hemorrágica de Crimea-Congo: la tasa de mortalidad ronda el 40% y se transmite al ser humano a través de garrapatas del

género *Hyalomma* y del ganado. Además, puede transmitirse entre humanos por contacto con sangre, secreciones, órganos u otros líquidos corporales de los infectados. El virus es endémico de África, los Balcanes, Oriente Medio y Asia; en países que se ubican por debajo de los 50° de latitud norte, límite geográfico de la garrapata que anida en animales como ovejas, vacas y cabras, además de avestruces. Las principales víctimas son las personas relacionadas con la industria ganadera, trabajadores agrícolas, empleados de mataderos y veterinarios. Los síntomas incluyen fiebre, dolor muscular, mareo, dolor y rigidez de cuello, lumbago, dolor de cabeza, irritación de ojos e hipersensibilidad a la luz, además de náuseas, vómitos, diarrea, dolor abdominal y dolor de garganta, seguidos de bruscos cambios de humor y confusión. Otros signos son taquicardia, inflamación de los ganglios linfáticos y erupción por hemorragia cutánea en mucosas internas; por ejemplo, en boca, garganta, y piel.

8. Virus Machupo o fiebre hemorrágica boliviana: conocido como tifus negro y con una tasa de mortalidad de cinco a 30% fue identificado en 1959. Entre sus síntomas se encuentra la fiebre, malestar, jaqueca y dolor en músculos y articulaciones, petequia y sangrado en nariz, además de flemas, lo que deriva en una fase hemorrágica. Nuevamente, los roedores son el vector de propagación de la enfermedad, en este caso, la laucha campestre, endémica de Bolivia, animal que a través del excremento contagia a los humanos. El tratamiento se basa en el desarrollo de una vacuna para el virus genéticamente vinculado a Junín, que muestra evidencia de reactividad cruzada al virus Machupo y puede ser una efectiva profilaxis para las poblaciones en alto riesgo de infección.
9. Enfermedad de Kyasanur: fiebre hemorrágica viral endémica del sur de Asia. El primer brote se presentó en Karnataka, India, en 1957, donde infectó a varios monos, por lo cual se conoce como

enfermedad de los monos. Entre los síntomas se encuentran la fiebre alta, dolor de cabeza, hemorragias nasales y de garganta, así como intestinales, además de vómito. Su tasa de morbilidad es del 10% y se considera que los reservorios naturales son ratas, aves y erizos. Aunque no hay tratamientos específicos, la vacunación se emplea como profilaxis, además de controles de garrapata y mosquito.

10. Fiebre del dengue: ocasionada por cuatro virus emparentados; se transmite mediante la picadura del mosquito *Aedes aegypti*, que se encuentra en regiones tropicales y subtropicales como el archipiélago de Indonesia, Centro y Sudamérica, el sudeste asiático, África subsahariana y algunas zonas caribeñas. A pesar de estar emparentada con la fiebre del dengue hemorrágico son dos enfermedades distintas, la segunda con síntomas más graves. El cuadro incluye fatiga, dolor de cabeza, especialmente detrás de los ojos, dolor en articulaciones y músculos, náuseas, inflamación de ganglios linfáticos, vómitos, tos, dolor de garganta y congestión nasal. No dispone de un tratamiento específico. La fiebre del dengue no se considera mortal, pero algunas formas clínicas pueden serlo. Cada año afecta a entre 50 y 100 millones de personas en destinos turísticos, como Tailandia y la India. En la actualidad, 2.000 millones de personas viven en zonas vulnerables del virus del dengue.

11. Los virus del papiloma humano (VPH): son un grupo de virus relacionados entre sí. Pueden causar verrugas en diferentes partes del cuerpo. Existen más de 200 tipos y cerca de 40 de ellos afectan a los genitales. Estos se propagan a través del contacto sexual con una persona infectada. También se pueden propagar a través de otro contacto íntimo de piel a piel. Algunos de ellos pueden ponerle en riesgo de desarrollar un cáncer. Existen dos categorías de VPH de transmisión sexual: el VPH de bajo riesgo puede causar verrugas en

o alrededor de los genitales, el ano, la boca o la garganta; y el VPH de alto riesgo puede causar varios tipos de cáncer.

12. VIH (virus de la inmunodeficiencia humana): la era del sida empezó oficialmente el 5 de junio de 1981, cuando los CDC convocaron una conferencia de prensa donde describieron cinco casos de neumonía por *Pneumocystis carinii* en Los Ángeles. Al mes siguiente, se constataron varios casos de sarcoma de Kaposi, un tipo de cáncer de piel. Es un virus que daña el sistema inmunitario mediante la destrucción de los glóbulos blancos que combaten las infecciones; esto pone en riesgo de contraer infecciones graves y ciertos tipos de cáncer. Sida significa síndrome de inmunodeficiencia adquirida y es la etapa final de la infección con el VIH. No todas las personas con VIH desarrollan Sida. El VIH suele contagiarse a través de relaciones sexuales sin protección con una persona infectada. También puede propagarse por intercambio de agujas para inyectarse drogas o por contacto con la sangre de una persona infectada. Las mujeres pueden infectar a sus bebés durante el embarazo o el parto.
13. Otros virus comunes y controlados: El sarampión, las paperas, la rubéola y la varicela son enfermedades virales que pueden tener consecuencias significativas si no se aplica el esquema de vacunación MMRV (vacuna contra sarampión, paperas, rubéola y varicela). Estas enfermedades se pueden contagiar fácilmente de una persona a otra. El sarampión no requiere contacto personal. Puede contagiarse de sarampión al ingresar a una habitación de donde haya salido una persona con sarampión hasta dos horas antes. Las vacunas y los altos índices de vacunación han hecho que estas enfermedades sean mucho menos comunes.
14. SARS-CoV-2: Numerosos coronavirus, descubiertos en aves de corral domésticas en la década de los años 30, causan enfermedades

respiratorias, gastrointestinales, hepáticas y neurológicas en animales. Únicamente se conocen siete coronavirus causantes de enfermedad en los seres humanos. Tres de los siete coronavirus causan infecciones respiratorias en los seres humanos mucho más graves e incluso a veces mortales que los demás coronavirus y han causado brotes importantes de neumonía mortal en el siglo XXI: el MERS-CoV se identificó en 2012 como la causa del síndrome respiratorio de Oriente Medio (MERS). El SARS-CoV fue identificado en 2002 como la causa de un brote de síndrome respiratorio agudo grave (SARS) que comenzó en China hacia finales de 2002. El SARS-CoV-2 es un nuevo coronavirus identificado como la causa de la enfermedad por coronavirus de 2019 (COVID-19) que comenzó en Wuhan, China, a fines de 2019 y se ha diseminado por todo el mundo. Los primeros casos de COVID-19 se reportaron en diciembre del 2019, en Wuhan, provincia de Hubei, en China (24); el 11 de marzo de 2020 la OMS declaró pandemia de coronavirus o COVID-19. La transmisión de la enfermedad es de persona a persona, a través de microgotas de saliva (*Flugge*). El tiempo durante el cual un individuo contagiado es “infeccioso” no se ha determinado por completo. Estudios de pacientes con síntomas leves sugirieron que el 90% tendrían una prueba negativa después de 10 días. Los pacientes con casos más graves, permanecen positivos por tiempos más largos (25). Otros estudios han sugerido que este período es más largo (8-37 días), con un promedio de 20 días (26). Hasta la fecha, permanece incierto si la exposición al virus genera inmunidad. Información preliminar indica que ciertos anticuerpos sí confieren protección. Se estima que el período de incubación es de 14 días. La mayoría de casos se presentan del día cuatro al cinco (25-27).

De lo anterior, se muestra un ejemplo de identidad viral y abordaje epidemiológico:

Tabla 8: Tabla comparativa de identidad viral.

Virus	VIH-SIDA	Ébola	SARS-CoV-2
Modo de contagio	Relaciones sexuales, uso de jeringas y agujas.	Contacto directo con fluidos corporales.	Microgotas de saliva <i>Flugge</i> .
Medida epidemiológica	Abstinencia sexual, no uso de jeringas y agujas.	Aislamiento de contagiados.	Distanciamiento social, desinfección y lavado de manos.
Enfoques generales de trabajo clínico y epidemiológico	Campañas educativas Acceso a la información		
	Antirretroviral (TARV) Psicoeducación Retrovirales	Aislamiento crítico. Rehidratación venosa. Vacunas experimentales. UCI Desequilibrios hipovolémicos, electrolíticos, hemorragias. Suero ZMAP Plasma.	Dependiendo de la evolución del síndrome multiorgánico, en fases iniciales antiinflamatorios y antigripales; en fases avanzadas (neumonías o trombosis) plasma y otros tratamientos complementarios en UCI.

Fuente: Elaboración propia.

9.

Notas sobre el desarrollo de enfermedades

El término enfermedad viene del latín *infirmitas*, que significa literalmente “falta de firmeza”; según la OMS enfermedad es la de alteración o desviación del estado fisiológico en una o varias partes del cuerpo, por causas en general conocidas, manifestada por síntomas y signos característicos, y cuya evolución es más o menos previsible.

La enfermedad se estudia desde sus causas (etiología), por su patogenia (los factores generan, sostienen y finalizan o perpetúan el proceso patológico) y con el trabajo clínico (síntomas y signos del paciente). También interviene el diagnóstico, la evolución, la anatomía patológica, el pronóstico, el tratamiento, la farmacología y sobre todo la prevención.

Desde el punto de vista epidemiológico, una enfermedad es analizada en cuatro períodos:

- **Prepatogénico:** ocurre antes de las manifestaciones clínicas y depende de las condiciones del medioambiente, el agente y el huésped. Representan para el huésped los factores de riesgo, que pueden ser de dos clases: endógenos (condiciones genéticas, inmunitarias, anímicas, etc.) y exógenos (el medio ecológico que depende del agente). Este período ocurre antes de la enfermedad, lo que nos permite saber cuándo aparecerá para poder contrarrestarla.
- **Patogénico subclínico:** se inicia cuando hay contacto entre el huésped y el agente. Hay lesiones anatómicas o funcionales, pero a un nivel insuficiente; por lo cual, el paciente no se percata o si lo hace no acude al médico, ya que parece ser algo muy simple.

- **Prodrómico:** aparecen los síntomas generales y es difícil determinar qué patología afecta al huésped.
- **Clínica:** mediante exámenes, pruebas, se determina el agente patógeno, se establece tratamiento e indicaciones para la cura.

Desde un punto de vista epidemiológico, también, la enfermedad puede verse desde seis fases considerando un conjunto de variables: la planificación y la coordinación; vigilancia y la evaluación de la situación; la reducción de la diseminación de la enfermedad; continuidad de la atención de la salud; y comunicaciones.

Las fases epidémicas o pandémicas se pueden clasificar del siguiente modo:

- **Fase 1:** no se ha notificado que un virus que circula entre los animales cause infección en los seres humanos.
- **Fase 2:** se ha confirmado que un virus que circula entre los animales domésticos o silvestres ha causado infección en seres humanos y, por lo tanto, se considera una amenaza específica de potencial pandémico.
- **Fase 3:** un virus o un virus reasociado humano-animal ha causado brotes esporádicos o pequeños conglomerados de enfermedad en personas, pero aún no hay una transmisión de persona a persona lo suficientemente sostenida para causar brotes comunitarios.
- **Fase 4:** la transmisión de persona a persona de un virus o de un virus reasociado humano-animal capaz de producir brotes comunitarios sostenidos ha sido confirmada.
- **Fase 5:** el mismo virus identificado ha causado brotes comunitarios sostenidos en dos o más países de una región de la OMS.

- **Fase 6:** además de los criterios de la fase 5, el mismo virus ha causado brotes comunitarios sostenidos por lo menos en otro país de otra región de la OMS.
- **Fase postpandémica o epidémica:** Los niveles de contagio pandémico en la mayoría de los países, con un sistema de vigilancia apropiado, han disminuido por debajo del nivel máximo.
- **Fase rebrote:** aumenta de nuevo el nivel de la actividad de contagio pandémico en la mayoría de los países con un sistema de vigilancia apropiado.
- **Fase final:** Existe una vacuna o los niveles de actividad de contagio pandémico han regresado a los niveles observados para la influenza estacional, en la mayoría de los países, con un sistema de vigilancia apropiado (28).

A nivel de países se utilizan otras clasificaciones o fases para explicar los ciclos epidémicos en términos de: caso cero (o primer caso); primeros contagios importados; contagios comunitarios; aceleración de casos; pico estadístico de casos; descenso; rebrote; vuelta a la normalidad.

10.

Seis modelos epidemiológicos para el abordaje de la pandemia COVID-19

La epidemiología contemporánea en función de la pandemia de COVID-19 está desarrollando múltiples enfoques para abordar y controlar los altos niveles de contagio y decesos; en este apartado se presenta una reseña breve de lo que se ha realizado desde el ICTI-UFG y sus resultados; a la vez se propone un modelo experimental titulado “Cercos Epidemiológicos Inteligentes” (CEI).

El modelo 1: tras algunas publicaciones del Colegio Imperial de Londres, el primer modelo o debate para el abordaje de la pandemia fue la posibilidad del “contagio total”; en efecto, algunos científicos consideraron que estábamos ante una enfermedad gripal, con un gran porcentaje de asintomáticos y que las tasas de letalidad y mortalidad del virus eran bajas. No obstante, las estadísticas y modelos biológicos matemáticos indicaban que los hospitales podrían colapsar; pero también surgieron preguntas por la inmunidad ¿una vez contagiados, quedan los seres humanos inmunes? Y no hubo respuesta preclara. Resultado: Suecia, crisis de mortalidad.

El modelo 2: las cuarentenas generalizadas, como segunda estrategia para el abordaje de la pandemia, de modo inmediato planteó el dilema de la doble curva en lo económico y lo sanitario. Los cierres totales afectaban significativamente a las economías más vulnerables e informales; y a la vez, debilitaba las relaciones comerciales. La mayoría de países, como es de esperar, antepuso la salud a la economía, pero la pandemia sigue. En el marco de las diversas teorías de abordaje de la pandemia COVID-19, el modelo de la “El Martillo y la Danza” (29) fue el más utilizado; no obstante, los resultados de aplanar la curva con estrictas cuarentenas para luego relajar las medidas de apertura no han dado los resultados esperados. Resultado: Costa Rica, rebrote.

El modelo 3: la pandemia de COVID-19 es un problema “social”. En efecto, el SARS-CoV-2 es un virus gripal pero el dinamismo y la velocidad de contagio (R_0) depende del distanciamiento social y evitar que las microgotas de saliva (*flugge*) de un sujeto alcancen a otro. El uso de mascarillas adecuadas, higiene y distanciamiento social representan el tercer método de abordaje. El problema de este enfoque son las malas prácticas recurrentes, el uso inadecuado de mascarilla, el descuido y sobre todo la falta de conciencia, ya que el 60% de los contagiados son asintomáticos. La gente no cree que se contagiara o no sabe que está contagiando. Resultado: la mayoría de países lo está implementando, pero sigue con contagio alto.

El modelo 4: un cuarto enfoque o método es el de los cercos epidemiológicos de campo o social focalizados. En este modelo, la epidemiología tradicional persigue los focos de contagio y los aísla de modo comunitario por 15 días. Es un modelo con mucha fuerza y buenos resultados; no obstante, demanda esfuerzos territoriales de gran envergadura ya que deben hacerse muchas visitas y desplegar equipos sanitarios locales. Este modelo parte de un primer de nivel de atención robusto y de equipos locales de trabajo coordinados con los niveles centrales; así, los sistemas de información centrales de salud ubican casos, se reportan a las unidades descentralizadas o municipales de salud y estas actúan. Resultado: Uruguay, control favorable.

El modelo 5: aplicar el “Problema de los puentes de Königsberg” o teoría de grafos; ¿cuál es la idea?, no restringir la libertad de movimiento, pero sí complicarla; es decir, cerrar ciertos accesos típicos a ciudades para que la población tenga que viajar más para llegar a un destino. Esto desestimula el salir y distiende el flujo de tráfico.

El modelo 6: este quinto modelo, que se desarrolla de modo experimental en el municipio San José Villanueva (La Libertad, El Salvador) parte de tres principios: educación, comunicación y tecnologías. Primero se

diseña con cartografía digital el mapa de influencia; luego, se geolocalizan los riesgos y sujetos en un esquema de semáforo; el mapa se carga con una app diseñada sobre la base de <https://www.5VID.sv>. La geolocalización es proximal para no estigmatizar. La población puede ver el mapa y distanciarse. También se generan advertencias digitales por redes sociales, referidas a negocios o comercios que no cumplen medidas de bioseguridad. El modelo se complementa con una campaña educativa y comunicacional amplia y a la vez focalizada; y se entrega un protocolo doméstico educativo. Resultado: Taiwán, Guayaquil, Nueva Zelanda, Corea del Sur han utilizado tecnologías en su enfoque. Para conocer más: <https://observatoriocovid19.sv/laboratorioCEIsanJoseVillanueva.html>



Escanear para ir a enlace.

Más allá de los modelos, será importante el criterio que lo guía: ¿la ciencia, la intuición política o el repetir recetas? Al final, los resultados y la evidencia es lo que cuenta. Cada autoridad podrá decidir qué hacer y cómo hacerlo, y deberá responder con sus informes de eficiencia y eficacia del modelo utilizado. Los datos tendrán la palabra.

11.

Cadenas y cálculos de contagio

Comunicarse con otras personas es una necesidad fundamental para los seres humanos. La relación social tiene una función biológica. Las sociedades y comunidades están formadas por diversas redes de contacto: familiares, sociales, comerciales, deportivas, culturales, educativas, etcétera. Estas redes en no pocos casos se conectan entre sí, tanto de manera virtual como física. El profesor e investigador matemático Carlos Hernández de la Universidad de Colima, México, ha expuesto la dinámica de redes de contactos en un material audiovisual titulado *¡Que pequeño es el mundo!*, en el cual explica cómo funcionan los contagios en las epidemias (30).

Las enfermedades se transmiten rápidamente, funcionan a veces como “rumores” y esto sucede por dos razones: estamos más conectados de lo que creemos con el resto de personas y nos da la impresión de que no es así. En este contexto, estamos mucho más expuestos de lo que creemos a ser contagiados por una enfermedad y se subestima esta posibilidad.

El sujeto “1Z” tiene cuatro amigos: A- B- 1Z- C- D, pero A y D no se conocen, tampoco A y C se conocen, ni B y D se conocen; no todos los amigos se conocen entre sí y no siempre se conoce a los amigos de los amigos, aunque en una red de contactos siempre puede existir contactos lejanos que conecta a dos o más personas. Esto es real.

En una red circular de 16 personas, cada una conoce a cuatro personas, la posibilidad de que un sujeto contagie a otra que está a ocho segmentos de distancia se puede dar en cuatro pasos –por los amigos de los amigos–. En una tabla de 16 por 16 sujetos, la máxima distancia de contagio nunca será mayor de 4 pasos, y la distancia promedio

entre todos los individuos es de 2.4, pudiéndose reducir a 2.15 por los contactos lejanos que puede haber en una red; mientras más grande es la población la reducción es menor. En un conjunto de 200 individuos la distancia promedio entre contactos es de 25 unidades y si el 10% de ellos tiene conexiones lejanas la distancia pasa de 26 a seis, logrando una reducción del 75%. Cuando tenemos 10,000 personas, la distancia promedio puede pasar de 500 a 6.12, reduciendo un 99%.

No creemos estar muy conectados a los individuos que tienen conexiones lejanas; pero debido a ello, esto posibilita redes de contacto más activas. Generalmente hay personas conectadas cuando comparten alguna red social –WhatsApp, Facebook, Twitter, etc.–, pero seguramente un contacto de nuestra red es amigo de otro amigo. Este análisis se obtiene con el estudio de las redes, utilizando matemáticas y computación, lo cual permite hacer estudios de tipo neuronal.

Luego de revisar abundante bibliografía (30-32), se descubre que las cadenas de contagio y relación de contactos es un factor clave en el dinamismo epidemiológico de COVID-19 y de otras epidemias; en este contexto, es probable crear una herramienta o “calculadora de contagio” que puede proyectar las probabilidades de contagio de una persona en función de sus rutinas diarias.

Esta calculadora –para El Salvador– parte de los siguientes parámetros:

1. Tasa de contagio en El Salvador es aproximadamente de 147 (cantidad de infectados por 100,000 habitantes).
2. Número reproductor básico de contagio R_0 en El Salvador podría estar en 1.76.
3. 60% de los contagiados son asintomáticos (contagian sin saber que están contagiando).

4. Densidad poblacional de El Salvador es de 316 habitantes por km².
5. Promedio de personas por familia (33) es de 3.6.

Además, se investigaron los parámetros de afluencia de personas – en 12 horas– a ciertos lugares recurrentes con gremiales y medición promedio (los números varían en zonas, fechas y horas); los datos son los siguientes:

6. Bancos y cajeros: 650 personas.
7. Farmacias: 300 personas.
8. Supermercados: 700 personas.
9. Tiendas locales: 75 personas.
10. Gasolineras: 1,100.

El usuario de la “calculadora de contagio” establecerá dos parámetros

11. Cuántas personas están en contacto con él en su oficina o lugar de trabajo; y
12. Establecer un parámetro adicional –a la lista dada– en dónde pueda definir cuántas personas han confluído.

En total, la calculadora trabaja con cinco (preestablecidos) más seis o siete parámetros de su rutina (11 o 12 parámetros en total). El resultado le dará la probabilidad de contagio en un día; también el usuario podrá suprimir parámetros, para calcular cómo disminuye la probabilidad si en un día no va a la gasolinera o el supermercado.

La idea es responder a tres preguntas muy sencillas: **1) ¿Con cuántas personas se ha reunido hoy?; 2) ¿Qué núcleos representan esas personas?; y 3) ¿A cuántos lugares fue este día?** Si en una oficina hay cinco personas, que representan a cinco núcleos familiares, en teoría la relación de contactos podría ser entre 18 personas; pero, además, si el sujeto visitó una farmacia y luego una gasolinera ¿cuántas personas visitaron también esa farmacia y a esa gasolinera ese día? Digamos que unas 300 a la tienda y unas 1,500; es decir, la relación de contacto se elevó; por la oficina tenías 18 contactos, por la farmacia $300 \times 3.6 = 1,080$ y por la gasolinera $1,500 \times 3.6 = 5,400$. El día tuvo una cadena de contagio equivalente a 6,498 personas.

Si a este dato le incorporamos la teoría de la probabilidad como fenómeno aleatorio, la teoría de “seis grados de separación”, el teorema de Bayes, el dilema de prisionero o de teoría de juegos o el parámetro o número reproductor básico de dinamismo y velocidad de contagio “R0” (erre sub cero), podemos diseñar escenarios sorprendentes para explicar por qué el contagio sigue elevado en muchos países.

Pero ¿qué tal si se regula la cadena de contagio analizando y disminuyendo la relación de contactos diarios?; se distancia con disciplina de los compañeros de la oficina y se debe planificar mejor la agenda para evitar ir a muchos lugares el mismo día.

Considerando el ejemplo anterior, de las cinco personas que trabajan en la oficina hoy se aíslan a tres, manteniendo la relación con dos; la relación de contacto se reduce inmediatamente de 18 a siete, y solo va hoy a la farmacia y deja de ir a la gasolinera, mantiene los 1,080 de la farmacia y elimina los 5,400 de la gasolinera. El escenario cambió radicalmente de 6,498 contactos a 1,087 contactos y habiendo disminuido al 16% las posibilidades de infectarte.

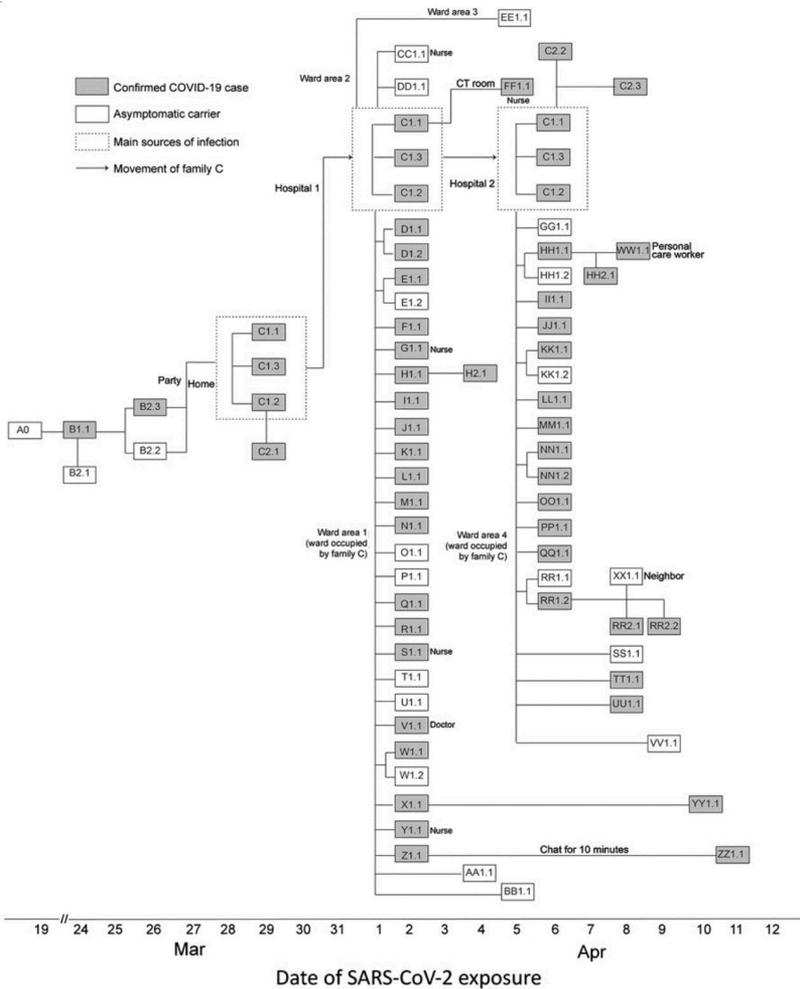
Detrás del COVID-19 hay una “matemática social de contagio” basada en tres clases de sujetos: Susceptibles (S), las personas que podrían infectarse; Infectados (I), aquellos que ya han sido infectados; y Recuperados (R); a esto los epidemiólogos y matemáticos le llaman el modelo SIR creado en 1927 por Kermack–McKendrick. Si cada infectado no infecta al menos a otra persona, la propagación de la epidemia se detiene por sí sola. La enfermedad crece exponencialmente si, por el contrario, R_0 es mayor que 1, ya que estamos en presencia de un principio epidémico.

Si bien individualmente puede controlarse el micro mundo familiar con bioseguridad, se desconoce qué hacen los compañeros de oficina o empleados de tiendas y gasolineras; ¿desinfectan todo lo que ingresa a su casa?, ¿se desinfectan las manos cada vez que reciben dinero o toman un objeto?, no lo sabemos; y es posible que no tengan esa exigente disciplina sanitaria que demanda esta epidemia.

Finalmente, se presenta este ejemplo de recolección y análisis de datos epidemiológicos publicados en el sitio web de la Comisión de Salud de la provincia de Heilongjiang, del 9 al 23 de abril de 2020. Se pueden observar los casos confirmados de COVID-19 como personas que dieron positivo para SARS-CoV-2 y tuvieron síntomas clínicos. Luego, los portadores asintomáticos como personas sin síntomas clínicos que dieron positivo para SARS-CoV-2. Se creó una referencia a los pacientes por una letra para cada familia (A – Z, AA – ZZ), luego por la generación de transmisión supuesta (1–2), y finalmente, en orden secuencial de exposición a personas positivas al SARS-CoV-2 en las generaciones 1-3. Todas las personas –de la figura que se presenta más abajo– en este grupo, incluidas las que vivían en la misma comunidad y tenían contacto cercano con pacientes positivos al SARS-CoV-2 o visitaron los dos hospitales durante el 2 al 15 de abril, se les realizó una prueba de detección de ácidos nucleicos y suero de SARS-CoV-2 anticuerpos, hasta el 22 de abril de 2020, A0 permaneció asintomático, y se habían identificado un total de 71 casos positivos de SARS-CoV-2 en el grupo.

La narrativa de movilidad del paciente “A0” implicó uso de ascensores, reuniones, asistir a una fiesta, compartieron espacios hospitalarios con B1, C1, etcétera hasta lograr un amplio contagio comunitario.

Figura 5: Cadena de contagio.



Fuente: CDC (8).

Los resultados ilustran cómo una sola infección asintomática por SARS-CoV-2 podría provocar una transmisión comunitaria generalizada. Esta información también destaca los recursos de análisis necesarios para la investigación de casos y los desafíos asociados con la contención de SARS-CoV-2. Las medidas continuas para proteger, detectar y aislar a las personas infectadas son esenciales para mitigar y contener la pandemia de COVID-19 (31).

12

El “Cercos Epidemiológico Inteligente” (CEI)

La enfermedad de coronavirus ocasionada por el virus SARS-Cov-2 posee tres periodos: latencia, incubación e infección; pero debido a las investigaciones se conoce que un 60% de los contagiados son asintomáticos y, estos sujetos, son los que ocasionan el mayor contagio comunitario. Acabar con la epidemia sólo bastaría con 15 días de aislamiento. Parece fácil, 15 días de cuarentena y ya, pero no lo es. En el manejo de epidemias, la historia y la ciencia nos indica que el mecanismo o método más efectivo es encontrar a los enfermos, tratarlos y aislarlos; así se combatió HIV-SIDA y el ébola, tarea que tampoco es fácil. Pero los virus SARS poseen un dinamismo de contagio más versátil que HIV-SIDA y ébola.

Para que realmente tenga un impacto un aislamiento efectivo en COVID19, tiene que ser radical, las “excepciones” rompen la lógica; y la quiebran por los “asintomáticos”.

¿Cuál es el problema?

1. En países desarrollados las familias tienen la capacidad financiera para abastecerse 15 días de alimentos y otros insumos que necesiten (medicinas, etc.); tienen ahorros y pueden soportar sin problemas estas dos semanas de aislamiento; también poseen viviendas más espaciales y hasta tienen recursos de ocio doméstico que les facilita este periodo de cuarentena. En estos países se cuenta con un sistema de salud más robusto. El personal de primera línea está bien equipado, lo cual genera un sistema de protección más sólido, y hay menos contagiados, les aplican pruebas; además, tienen la capacidad de sustituir o reemplazar a los infectados. Por último, suele haber niveles de escolaridad más altos y mayor disciplina social.

2. En países subdesarrollados, los niveles de pobreza son altos y las familias son más numerosas (entre 3.5 y 5 miembros por familia); la gente no tiene ahorros, necesita salir a trabajar cada día para comer; hay más hacinamiento, espacios reducidos –factor que genera violencia o agresividad-; y no tienen mayores recursos de ocio. En Latinoamérica, los sistemas de salud son muy limitados; el personal no tiene el equipo de bioseguridad requerido por lo que se contagian y hay más decesos; luego, se contagian más y no cuentan con la cantidad de pruebas para diagnosticar y menos con los remplazos requeridos. Los niveles de escolaridad son más bajos, hay mayor desdén e irrespeto a las normas.

En las cuarentenas latinoamericanas hay muchas excepciones, y por lógica mucho contagio comunitario de asintomáticos; policías, soldados, el personal del Cuerpo de Agentes Municipales –CAM-, enfermeras, médicos amplifican el contagio, y en supermercados, farmacias, tiendas y cajeros se crean nodos de infección. La epidemia no se detiene.

¿Qué se debe o puede hacer entonces? Proceden dos recomendaciones básicas:

- a) Identificar y geolocalizar a los contagiados con mapas; educar e informar sobre los riesgos; y si fuera necesario crear cercos de aislamiento locales.
- b) Las Unidades de Salud Municipales deben tener un rol epidemiológico más activo, en la búsqueda y aislamiento de casos; ésta pandemia no se puede resolver de manera centralizada; es un tema eminentemente local.

El debate no radica en paralizar o no la economía para bajar la curva – lo cual también es complejo–, pues es un asunto demográfico, cultural

y socio-económico, pero sobre todo algo que se debe resolver desde la epidemiología y con un enfoque técnico y no político. Lamentablemente, las circunstancias políticas en algunos países condicionan el accionar de cuarentenas generalizadas o focalizadas por las restricciones de libertades y derechos ciudadanos. En este contexto surge la propuesta de Cerco Epidemiológico Inteligente.

El CEI se inspiró en la experiencia del caso de Guayaquil, Ecuador, una de las ciudades más afectadas en el mundo por casos de COVID; un artículo publicado en *The Wall Street Journal* (WSJ) recogió declaraciones de la alcaldesa Cynthia Viteri y detalla la iniciativa del planificador urbano Héctor Hugo quien recogió datos de los levantamientos de cadáveres que se hacían en domicilios para elaborar un mapa de los sectores más afectados. La recopilación de datos marcó el comienzo de un esfuerzo de los médicos locales, líderes empresariales y el gobierno para hacer frente a la epidemia que provocó un cambio notable en esta ciudad costera de tres millones. La clave del éxito: enviar brigadas de salud a los barrios más afectados en lugar de esperar a que los pacientes lleguen al hospital. De aquí se tomó la idea de utilizar mapas con casos geolocalizados con usos de encuestas y aplicación móvil de infectados, sospechosos, decesos y recuperados.

El mapa sería útil para ubicar casos, pero luego se pensó qué hacer; ahí surgió la idea de informar a la gente para que se aleje de los riesgos; además de educarla, a través de un protocolo doméstico, para que sepa cómo actuar y entregarle un kit básico de mascarillas y alcohol para personas de escasos recursos.

Desde el punto de vista demográfico la segmentación del municipio fue clave; del 100% de la población, aproximadamente un 30% es más educada y con mejores estándares de vida, pero con prácticas sociales riesgosas (reuniones, fiestas, etc.); el 70% estaba menos informada y con poder adquisitivo limitado. A estos últimos se les entregó los kits y a todos se les informó y educó.

La configuración comercial y de aglomeración de la población es un factor clave; identificar en el mapa e informar los lugares más riesgosos hace que la población se aleje del peligro. Eso implica realizar visitas y registrar buenas y malas prácticas con un criterio de semáforo para luego ubicar en el mapa: Establecimientos que cumplen estándares de bioseguridad SEGUROS = VERDE, establecimientos que cumplen relativamente estos protocolos RIESGOSO = AMARILLO y establecimientos que no cumplen PELIGROSO=ROJO.

Antecedentes: otras variables sociales

La medicina posee un lado estructurado, científico, formal y clínico muy riguroso; pero también convive con otra dimensión complementaria antropológica, sociológica, anecdótica y cultural. ¿Qué médico salvadoreño en sus turnos de emergencia no recuerda haber recibido pacientes con heridas pretratadas con cabello, cal o café cómo técnica anti hemorrágica?, ¿qué decir de la “primera línea rural” sobadores y curanderos?, o todos los episodios pediátricos del “mal de ojo” y otras circunstancias de la medicina cultural o ancestral.

En el libro *Los conceptos de salud y enfermedad en el oriente medio antiguo, en el mundo griego y en la Biblia* del Dr. David López –filólogo– (34), nos enseña que en las culturas antiguas se desarrollaron las ideas sobre la salud y enfermedad a partir de sus creencias religiosas, míticas o mágicas, considerando la enfermedad como castigo divino por el pecado; y esto, en muchos lugares sigue operando. El sujeto antes de ser paciente es ser humano y esta realidad antropológica supone creencias, valores y costumbres; es decir, cultura. Una cosa es lo que se piensa y se escribe en los grandes gabinetes médicos, revistas prestigiosas, facultades, secretarías de salud u organismos internacionales como la Organización Panamericana de la Salud o la Organización Mundial de la Salud, y otra lo que sucede en lo cotidiano de las comunidades rurales y urbano marginales. No deberían dejarse de lado en la discusión otros

aspectos alternativos a la medicina alopática, los enfoques homeopáticos o naturalistas que también operan en nuestras sociedades.

Por ejemplo, un factor de fracaso de los proyectos de “letrización” en las áreas rurales durante los años 80 en Centroamérica se debió al limitado conocimiento cultural del área rural; mientras la oficina de USAID (Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional) se esmeró con estudios técnicos para diseñar una letrina abonera eficiente y que combatiera el cólera, la disentería o la transmisión de parásitos intestinales, descuidaron un aspecto fundamental: los campesinos no hacen sus necesidades sentados, sino en “cuclillas”, menos en una caja con un hoyo y peor en un lugar dónde no había hojas –el papel higiénico no era común-; las letrinas terminaron como pequeñas bodegas.

Los aspectos sociológicos y antropológicos son claves para entender la cultura y resolver problemas epidemiológicos; hoy, con la pandemia de COVID-19, la epidemiología de campo, la observación, el registro y la visita *in situ* son aspectos esenciales para resolver una patología con características sociales (distanciamiento). Más allá de los grandes debates científicos y económicos sobre el origen del virus, sobre aplanamiento de la curva, sobre los tratamientos farmacológicos y sobre las necesidades nosocomiales, debemos centrarnos en otros aspectos para controlar el contagio.

Los epidemiólogos deben considerar, en su trabajo y enfoque, el sistema ecosocial y otros microsistemas epidemiológicos para integrar el razonamiento social y biológico desde una perspectiva dinámica, histórica y ecológica y así generar ideas sobre los determinantes de la distribución poblacional de la enfermedad y de las desigualdades sociales en el campo de la salud. Para la teoría ecosocial, la cuestión fundamental es “¿qué y quién es responsable de las tendencias poblacionales de la salud, la enfermedad y el bienestar, manifestadas en las desigualdades sociales de salud presentes y pasadas y en sus cambios?”. Por consiguiente, las

explicaciones epidemiológicas adecuadas deben tener en cuenta las distribuciones tiempo espaciales de la enfermedad, tanto las persistentes como las cambiantes, incluidas las desigualdades sociales en salud (35).

Será importante considerar, también, que en esta pandemia de COVID-19 los ciudadanos están “*influxados*” de videos, noticias, recomendaciones, materiales e informes; mucha de esta información se contradice, otra es falsa y la gente va perdiendo la confianza. Las redes sociales, si bien son un canal de comunicación fundamental, vehiculizan mentiras y teorías que afectan a los ciudadanos, lo cual genera una desconfianza generalizada, ¿a quién le cree usted?, ¿qué es cierto o mentira? Los seres humanos son seres empáticos y gregarios, les cuesta el distanciamiento y la pandemia de COVID-19 se resuelve con distanciamiento y medidas de bioseguridad; entonces, la pregunta es ¿cómo hacer para que la gente se distancie? Un camino inadecuado es el “miedo”, otro más positivo es la “educación e información”. Pero no basta una campaña educativa general, lo pedagógico debe llegar a la casa, a través de estructuras municipales y locales. También será importante entregar en las casas “protocolos domésticos” sencillos y con indicaciones claras; y, por último, crear mecanismos –o mapas- de riesgos para dar a conocer ¿dónde está el virus y por qué se tiene que alejar de él?

El debate actual se ha centrado en el tema de “cuarentenas” y está intentando encerrar a los sujetos enfermos y también a los sanos (en otras epidemias solo se acerca a los enfermos); pero lo central es cómo se distancian los sujetos, cómo se hace la vida a dos metros del otro, cómo entender que el contagio es por *microgotas* de saliva o *flugge* y que el uso de ciertas mascarillas ayuda a evitar el contagio. Nadie quiere contagiarse, entonces, si se sabe cómo o dónde está el riesgo, cada quién tomará distancia; pero el asintomático no lo sabe y muchos otros no creen que se contagiarán; entonces, se debe intensificar una campaña educativa local y focal para concientizar a la población, cosa que no se está haciendo y que es realmente urgente.

Cada comunidad, caserío, barrio, residencial, urbanización, edificios, empresa, oficinas, etcétera, debe crear sus propios protocolos de seguridad: evitar fiestas o reuniones sociales, informar si hay o no sospechosos o contagiados (cuidado con los argumentos de estigmas, esto no es lepra, debemos saber si hay o no contagiados o sospechosos) y de haberlos, enviarlos a aislamiento domiciliario; pegar rótulos y carteles preventivos en lugares públicos, tiendas, supermercados, farmacias o cajeros; desinfectar todo lo que ingrese a las casas. Si logramos esto, podemos vencer al SARS-CoV-2.

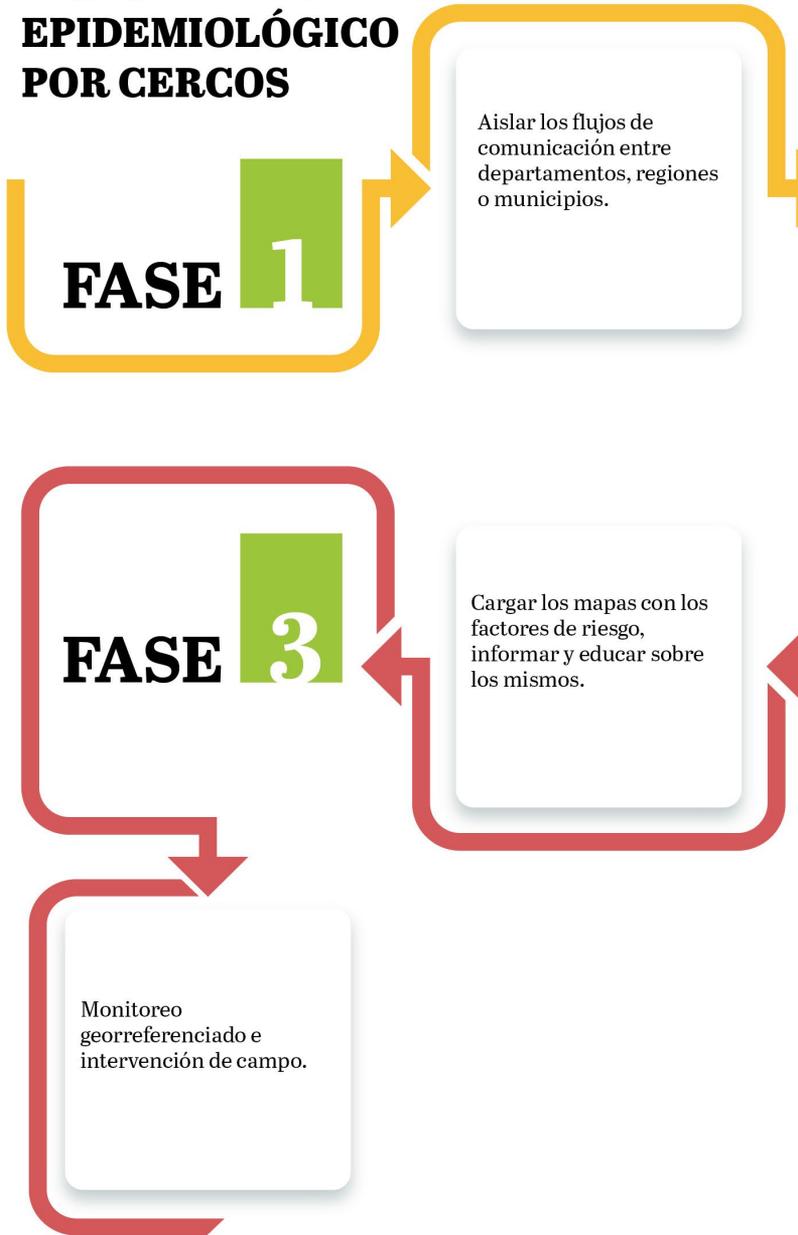
La epidemiología de campo tradicional

La lógica e identidad de este virus y sus formas de contagio es muy simple, y se sabe que si en 15 días un contagiado no ha tenido posibilidad de reproducir el contagio a través de microgotas o gotas de *flugge* todo termina. En este contexto, más que cuarentenas, lo que se necesita para combatir efectivamente esta epidemia es un trabajo de identificación de nexos epidemiológico y aislamiento.

Considerando el número reproductor básico o “R0” partamos del hecho que una persona contagiada podría afectar de modo recurrente a cuatro o nueve personas en un día, a partir de sus rutinas. Por ejemplo, en una zona, región, departamento o municipio con pocos casos (15 o 30) si nadie hiciera nada en materia preventiva, bioseguridad o distanciamiento, al día siguiente pudiéramos tener 60 casos o 135 casos, con los diversos “R0”. Al estar identificados, con pruebas, estos 15 o 30 casos, y al saber su domicilio y sus posibles nexos, de tal modo que si se controlan y se aíslan el “R0” debería ser ≤ 1 .

¿Cómo podría funcionar un modelo de control epidémico basado en el aislamiento de casos? considerando sus características demográficas y densidad poblacional:

FASES DEL MODELO EPIDEMIOLÓGICO POR CERCOS



Fuente: Elaboración propia.

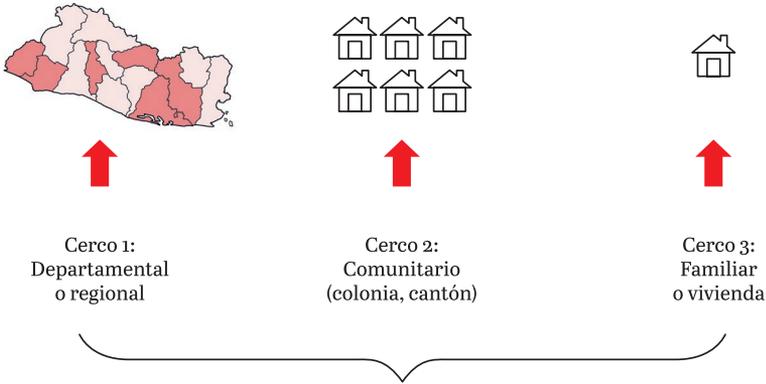
Cercos Epidemiológicos Inteligentes:
Un enfoque educativo, informativo y tecnológico



A continuación se representa de forma gráfica los cercos epidemiológicos de campo tradicionales

Figura 6: Cercos epidemiológicos tradicionales.

CERCOS EPIDEMIOLÓGICOS TRADICIONALES



NUEVA LÓGICA DE CUARENTENA

Fuente: Elaboración propia.

Generalmente hay tres categorías de regiones, departamentos o municipios de contagiados. Esto puede observarse en la tabla siguiente.

Tabla 9: Niveles de contagio.

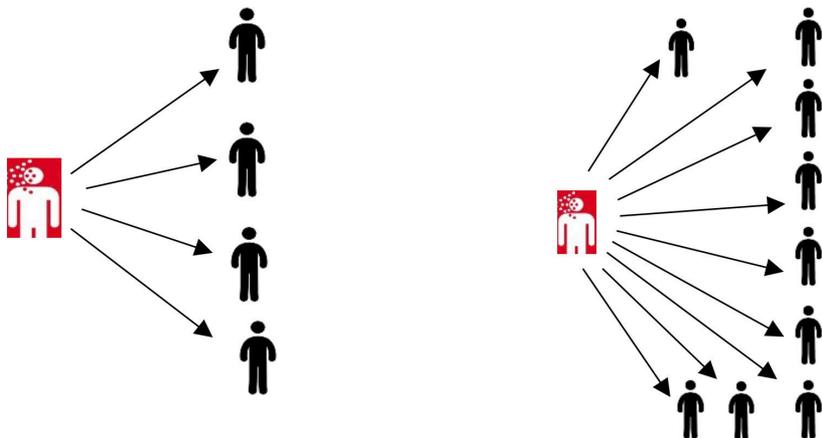
Bajo contagio (hasta 100 casos)	Contagio Intermedio (hasta 300 casos)	Alto nivel de Contagio (300 casos a +)
X	A	L
Y	B	M
Z	C	N

Fuente: Elaboración propia.

Según la estadística epidemiológica, inclusive se podrían realizar segmentaciones a nivel regional, municipal, comunitario, por barrios y/o urbanizaciones. Posteriormente, se mide el factor de contagio de

cada caso, pudiendo haber dos o tres escenarios; hipotéticamente que habría dos escenarios de 4 y 9 nexos, con casos positivos, luego de aplicar las pruebas.

Figura 7: Representación de contagiados y sus nexos con 2 “ R_0 ”= 4 y 9.



Fuente: Elaboración propia.

Esta estrategia permite lo siguiente:

- No asilar a todo el país, sino a los departamentos, municipios y comunidades en riesgo.
- Mejor identificación y trabajo de campo efectivo con aislamiento en base a evidencia.
- Contar con información sobre la velocidad y dinamismo de contagio.
- Menor impacto económico.
- Crear una herramienta de georreferenciación y número telefónico para monitoreo.

El modelo “CEI”, paso a paso

El CEI es un modelo epidemiológico con tres componentes: educativo, intenta educar; informativo, proyecta información relevante; y tecnológico, pues utiliza recursos de última generación. A continuación se presenta el paso a paso de esta estrategia:

1. Lo primero y esencial es contar con un plan de trabajo sólido, con datos, metas, indicadores y definición del modelo.
2. Se crea una página web para comunicar todo el quehacer del proyecto, mapas, fotos, textos, etcétera.
3. Se crea un equipo interdisciplinario local, en donde participan autoridades municipales, personal médico de la unidad de salud, líderes comunitarios, personal universitario y/o científico de apoyo. Este equipo será el encargado de implementar el modelo.
4. Se diseñan las piezas publicitarias de educación y comunicación con mensajes simples y claros; pensados en personas de baja y alta escolaridad; buscando compromiso propio en los aspectos básicos: uso de mascarilla, lavado de manos, distanciamiento social y alejarse del riesgo.
5. Se crea el protocolo doméstico, para entregar a todos los hogares, que contiene la siguiente información:

Tu casa es o debe ser un lugar seguro, vamos a cuidarla.

Con el apoyo generoso de la empresa privada y de la Alcaldía de San José Villanueva, le estamos entregando un kit de alcohol gel y mascarillas para que lo utilice su familia.

Estamos trabajando para que el COVID-19 o coronavirus no llegue a nuestros hogares.

Por favor siga las siguientes indicaciones:

1. Siempre que salga use mascarilla.
2. Porte bien la mascarilla, cubriendo la nariz y boca.
3. Todo lo que ingrese a su vivienda debe desinfectarse.
4. Lávese las manos con agua y jabón con frecuencia.
5. Cuando toque algo fuera de su vivienda debe desinfectarse.
6. Cuando reciba dinero, cambio o monedas debe desinfectarse.
7. Al salir de su casa, en lugares externos o comerciales, al abrir puertas, prender luces, utilizar cajero, subirse a cualquier vehículo, tomar o recibir cualquier producto, **SIEMPRE** desinfectese con alcohol gel.
8. Siempre que salga lleve su mascarilla y bote de alcohol gel.
9. Evite visitar hospitales y lugares en donde concurre mucha gente.
10. Al tener algún síntoma gripal o fiebre, dolor de garganta, tos, dolores musculares. Dolor de cabeza, pérdida del gusto u olfato, **NO SE AUTOMEDIQUE** y busque inmediatamente ayuda de su médico de confianza o en la unidad de salud. Si tratamos de manera oportuna al coronavirus evitaremos ir al hospital.

6. Se revisa la planificación y se ajusta a diversas condiciones en dónde se implementará la estrategia: aspectos demográficos, división política del territorio, identificación de factores de riesgo, entre otros.
7. Se crea el mapa interactivo digital, en dónde se cargarán cuatro tipos de datos: Sujetos expuestos y lugares seguros (verde); sujetos sospechosos y lugares con riesgo baja (amarillo); sujetos infectados y lugares peligrosos (rojo); sujetos recuperados (azul); y decesos por la enfermedad (negro). Los datos son cargados con dos encuestas a través de una app (limesurvey), una autoaplicable y otra con aplicadores.
8. Se diseña una encuesta con los siguientes campos: 1) Zona de residencia; 2) Sexo; 3) Edad; 4) Condición (expuesto, nexo o sospechoso, infectado, recuperado), para esta verificación se utilizan los síntomas clásicos de la enfermedad (tos seca, cefalea, disnea, pérdida del gusto y olfato, etc.); y 5) Rutina últimos tres días (para identificar lugares de riesgo).
9. La encuesta se aplicará en al menos dos o tres cohortes de seguimiento; siendo la primera la línea de base o punto de partida; y la segunda o tercera de seguimiento y monitoreo.
10. Se crea una base de datos propia con información de las encuestas y de la Unidad de Salud Municipal.
11. Se realizan visitas de campo para verificar: Piezas de la campaña en comercios e ingresos a residenciales, colonias y caseríos; aplicación de medidas de bioseguridad en comercios; se documentan buenas y malas prácticas; algunas malas prácticas se pueden registrar en el mapa interactivo para que los vecinos se alejen o no visiten esos establecimientos comerciales.

12. Se crean y entregan kits de bioseguridad para familias de escasos recursos; cada kit contiene dos mascarillas y dos frascos plásticos de alcohol para desinfectar.
13. Se cuida que la unidad de salud tenga el equipo necesario para el personal médico y de enfermería: Trajes PEP (Profilaxis, Post-Exposición) para médicos y enfermeras, mascarillas seguras N95 y caretas protectoras de ojos.
14. Tras el monitoreo del mapa, se pueden intensificar las medidas educativas e informativas, o si hubiese un brote agresivo de la enfermedad se reporta a las autoridades sanitarias para que intervengan y tomen medidas o sea necesario crear un cerco de cuarentena focal por 15 días.

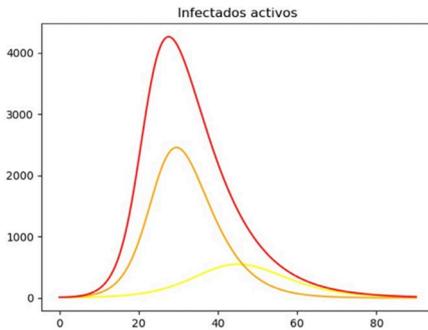
Antes de iniciar este proyecto se aplica un modelo matemático SEIR, en el caso de San José Villanueva, con los siguientes parámetros:

Tabla 10: Parámetros del modelo matemático aplicado.

Parámetro	Valor
Tasa de transmisión	1.14
Período de incubación	5 días
Período infeccioso	16,7 días
Proporción de personas que se recuperan	95%
Tasa de mortalidad	0.05
Condición inicial	Valor
Población susceptible	13576 * 0,75
Población expuesta	2
Población infectada	10
Población aislada	0
Población recuperada	0
Población fallecida	0

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 11: Modelo matemático aplicado.



Si se tarda 2 días en aislar a un infectado desde que presenta síntomas 200 « I »

Si se tarda 5 días en aislar a un infectado desde que presenta síntomas 2000 « I »

Si se tarda 10 días en aislar a un infectado desde que presenta síntomas 4000 « I »

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados del modelo presentan los tres escenarios, con medidas de aislamiento rigurosas (bajo impacto 400 casos); con medidas intermedias y más tiempo de exposición (2,000 casos); y con medidas flexibles o sin respuesta (4,000 casos).

Primeros resultados:

- Encuestas auto-aplicadas: 971
- Encuestas con aplicadores: 1,200.
- Total alcance: 8,432 (de 13,000 habitantes = 100%)

Ver Tabla 11.

Vigilancia epidemiológica

El proyecto incluyó vigilancia epidemiológica con contagiados, sobre todo para verificar rutinas e identificar factores de riesgo y poder intervenir; se realizaron llamadas y se creó un cuadro de análisis para encontrar lugares recurrentes y posibles focos de contagio.

Tabla 11: Resultados CEI.

Inicio del CEI 14 de julio	Evaluación al 20 de julio	Evaluación 15 de agosto
Fase preparatoria Plan de trabajo: Diseño de piezas Muestreo Diseño de mapas y zonas Obtención de materiales Diseño de instrumentos	Infectados (45): 20 de julio= 0.0034	Infectados (1): 15 de agosto= 7.6923
	Sospechosos (582): 20 de julio= 0.0447	Sospechosos (54): 15 de agosto= 0.004
	Decesos (2): 20 de julio= 0.0001	Decesos (0): 15 de agosto= 0.0
	Recuperados (27): 20 de julio=0.0019	Recuperados (9): 15 de agosto=6.923
	Expuestos encuestados (1515) 20 de julio= 0.1165	Expuestos encuestados (673) 15 de agosto= 0.0517

Fuente: Elaboración propia.

Nota: la tasa se calcula por 13,000 habitantes

Tabla 12: Vigilancia epidemiológica.

PX	Edad	Fecha PCR	Lugar 1	Lugar 2	Lugar 3	COMENTARIOS
1	50	13/07/20	N/I	N/I	N/I	No pudo contestar debido a su condición de salud
2	35	13/07/20	N/I	N/I	N/I	No contestó
3	56	14/07/20	Tienda San José Villanueva	N/I	N/I	
4	31	14/07/20	Lugar de trabajo dentro de San José	N/I	N/I	
5	45	14/07/20	Dispensa de Don Juan, Santa Tecla	Alcaldía de San José Villanueva	Comprar tortillas cerca de su residencia	No contestó
6	19	15/07/20	N/I	N/I	N/I	No contestó
7	42	15/07/20	Súper Selectos Zaragoza	Banco en Santa Tecla	N/I	
8	16	15/07/20	N/I	N/I	N/I	Residencia en Soyapango
9	11	15/07/20	N/I	N/I	N/I	No contestó
10	52	15/07/20	Súper Selectos Las Palmas	N/I	N/I	
11	30	15/07/20	Caja de Crédito de Sonsonate, Santa Tecla	Súper mercado cerca del pueblo	N/I	Manifiesta que no hay contagiado

PX	Edad	Fecha PCR	Lugar 1	Lugar 2	Lugar 3	COMENTARIOS
12	46	15/07/20	Tienda cerca de su residencia	N/I	N/I	
13	60	15/07/20	N/I	N/I	N/I	No contestó
14	40	15/07/20	N/I	N/I	N/I	No contestó
15	44	15/07/20	N/I	N/I	N/I	No contestó
16	30	15/07/20	N/I	N/I	N/I	Reside en Lourdes Colón
17	30	15/07/20	Trabajo en Ciudad Merliot	BFA de Santa Tecla	Dispensa Familiar y el Baratillo de Santa Tecla	Guardo la cuarentena por 15 días
18	41	15/07/20	N/I	N/I	N/I	No contestó
19	33	16/07/20	Casa	Alcaldía San José Villanueva	NI	
20	34	16/07/20	Alcaldía San José Villanueva	Tienda	N/I	
21	38	16/07/20	Hospital Rosales	Baratillo Santa Tecla	Nueva Esperanza	
22	36	16/07/20	Trabajo Madre Selva	Baratillo Santa Tecla	Plaza Zaragoza: Súper Selectos y cajero automático	
23	63	16/07/2020	Residencial Miramar	Mercado cerca de la panadería La Tecléña en Santa Tecla	N/I	
24	57	16/07/2020	Alcaldía San José Villanueva	Puesto de verduras cerca del CDI	N/I	
25	25	17/07/20	Ayagualo	N/I	N/I	
26	30	17/07/20	Alcaldía San José Villanueva	Clínica Linares	N/I	
27	40	17/07/20	La visitó su hermana que es odontóloga en Santa Tecla	Supermercado YACON	Tienda cerca de su casa en la Vega	
28	45	17/07/20	Plaza Zaragoza Súper Selectos	Plaza Zaragoza cajero Banco Agrícola		Familia en Zaragoza
29	56	17/07/20	Plaza Zaragoza Súper Selectos	Plaza la Joya: cajero del Banco Agrícola	NI	
30	56	17/07/20	Clínica Municipal reparando tuberías	Alcaldía San José Villanueva		

Fuente: Elaboración propia. N/I: No hay información.

Puede notarse en la Tabla 11 los resultados positivos, y en la Tabla 12 la recurrencia de los contagiados, de sus visitas al municipio de Santa Tecla, particularmente a bancos, tiendas y supermercados. También en supermercados y bancos. Este dato nos permite una primera advertencia de movilidad y podría generarse alertas en éstas empresas o negocios para que intensifiquen la vigilancia de medidas de seguridad.

Vale la pena destacar, en este proceso de vigilancia, que se notó un significativo retraso entre la obtención de resultados de pruebas PCR positivas y la notificación de éstos resultados a los pacientes infectados; este retraso fue de al menos cinco días, un tiempo crucial que genera nuevos contagios sobre todo en pacientes asintomáticos.

Algunas conclusiones y hallazgos

La estrategia CEI buscó que los ciudadanos “informados” y “educados” se alejen de los riesgos, comprendan la dinámica de contagio y utilicen las herramientas domésticas –mascarillas e higiene–, para combatir el virus. Se trata de un proceso de disciplinamiento social y educativo, que no restringe libertades y que no impone, sino convence con información oportuna.

La dimensión local o municipal es clave; en efecto, desde una política sanitaria centralizada y lejana no se logra el impacto del trabajo focalizado por las autoridades edilicias y de salud locales. Asimismo, los mapas generados por la herramienta presentan una visualización real de los riesgos y todos en las comunidades pueden distanciarse y las autoridades pueden informar y educar más conforme a los riesgos identificados.

La estrategia también contempla las visitas a negocios y comercios; allí se revisan y registran, como buenas y malas prácticas, las medidas de bioseguridad, pudiendo aplicar en el mapa de geolocalización un registro tipo semáforo: comercios seguros (verde) comercios riesgosos (amarillo) y comercios peligrosos (rojo); en efecto, en el trabajo de

campo se encuentran propietarios de negocios que utilizan mascarillas, poseen estación del alcohol gel y exigen distanciamiento en las filas de los clientes; mientras que otros no lo cumplen con formalidad y algunos no exigen ninguna medida. Al aparecer estos registros en el mapa, son los mismos ciudadanos que se alejan de comercios peligrosos (rojo) y optan por lugares más seguros para sus compras (verde).

Todo lo anterior es reportado en informes periódicos que se hacen llegar por redes sociales (Facebook, WhatsApp, etcétera); estos reportes llevan recomendaciones, hallazgos, datos, indicaciones, entre otros aspectos. La periodicidad en tiempos de pandemia es semanal o cuando lo amerite algún hecho inusual o crítico.

Un hallazgo cultural importante en el marco del COVID19: a los policías, agentes del CAM y jóvenes del sexo masculino no les gusta utilizar mascarillas blancas sino negras, y no hay en el mercado mascarillas seguras o N95 de color negro. La solución fue sugerir que cubran la mascarilla segura con la de tela negra.

La sinergia es fundamental; el proyecto contó con importantes donativos de la empresa privada en función de las necesidades concretas; esto permitió ahorrar una considerable cantidad de recursos.

El trabajo estadístico con la Unidad de Salud es clave para el control de datos, la medición y seguimiento; sobre todo para verificar el impacto de la campaña educativa e informativa y observar si hay o no control epidemiológico.

Finalmente, el apoyo de los medios de comunicación ayuda a amplificar la estrategia y a dar a conocer detalles sobre el modelo, avances y resultados. A esto se suma la campaña de comunicación del municipio por redes sociales, publicando videos cortos, mensajes y otros recursos visuales que ayudan a informar y educar.

Anexos visuales del CEI

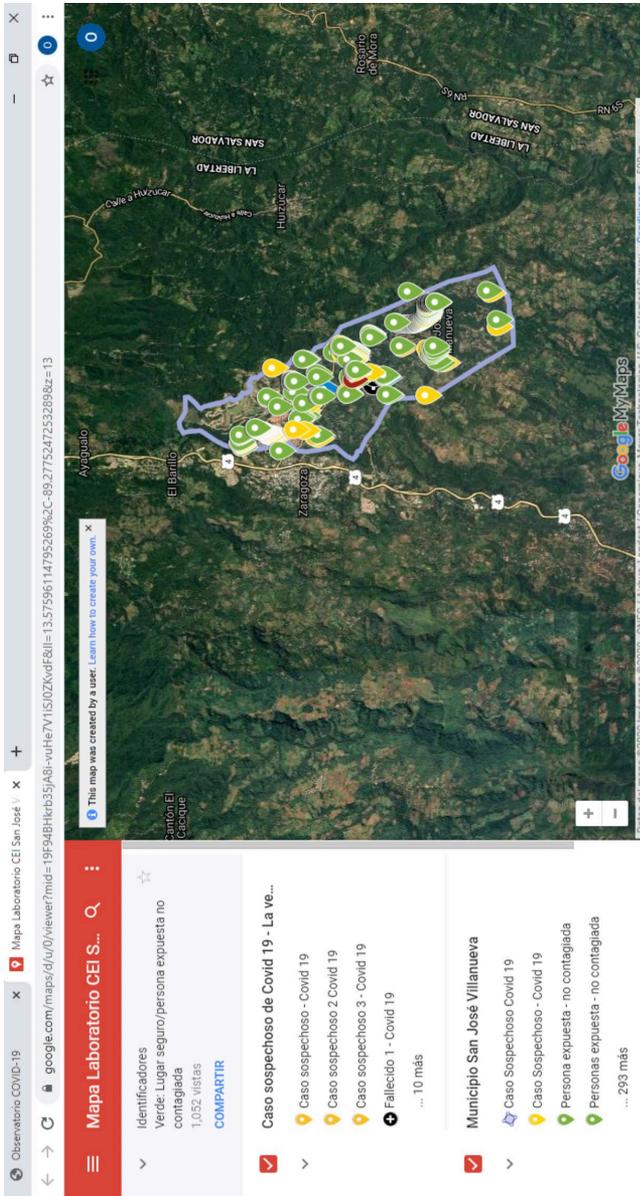
Gráfico 12: Panel de control CEI.

Centro Epidemiológico Inteligente (CEI) en San José Villanueva



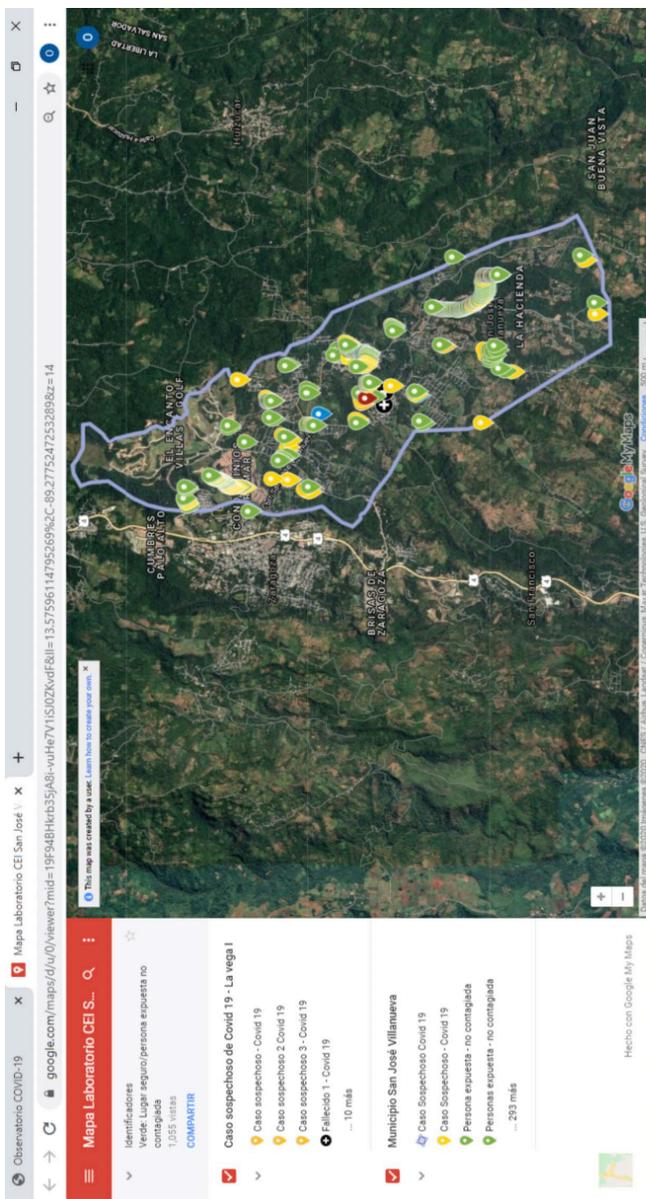
Fuente: Elaboración propia.

Imagen 1: Mapa general CEI



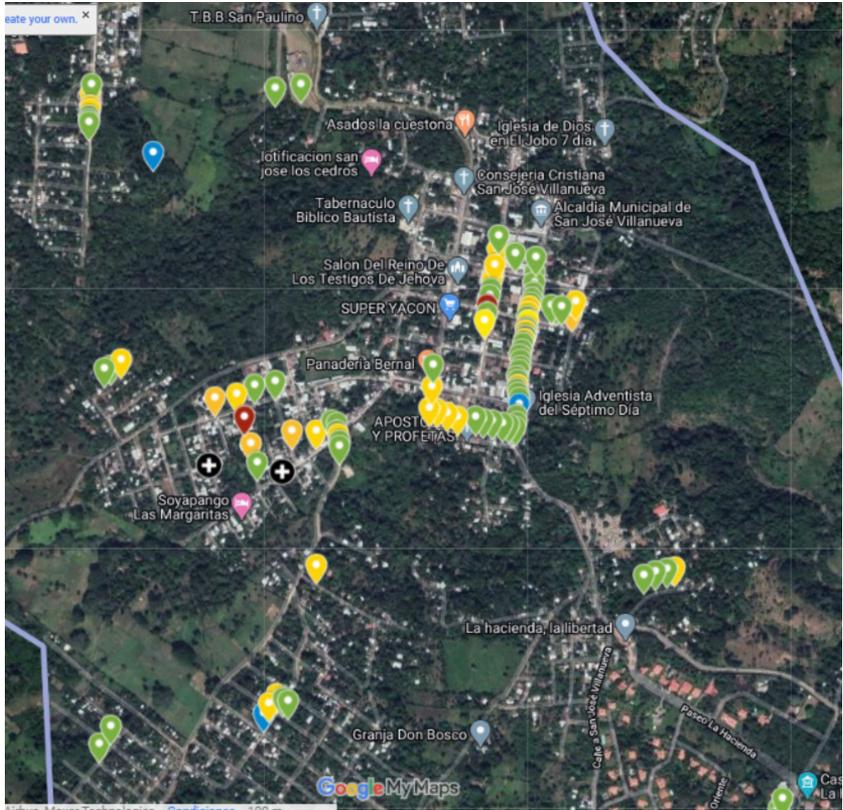
Fuente: Google Maps.

Imagen 2: Acercamiento del mapa.



Fuente: Google Maps.

Imagen 3: Detalle de la zona.



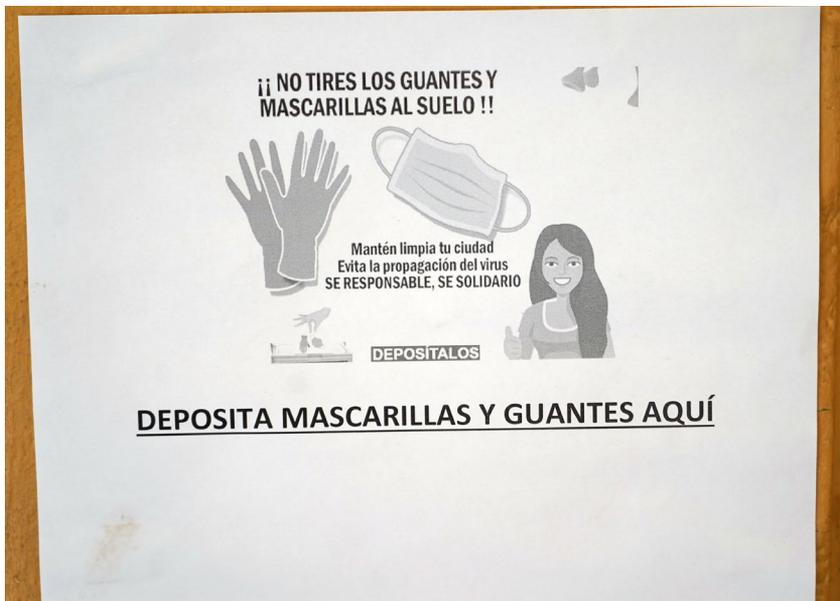
Fuente: Google Maps.

Imagen 4: Mapa de contagiados.



Fuente: Google Maps.

Galería de fotografías: Buenas prácticas realizadas por los habitantes de San José Villanueva ante el COVID-19



Cercos Epidemiológicos Inteligentes:
Un enfoque educativo, informativo y tecnológico





Fotógrafo: Raúl Benítez.

Galería de imágenes: Material educativo distribuido en el municipio

TÚ DECIDES

PELIGROSO

RIESGOSO

SIN PELIGRO

SAN JOSÉ SVID

**“ Usa la mascarilla
Lávate las manos
Guarda distancia social
”**

UFG
UNIVERSIDAD FRANCISCO GAYOLA

**Cerco Epidemiológico Inteligente:
Educación, comunicación y tecnologías.**

UFG
UNIVERSIDAD FRANCISCO GAYOLA

CEI - SAN JOSÉ VILLANUEVA



**USA
LA MASCARILLA**



**LÁVATE
LAS MANOS**



**GUARDA
DISTANCIA SOCIAL**

**Cerco Epidemiológico Inteligente:
Educación, comunicación y tecnologías.**



**BIENVENIDO
ESTE ES UN LUGAR SEGURO**



PARA ATENDERLO:



USE MASCARILLA



APLICARSE ALCOHOL GEL



HACER FILA DE FORMA DISTANCIADA

**Cerco Epidemiológico Inteligente:
Educación, comunicación y tecnologías.**





Protocolo doméstico anti COVID19

Tu casa es o debe ser un lugar seguro, vamos a cuidarla.

Con el apoyo generoso de la empresa privada y de la Alcaldía de San José Villanueva, le estamos entregando un kit de alcohol gel y mascarillas para que lo utilice tu familia. Estamos trabajando para que el COVID19 o coronavirus no llegue a nuestros hogares.

Por favor sigue las siguientes indicaciones:

- Siempre que salgas usa mascarilla.
- Porta bien la mascarilla, cubriendo la nariz y boca.
- Todo lo que ingrese a tu vivienda debe desinfectarse.
- Lávate las manos con agua y jabón con frecuencia.
- Cuando toques algo fuera de tu vivienda debe desinfectarse.
- Cuando recibas dinero, cambio o monedas debes desinfectarte las manos.
- Al salir de tu casa, en lugares externos o comerciales, al abrir puertas, prender luces, utilizar cajero, subirse a cualquier vehículo, tomar o recibir cualquier producto, SIEMPRE desinfectate con alcohol gel.
- Siempre que salgas lleva tu mascarilla y bote de alcohol gel.
- Evita reuniones sociales, fiesta, piñatas, entre otras.
- Evita visitar hospitales y lugares en donde concurre mucha gente.
- Al tener algún síntoma gripal o fiebre, dolor de garganta, tos, dolores musculares, dolor de cabeza, pérdida del gusto u olfato, **NO TE AUTOMEDIQUES** y busca inmediatamente ayuda de tu médico de confianza o en la Unidad de Salud. Si tratamos de manera oportuna al coronavirus evitaremos ir al hospital.

Con tu celular o computadora visita el mapa de riesgo de nuestro municipio:
<https://observatoriocovid19.sv/laboratorioCEIantonjoseVillanueva.html>

Cerco Epidemiológico Inteligente:
Educación, comunicación y tecnologías.



Diseñador: Gustavo Menjívar.

Bibliografía

1. Last JM. A dictionary of epidemiology. United Kingdom: Oxford University Press; 1983.
2. Bortman M. Elaboración de corredores o canales endémicos mediante planillas de cálculo. Revista Panamericana de Salud Pública [Internet]. 1999 [citado 28 de junio de 2020]; 5 (1): 1-8. Disponible en: <https://www.scielo.org/article/rpsp/1999.v5n1/1-8/>
3. Organización Panamericana de la Salud (OPS), Organización Mundial de la Salud (OMS). Módulo de principios de epidemiología para el control de enfermedades (MOPECE); unidad 1: Presentación y marco conceptual [Internet]. Brasil: All Type Assessoría Editorial Ltda; 2002 [citado 01 de julio de 2020]. Disponible en: https://www.paho.org/bra/index.php?option=com_docman&view=download&alias=1269-modulos-principios-epidemiologia-para-control-enfermedades-mopece-unidad-1-presentacion-marco-conceptual-9&category_slug=informacao-e-analise-saude-096&Itemid=965
4. Aula 4 – Epidemiología descriptiva [Internet]. Universidade de São Paulo, e-Disciplinas. Sistema de Apoio às Disciplinas. 2020 [citado 03 de junio de 2020]. Disponible en: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4621604/mod_resource/content/0/Aula%204%20-%20Descritiva.pptx.pdf
5. Gordis L. Epidemiology. United States: Saunders; 2014.
6. Rothman K, Greenland S, Lash T. Modern epidemiology, 3er. Edition. United States: LWW; 2012.
7. Griffiths A, Miller J, Suzuki D, Lewontin R, Gelbart W. Genética, 7ed. México: Mcgraw Hill Interamericana; 2002.

8. Vigilancia epidemiológica [Internet]. Centers for Disease Control and Prevention. 2020 [citado 03 de julio de 2020]. Disponible en: https://wwwnc.cdc.gov/eid/article/26/9/20-1798_article#tnF1
9. Vigilancia epidemiológica en salud pública: definición y tipos [Internet]. Universidad Internacional de Valencia. 2020 [citado 20 de Julio de 2020]. Disponible en: <https://www.universidadviu.com/vigilancia-epidemiologica-en-salud-publica-definicion-y-tipos/>
10. García de la Torre G, Linares N, Lutzow M, Valdés J. Capítulo 14: Vigilancia epidemiológica. En: Epidemiología y estadística en salud pública. [Internet]. México: Mcgraw Hill Interamericana; 2012. Disponible en: <https://accessmedicina.mhmedical.com/content.aspx?bookid=1464§ionid=101050673>
11. Segura del Pozo Javier. Epidemiología de campo y epidemiología social. Gac Sanit [Internet]. 2006 [citado 10 de junio de 2020]; 20(2): 153-158. Disponible en: http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0213-91112006000200011&lng=es.
12. Rodríguez Barranco M. La estadística en los estudios epidemiológicos. [Internet]. Máster oficial universitario, Universidad de Granada. 2020 [citado 01 de julio de 2020]. Disponible en: https://masteres.ugr.es/moea/pages/curso201314/resumen_miguel_rodriguez_barranco
13. Bullón L. La estadística en la investigación epidemiológica: El estudio de casos y controles. Anales de la Facultad de Medicina, Universidad Nacional Mayor de San Marcos [Internet]. 2002 [citado 05 de julio de 2020]; 63 (2). Disponible en: https://sisbib.unmsm.edu.pe/bvrevistas/anales/v63_n2/estadistica_inv.htm

14. Ibañez Martí C. El análisis estadístico de los datos epidemiológicos [Internet]. Madrid salud pública y algo más Blog. 2017 [citado 01 de julio de 2020]. Disponible en: http://www.madrimasd.org/blogs/salud_publica/2007/10/14/76302
15. Kotz S, Lloyd Johnson N, Read C. Encyclopedia of statistical science, Vol 8. United States: John Wiley & Sons; 1988.
16. Aguilar Rebolledo F, Juárez Ocaña S, Mejía J, Zanabria M. Conceptos básicos de epidemiología y estadística. Apreciación de un neurólogo. Rev Med IMSS [Internet]. 2003 [citado 17 de julio de 2020]; 41 (5): 419-427. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/pdfs/imss/im-2003/im035i.pdf>
17. Epidemic curves [Internet]. Descriptive epidemiology, Boston University School of Public Health. 2017 [citado 01 de mayo de 2020]. Disponible en: https://sphweb.bumc.bu.edu/otlt/MPH-Modules/EP/EP713_DescriptiveEpi/EP713_DescriptiveEpi3.html
18. Casals M, Guzmán K, Caylà J. Modelos matemáticos utilizados en el estudio de las enfermedades transmisibles. Rev. Esp. Salud Pública [Internet]. 2009 [citado 20 de abril de 2020]; 83(5): 689-695. Disponible en: http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1135-57272009000500010&lng=es
19. Picardo O, Cuéllar-Marcheli H, Cladellas J, Humberstone J, Luna O, Vidrí R. El Salvador y el Covid 19: Modelos matemáticos, datos y perspectivas. [Internet]. 1 Ed. El Salvador: UFG Editores; 2020. [citado 11 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://observatoriocovid19.sv/ebook.html>
20. Montesinos-López O, Hernández-Suárez C. Modelos matemáticos para enfermedades infecciosas. Rev. Salud Pública Mex [Internet].

- 2007 [citado 11 de mayo de 2020]; 49(3): 218-226. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/287490044> Modelos matematicos para enfermedades infecciosas
21. Robles J, Qureshi S, Stephen S, Wilson S, Burden C, Taylor J. Efficient experimental design and analysis strategies for the detection of differential expression using RNA-Sequencing. BMC Genomics [Internet]. 2012 [citado 11 de julio de 2020]; 13 (484). Disponible en: <https://doi.org/10.1186/1471-2164-13-484>
 22. Ridenhour B, Kowalik J, Shay D. El número reproductivo básico (Ro): consideraciones para su aplicación en la salud pública. Am J Public Health [Internet]. 2018 [citado 11 de mayo de 2020]; 18 (Suppl 6): S455-S465. Disponible en: <https://doi.org/10.2105/AJPH.2013.301704s>
 23. Anderson R, Fraser C, Ghani A, Donnelly C, Riley S, Ferguson N, et al. Epidemiology, transmission dynamics and control of SARS: the 2002-2003 epidemic. Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci. [Internet]. 2004 [citado 20 de junio de 2020]; 359 (1447): 1091-1105. Disponible en: <https://doi.org/10.1098/rstb.2004.1490>
 24. Dong E, Du H, Gardner L. An interactive web-based dashboard to track COVID-19 in real time. Lancet Infect Dis. [Internet]. 2020 [citado 20 de julio de 2020]; 20 (5): 533-534. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(20\)30120-1](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(20)30120-1)
 25. Liu Y, Yan L-M, Wan L, Xiang T-X, Le A, Liu J-M, et al. Viral dynamics in mild and severe cases of COVID-19. Lancet Infect Dis. [Internet]. 2020 [citado 11 de mayo de 2020]; 20 (6): 656-657. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(20\)30232-2](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(20)30232-2)
 26. Zhou F, Yu T, Du R, Fan G, Liu Y, Liu Z, et al. Clinical course and risk factors for mortality of adult inpatients with COVID-19 in Wuhan,

- China: a retrospective cohort study. *The Lancet* [Internet]. 2020 [citado 11 de mayo de 2020]; 395 (10229): 1054-1062. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30566-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30566-3)
27. Guan W, Ni Z, Hu Y, Liang W, Ou C, He J, et al. Clinical characteristics of coronavirus disease 2019 in China. *N Engl J Med* [Internet]. 2020 [citado 15 de mayo de 2020]; 382:1708-1720. Disponible en: <https://www.nejm.org/doi/full/10.1056/NEJMoa2002032>
28. Organización Mundial de la Salud (OMS). Preparación y respuesta ante una pandemia de influenza. [Internet]. Ginebra: Ediciones de la OMS; 2009 [citado 01 de junio de 2020]. Disponible en: https://www.who.int/csr/swine_flu/Preparacion_Pand_ESP.pdf?ua=1
29. Pueyo T. Coronavirus: The hammer and the dance. [Internet]. Medium. 2020 [citado 09 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://medium.com/@tomaspueyo/coronavirus-the-hammer-and-the-dance-be9337092b56>
30. Hernández C. ¡Qué pequeño es el mundo! [vídeo en Internet]. YouTube. 11 de marzo de 2020. [citado 05 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=MHiVULJYaMI&feature=youtu.be>
31. Liu J, Huang J, Xiang D. Large SARS-CoV-2 outbreak caused by asymptomatic traveler, China. *Emerg Infect Dis*. [Internet]. 2020 [citado 09 de mayo de 2020]; 26 (9). Disponible en: <https://doi.org/10.3201/eid2609.201798>
32. Smith J. 'I Promise. I Promise.' You can't cheat a pandemic. [Internet]. WBUR. 2020 [citado 20 de julio de 2020]. Disponible en: <https://www.wbur.org/cognoscenti/2020/04/03/hold-the-line-coronavirus-jonathan-smith>

33. Dirección General de Estadística y Censos (DIGESTYC). Encuesta de hogares de propósitos múltiples 2018. [Internet]. DIGESTYC. 2020 [citado 25 de julio de 2020]. Disponible en: <http://www.digestyc.gob.sv/index.php/temas/des/ehpm/publicaciones-ehpm.html>
34. López D. Los conceptos de salud y enfermedad en el oriente medio antiguo, en el mundo griego y en la Biblia. El Salvador: Universidad Dr. José Matías Delgado; 2014.
35. Krieger N. A glossary for social epidemiology. J Epidemiol Community Health. [Internet]. 2001 [citado 01 de junio de 2020]; 55 (10): 693-700. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1136/jech.55.10.693>

Bibliografía complementaria

Bhopal R. Concepts of epidemiology. Integrating the ideas, theories, principles and methods of epidemiology. 2nd edition. New York: Oxford University Press; 2008.

Clayton D, Hills M. Statistical models in epidemiology. New York: Oxford University Press; 1993.

Morabia A, editor. A history of epidemiologic. Methods and concepts. 1st corrected ed. Boston: Birkhäuser Verlag; 2004

Olsen J, Christensen K, Murray J, Ekbohm A. An introduction to epidemiology for health professionals. New York: Springer Science+Business Media; 2010.

Porta M, editor. A dictionary of epidemiology. 6ª edición. Nueva York: Oxford University Press; 2014.

Robertson LS. Injury epidemiology. 4th edition. United States: Lulu.com; 2015.

Szklo M, Nieto FJ. Epidemiology: beyond the basics. United States: Aspen Publishers; 2002.

"Hay tres formas de luchar contra una epidemia o pandemia: 1) El largo camino de las vacunas y sus pruebas; 2) Esperar que se agote la enfermedad, con ocurrencias políticas, mientras los pacientes llegan desahuciados a los hospitales; y 3) El trabajo local de 'buscar' a los contagiados, aislarlos con información, estadísticas y ciencia.

Éste último enfoque representa la gran tarea del Epidemiólogo"

COLEGIO MÉDICO DE EL SALVADOR

MISIÓN

Fomentar una excelente práctica médica, promoviendo el bienestar integral y la superación profesional de sus asociados, como elementos básicos para brindar a toda la población, servicios de salud fundamentados en la ciencia, la ética y los valores humanos.

VISIÓN

Integrar a la mayoría de médicos de El Salvador en un gremio unido y solidario que participe críticamente en las políticas nacionales de salud y regule el ejercicio de la profesión médica, a través de la colegiación profesional.

UNIVERSIDAD FRANCISCO GAVIDIA

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.

ISBN: