



MAR CARIBE

EDITORIAL

Depósito Legal Nro.: 202310600

+51 932 604 538

contacto@editorialmarcaribe.es

MODELOS DINÁMICOS DIFERENCIALES APLICADOS EN SALUD PÚBLICA



CÉSAR ANGEL DURAND GONZALES
ARCELIA OLGA ROJAS SALAZAR
JOSEFINA ARIMATEA GARCÍA CRUZ
YESMI KATIA ORTEGA ROJAS
ANA MARÍA YAMUNAQUE MORALES
RUBEN DARIO MENDOZA ARENAS

ISBN: 978-612-5124-22-7



9 786125 124227

Modelos dinámicos diferenciales aplicados en salud pública

César Angel Durand Gonzales, Arcelia Olga Rojas Salazar, Josefina Arimatea García Cruz,
Yesmi Katia Ortega Rojas, Ana María Yamunaque Morales, Ruben Dario Mendoza Arenas

© César Angel Durand Gonzales, Arcelia Olga Rojas Salazar, Josefina Arimatea García Cruz,
Yesmi Katia Ortega Rojas, Ana María Yamunaque Morales, Ruben Dario Mendoza Arenas, 2023

Jefe de arte: Yelitza Sánchez

Diseño de cubierta: Yelitza Sánchez

Ilustraciones: Ysaelen Odor

Editado por: Editorial Mar Caribe de Josefrank Pernaletе Lugo

Jr. Leoncio Prado, 1355 – Magdalena del Mar, Lima-Perú. RUC: 15605646601

Libro electrónico disponible en http://editorialmarcaribe.es/?page_id=1898

Primera edición – octubre 2023

Formato: electrónico

ISBN: 978-612-5124-22-7

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N°: 202310600

Modelos dinámicos diferenciales aplicados en salud pública

César Angel Durand Gonzales - Arcelia Olga Rojas Salazar - Josefina Arimatea
García Cruz - Yesmi Katia Ortega Rojas - Ana María Yamunaque Morales - Ruben
Dario Mendoza Arenas

República de Perú, Año 2023

Índice

Prólogo	7
Capítulo I.....	9
Los Sistemas de Salud Pública en América Latina	9
1.1 Las Lecciones del Pasado	9
1.2 La Necesidad de Mejorar la Preparación en Futuras Pandemias	19
1.3 Camino Hacia Sistemas de Salud Resilientes.....	22
1.4 Líneas de Acción Estratégicas.....	28
1.4.1 Línea de Acción Estratégica 1.....	28
1.4.2 Línea de Acción Estratégica 2.....	29
1.4.3 Línea de Acción Estratégica 3.....	30
1.4.4 Línea de Acción Estratégica 4.....	31
Capítulo II	34
Hacia Nuevos Esquemas de Salud Pública	34
2.1 Nuevos Tiempos Para el Sistema de Salud Pública	34
2.2 Las Nuevas Funciones Esenciales de la Salud Pública.....	40
2.2.1 <i>Monitorear y Evaluar: la Salud, el Bienestar, la Equidad, Los Determinantes Sociales, la Eficacia y el Impacto de los Sistemas de Salud (FESP N°1)</i>	40
2.2.2 <i>Vigilar la Salud Pública: Gestión y Control de Riesgos y Emergencias Sanitarias (FESP N°2)</i>	44
2.2.3 <i>Promocionar y Administrar Esfuerzos Científicos y Educativos en el Campo de la Salud (FESP N° 3)</i>	47
2.2.4 <i>Formular, Implementar y Promocionar la Legislación que Salvaguarde la Salud Pública (FESP N° 4)</i>	49
2.2.5 <i>Participar, Mobilizar Socialmente e Incluir de Actores Estratégicos (FESP N° 5)</i>	51
2.2.6 <i>Desarrollar Recursos Humanos Relacionados Con La Salud (FESP N° 6)</i>	52
2.2.7 <i>Garantizar el Acceso Razonable y el Uso de Otras Tecnologías Médicas Cruciales: Medicamentos de Alta Calidad, Seguros y Eficaces (FESP N° 7)</i>	55
2.2.8 <i>Financiar la Salud de Forma Efectiva y Justa (FESP N° 8)</i>	57
2.2.9 <i>Accesar a Servicios Sanitarios Integrales y de Alta Calidad en Igualdad de Condiciones (FESP N° 9)</i>	57
2.2.10 <i>Accesar de Forma Justa a Intervenciones Diseñadas Para Mejorar la Salud, Reducir Los Factores de Riesgo, Promover Comportamientos Saludables (FESP N° 10)</i>	59

2.2.11 <i>Gestionar y Promover Los Determinantes Sociales de Las Intervenciones de Salud (FESP N° 11)</i>	60
Capítulo III.....	62
Modelos Dinámicos en Salud Pública.....	62
3.1 La Dinámica de Sistemas	62
3.2 Los Sistemas Dinámicos y su Representación Mediante Diagramas	64
3.2.1 <i>Diagrama de Influencias</i>	64
3.2.2 <i>Diagrama de Forrester</i>	66
3.3 Estructuras Dinámicas Para Modelos de Salud Pública	68
3.3.1 <i>La Retroalimentación</i>	68
3.3.2 <i>Bucle de Retroalimentación Positiva</i>	70
3.3.3 <i>Bucle de Retroalimentación Negativa</i>	72
3.3.4 <i>La Descripción de Retraso</i>	74
3.3.5 <i>El Modelo de Población Distribuida</i>	75
3.3.6 <i>La Frecuencia</i>	78
3.3.7 <i>El Modelo de Corte Cerrada</i>	82
3.3.8 <i>Medida de Frecuencia (Modelo Ampliado)</i>	84
3.3.9 <i>Medida de Frecuencia (Tasa de Incidencia)</i>	87
3.3.10 <i>Medida de Frecuencia (Incidencia Acumulada)</i>	88
3.3.11 <i>El Método de Kaplan Meier</i>	90
3.3.12 <i>La Medida de Prevalencia</i>	91
Capítulo IV.....	92
Modelos Asociados a Enfermedades Transmisibles	92
4.1 El Diagrama de Forrester Enfermedades Transmisibles.....	96
4.2 El Modelo SLIR	98
4.3 El Modelo SIR	102
4.4 El Modelo SI.....	103
4.5 Las Epidemias y las Endemias	104
4.6 Epidemia de Alcance Total.....	104
4.7 Epidemia de Alcance Parcial	105
4.8 Aplicación del Modelo SLIR Con Medidas de Frecuencias.....	106

4.9 Modelos de Prevención de Enfermedades Transmisibles	108
4.9.1 Medidas de Prevención Primaria de Casos Incidentes	108
4.9.2 Los Programas de Vacunación	110
4.9.3 Medidas de Prevención Secundaria	113
4.9.4 Medidas de Prevención Terciaria	115
4.9.5 El Modelo SIR de Varias Poblaciones	115
4.9.6 Los Medios de contactos	119
4.9.7 Modelo de Vectores de Enfermedades Transmisibles	122
4.9.8 Modelo SIR Interacción Con Modelo SI de Vectores	123
Conclusiones	129
Referencias bibliográficas	131

Prólogo

La actual crisis sistémica global revela que las sociedades globalizadas no están preparadas para afrontar una pandemia. Más allá de la dramática pérdida de vidas humanas, la pandemia de COVID-19 ha desencadenado perturbaciones generalizadas en los ámbitos sanitario, social, sistemas económicos, ambientales y de gobernanza en muchos países en todo el mundo. La resiliencia describe las capacidades de los sistemas naturales y humanos para prevenir, Reaccionar y recuperarse de las crisis.

Resiliencia social a la actual pandemia de COVID-19 se relaciona con la capacidad de las sociedades para mantener sus funciones básicas, minimizar el impacto de la pandemia y otros efectos sociales. Aprovechando la evidencia emergente sobre resiliencia en los ámbitos sanitario, social, económico, ambiental y sistemas de gobernanza, esta obra muestra un enfoque para reflexionar de los modelos de prevención de enfermedades infecto-contagiosas, la comprensión de este tema proporciona la base para una integración de construir resiliencia social ante las situaciones actuales y de futuras pandemias.

Debido al enorme impacto y la naturaleza multifacética y multisectorial de la crisis sanitaria mundial relacionada con la pandemia de COVID-19, su resolución requiere el fortalecimiento de todas las partes involucradas; el sector de la salud es el que se destaca con más fuerza, sin embargo, también somos conscientes de la importancia crítica de brindar acceso a servicios básicos como alimentos, educación, agua potable e instalaciones sanitarias, así como de centrarnos en la igualdad de género, la lucha contra la violencia de género, el crecimiento económico y la asistencia a las mujeres. Instituciones cuya fragilidad frente a la crisis puede poner en peligro la estabilidad política de los países.

Abordar el debate sobre la salud global desde la perspectiva de la institucionalidad de la gobernanza sanitaria en todos los niveles, las alianzas de múltiples partes interesadas y los enfoques intersectoriales es extraer lecciones de la respuesta a esta crisis, por su influencia y alcance a escala global. Como recoge la Agenda 2030 y sus Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), lo multidimensional requiere una reorientación de todos los esfuerzos de cooperación para asegurar una respuesta a la altura del desafío global, sin dejar a nadie atrás.

Con pocos recursos materiales y humanos disponibles para detectar, diagnosticar e informar a la población, la pandemia expuso la fragilidad de muchos sistemas de salud desarticulados en América Latina y el Caribe. Además de los problemas sociales y estructurales, la falta de especialistas o los desafíos que enfrentan las poblaciones más vulnerables para acceder a los servicios de salud, faltan suministros médicos y recursos para la detección de casos.

Las pandemias no podrán detenerse a nivel global mientras exista una nación en el mundo que sea incapaz de combatirla y derrotarla de manera efectiva. Como resultado,

ahora más que nunca se necesita una cooperación internacional fortalecida para brindar una respuesta, especialmente a la luz del hecho de que la colaboración y la visión regionales serán cruciales para encontrar soluciones para atender y abordar el tema. Los avances científicos, tecnológicos e innovadores presentan una oportunidad en este sentido.

Sabemos que estamos frente a un escenario nuevo e inesperado, y que el aprendizaje de las respuestas de los diferentes países, regiones y de las comunidades es fundamental para comprender cómo se pueden adaptar de manera efectiva los sistemas de salud a los próximos retos y desafíos que están surgiendo. Consideramos que la mirada debe de enfocarse en las lecciones que día a día se van construyendo, con la idea de un aprendizaje colectivo y con el fin común de encontrar las mejores respuestas a las futuras pandemias y sus múltiples consecuencias.

Capítulo I

Los Sistemas de Salud Pública en América Latina

1.1 Las Lecciones del Pasado

Las referencias a otras epidemias tardaron en aparecer desde el inicio de la pandemia del COVID 19, el pasado ha estado muy presente en las reflexiones del presente, ya sea para llamar la atención sobre la novedad actual, o por el contrario, para resaltar repeticiones o continuidades históricas. Y no es para menos, ya que la incertidumbre y la angustia del presente nos han colocado en una situación especial, proclives a buscar lecciones tanto en los logros como en los errores del pasado.

Desde que la pandemia de gripe de 1918, que fue causada por un agente viral, con registros de una alta tasa de mortalidad, se convierte en una condición similar a la ocurrida recientemente, lo más común ha sido hacer referencia a lo sucedido durante ese brote. Sin embargo, también surgen repetidas referencias a otras epidemias importantes, que van desde las más recientes como el Ébola, el MERS, el SARS y el Zika; hasta las más antiguas como la peste de Justiniano y la peste de Atenas; aunque también se menciona la gripe H1N1, el SIDA, la Poliomielitis, la Viruela y la Peste Negra.

Todas estas epidemias se han utilizado como punto de contraste para ayudar a comprender la situación actual y levantar el ánimo de una raza humana atónita, sacando a la luz el hecho de que, a pesar de las epidemias, hemos sobrevivido a lo largo de la historia. Atravesó el difícil terreno de la existencia y logró avanzar. Por supuesto, la historia se ha utilizado para encontrar más claridad y también lecciones prácticas más inmediatas.

Ante esto, es importante preguntarnos si podemos aprender algo de epidemias anteriores, pero cabe señalar que, hasta hace poco, no todos sostenían esta opinión, ya que muchas personas tenían la actitud arrogante de mirar hacia atrás desde los éxitos del presente y sólo reconocer errores y falsedades en el pasado; la actual pandemia calmó esta arrogancia maliciosa porque nos enfrentamos a una situación terrible que no puede resolverse ni siquiera con todos nuestros impresionantes recursos científicos y tecnológicos. Por supuesto, esta humildad emergente puede ser el resultado de las preocupaciones del presente, ya que, como señaló el renombrado historiador de la medicina y autoridad en el análisis de enfermedades históricas, Charles Rosenberg, las epidemias suelen seguir un ciclo que comienza con la negación, avanza por la resignación, y luego se olvida.

En cualquier caso, es bastante significativo que la historia recupere ciertos campos, como señaló David S. Jones, profesor de la Facultad de Medicina de Harvard, el trabajo de los historiadores tiene mucho que ofrecer en medio de la crisis del COVID-19. Este es el caso porque muchos historiadores médicos, han dedicado una parte importante de sus vidas a comprender la complejidad de la experiencia epidémica en la historia, en contraste con

muchos médicos, profesionales de la salud y científicos modernos que habían dejado de lado su preocupación por las enfermedades infecciosas y las principales enfermedades relacionadas con las epidemias, asumiendo que eran flagelos del pasado que carecían de mucho misterio o atractivo para el presente.

Gracias a esta perspectiva histórica, ahora es posible reconocer la estrecha relación entre los fenómenos biológicos y sociales, enfatizando tanto la importancia de las causas socio-ambientales de las epidemias, como sus importantes ramificaciones sociales. Los profesionales expertos de esta perspectiva, los investigadores de diversos campos, incluida la virología, la epidemiología y la salud pública; no son los únicos que pueden utilizar la perspectiva histórica; es posible mencionar algunos, como Sal Franco, Jaime Breilh y Michael Oldstone.

Referente al aprendizaje que se puede obtener del análisis de experiencias epidémicas anteriores, es importante señalar dos enfoques distintos pero complementarios del problema. Uno de ellos, el pasado puede usarse como guía para comprender el presente al resaltar amplias generalizaciones que ayudan a una comprensión más profunda y completa de todos los fenómenos epidémicos. El otro, es posible un examen más profundo de los hechos que rodean la epidemia y de las medidas adoptadas, dada la información más reciente, para desarrollar modos de abordaje más eficaces y propuestas adecuadas de actuación ante las pandemias y a las epidemias que sin duda se producirán en el futuro.

Este doble enfoque del estudio debe estar presente, que analizará lo ocurrido durante algunas epidemias anteriores, en beneficio de la experiencia global sin descontar nuestra propia historia, combinando una perspectiva global con ejemplos locales. Teniendo en cuenta lo exhaustivamente que se ha investigado tanto a nivel internacional como nacional, la epidemia de gripe de 1918 sin duda desempeñará un papel importante. El estudio de otras epidemias ha permitido establecer aprendizajes más generales, por lo que este caso no será el único que se discuta.

Si bien algunos sostienen que no existe ninguna lección aprendida de las pandemias, la mayoría de quienes estudian la historia de las epidemias coinciden en que hay varias lecciones que se pueden aprender del pasado. Si se puede combatir esta propensión a pasarlos por alto, estos tienen un amplio alcance y son de gran interés. Es importante señalar que las epidemias tienen un impacto significativo en la vida de las personas y suponen una gran presión para las sociedades. Y es importante no subestimar esto. En cualquier epidemia, la confusión y el desorden social son comunes; sin embargo, el alcance de estas manifestaciones depende de la gravedad de la epidemia, los recursos disponibles para abordarla y el entorno sociopolítico en el que se manifiestan. Por supuesto, los procesos históricos presentados en el momento del surgimiento del fenómeno epidémico están estrechamente relacionados con el impacto del fenómeno.

Se afirmó que la plaga de Justiniano, que azotó al Imperio Bizantino en el siglo VI d.C., fue uno de los acontecimientos claves, y que la plaga de Atenas, que azotó a la jugó un papel decisivo e importante en la caída del poder de Atenas y la victoria de Esparta, que provocó el fin del mundo antiguo y el inicio de la llamada Edad Media, y la conocida epidemia conocida como Peste Negra ha sido considerada como un factor clave en el fin de la sociedad medieval y el inicio de la era moderna.

Además, se ha sugerido que las pandemias de viruela e influenza fueron cruciales para explicar cómo unos pocos soldados europeos lograron superar la resistencia nativa durante la conquista del continente americano. Aunque existe una tendencia actual a ser cautelosos sobre el papel que un solo factor puede desempeñar en cambios históricos significativos, existe un acuerdo general en que las epidemias han jugado un papel importante en la historia de la humanidad, es necesario mencionar que algunas de estas interpretaciones han dado lugar a importantes controversias.

Es interesante observar que en el caso de la gripe de 1918, algunos investigadores enfatizaron su importancia como factor que aceleró el fin de la Primera Guerra Mundial y la firma de los tratados de paz de Versalles, mientras que otros han resaltado su importancia tanto en la convocatoria de los Estados como en la reorganización política de algunos territorios. Por ejemplo, Victoria Blacik demuestra cómo la pandemia de gripe proporcionó un foro para que el discurso expresara la insatisfacción con el funcionamiento del Estado moderno, lo que a su vez contribuyó a la inestabilidad del sistema político de la Restauración en la España temprana del siglo XXI.

Christiane Cruz de Souza, demostró cómo la pandemia de gripe se introdujo en una situación social y política conflictiva en Salvador de Bahía, Brasil, y cómo fue utilizada por los diversos grupos que lucharon por el control del sistema político del estado. La situación provocada por la epidemia sirvió para criticar la crisis financiera del Estado, la prevalencia del nepotismo en el sector público y las deficiencias del sistema público de salud. Acontecimientos similares ocurrieron también en Colombia, donde el brote se utilizó como justificación para criticar duramente al gobierno del país por su extraordinaria debilidad. De hecho, se afirma que la Oficina Central de Higiene también fue víctima de la epidemia debido a su mala gestión de la situación.

Está demostrado que la conciencia social suscitada por la epidemia en Bogotá permitió el inicio de una serie de cambios significativos que resultaron en la construcción de barrios populares, remodelando el tejido urbano de la capital de la ciudad. Como puede verse, las pandemias pueden tener efectos sociales y políticos de gran alcance. También debe destacarse la fuente del desorden social, la aprensión generalizada y los cambios culturales más profundos. No hay ninguna duda al respecto en el relato de Tucídides sobre la epidemia de peste negra en la Edad Media o en los conmovedores relatos de Giovanni Boccaccio y Robert Gottfried, que afirman:

"La epidemia aumentó la inmoralidad en la ciudad también de otras maneras. Al ser testigos de los cambios repentinos en la suerte de aquellos que eran ricos y fallecían inesperadamente y de aquellos que antes no poseían nada y de repente adquirieron posesiones, la gente se atrevió más fácilmente en las acciones que había disfrutado previamente en secreto. Creían que tanto sus vidas como su riqueza eran transitorias, por lo que buscaban una ganancia rápida y satisfactoria. Nadie estaba dispuesto a pasar por dificultades para lograr una meta noble porque no estaban seguros de que no morirían antes de llegar allí."

Este pasaje demuestra cómo se relajaron las normas morales de los atenienses afectados por la epidemia. Boccaccio también describe en su conocida obra El Decamerón el fenómeno de que diez jóvenes que huyen de la Peste Negra se involucran en una narración irreverente:

"Los sobrevivientes experimentaron una variedad de miedos y fantasías como resultado de estos y otros acontecimientos similares o peores. Casi todo lo que vivieron resultó en una muerte muy cruel, incluso evitar a los enfermos y sus posesiones mientras huían de ellos con la creencia errónea de que hacerlo aseguraría su propia salud. Algunas personas formaban sus propios grupos y vivían separadas de las demás con la creencia de que la moderación y la sobriedad les ayudarían a defenderse de la mala suerte. Otros, más inclinados al punto de vista contrario, afirmaban que el mejor remedio para tanto mal era beber mucho, gozar, cantar y divertirse, satisfaciendo cada capricho lo mejor que pudieran, y riéndose y burlándose de todo lo que les pasaba. Y tal como decían, lo colocaron en práctica lo mejor posible, visitando de taberna en taberna día y noche, bebiendo sin ritmo ni medida"

Podemos destacar la alteración de la percepción del tiempo y el hecho de que la vida ahora tenga matices más violentos y emocionales, como ejemplos de los profundos cambios ya mencionados. Gottfried afirma:

"Sólo teniendo en cuenta la nueva omnipresencia de la plaga y la posibilidad de una muerte repentina y dolorosa se puede comprender plenamente gran parte de la crueldad y la violencia, así como la piedad y la alegría de finales del siglo XIV y XV. La literatura y las artes expresaron un optimismo vivaz durante la Alta Edad Media, un período de desarrollo y madurez. Esto fue abandonado después de la Peste Negra y fue reemplazado en gran medida por el pesimismo."

Es importante recordar que el deseo de culpar e identificar a los criminales es un aspecto dramático de cómo reaccionan las poblaciones ante las epidemias. De esto pueden surgir sentimientos xenófobos extremos. Esto ocurrió, por ejemplo, cuando se produjeron epidemias durante la caída del Imperio Romano y se responsabilizó a los cristianos, mientras que a los judíos se les responsabilizó de la peste negra. Recordemos que la sífilis

también era conocida como enfermedad francesa en Alemania e Inglaterra, enfermedad napolitana en España, enfermedad española en Francia, enfermedad china en Japón y enfermedad polaca en Rusia. La gripe de 1918, conocida como gripe española en Europa y Estados Unidos, pero fiebre de Flandes en Alemania, experimentó un destino similar.

En general, la sociedad tiende a buscar un chivo expiatorio cada vez que estalla una epidemia en algún lugar. En el caso de la epidemia de influenza en México, también conocida como epidemia de gripe porcina, este fenómeno fue investigado a fondo por Cristina Oehmichen y María Dolores Paris. Su trabajo demuestra cómo la epidemia expuso los procedimientos simbólicos involucrados en la creación de un chivo expiatorio, lo que tiene toda una serie de consecuencias que se manifiestan en fenómenos discretos de discriminación, formas de evitación y segregación, e incluso actos abiertos de racismo. La xenofobia también. Los autores concluyen argumentando que el racismo sanitario es real.

En relación con el punto anterior, cabe señalar que las epidemias provocan un miedo generalizado entre la población y fomentan la estigmatización. Para demostrar este punto, sólo se requieren algunos ejemplos, al comienzo de la epidemia de VIH/SIDA, los pacientes tenían que soportar una pesada carga, no sólo tenían que lidiar con los efectos físicos de la enfermedad, sino también con la estigmatización moral que la acompañaba: promiscuidad, irresponsabilidad, inmundicia, y depravación.

La campaña mundial contra el VIH/SIDA proporcionó un análisis más reciente de estas intensas dinámicas de discriminación que el de Susan Sontag, una reconocida intelectual estadounidense, que realizó su análisis hace varios años. Las dinámicas de discriminación que Oehmichen y Paris demuestran en el texto antes mencionado, también estaban presentes durante el brote de gripe porcina de 2009, muchas intervenciones médicas y de salud pública no están a la altura de sus pretensiones, o tardan mucho en implementarlos, lo que causa molestia y plantea dudas sobre los conocimientos médicos y de salud. Fue necesario mucho tiempo para combatir con éxito la viruela. Han pasado casi 180 años desde que el Dr. Edward Jenner describió por primera vez el proceso, y poco más de dos siglos desde que el Dr. Giacomo Palarini realizó sus primeros intentos terapéuticos. Una vez más, es importante recordar lo que pasó con la gripe de 1918. A pesar de que se probaron numerosos fármacos y tratamientos médicos, los esfuerzos fueron sin éxito.

Es importante recordar que las epidemias nos han enseñado que, a pesar de lo dramáticas y devastadoras que pueden ser, la vida continúa y las personas encuentran la manera de superarlas. Tanto es así que con el tiempo se llega al estado de olvido al que aludieron Rosenberg, Cueto y Martínez. Así ha sido desde la plaga egipcia del año 1500 a. C. previo a las pandemias más recientes. Algunas epidemias pueden dejar una impresión duradera de algunas décadas o incluso siglos. Todas estas lecciones revisten gran interés porque nos permiten comprender la complejidad del fenómeno epidémico y prever algunas de las consecuencias que deben tenerse en cuenta a la hora de planificar intervenciones para

combatir una epidemia. Sin embargo, por su carácter general, puede que no sean lo suficientemente conmovedores para personas con un temperamento más práctico. Debido a que las lecciones más específicas refuerzan el aprendizaje más general, vale la pena mencionarlas.

En cuanto a las causas biológicas de una posible pandemia o sus consecuencias sociales, muchos profesionales médicos creen que cualquier discusión sobre enfermedades infecciosas emergentes, debe comenzar con una mirada al pasado. El hecho del componente integral del trabajo diario de muchos expertos interesados en combatir enfermedades infecciosas de carácter epidémico es una prueba más de ello, al igual que los foros y otros eventos académicos donde historiadores médicos y otros profesionales de la salud se reúnen para estudiar epidemias históricas.

David Heynman, alto funcionario de la Organización Mundial de la Salud y experto en medidas preventivas contra la polio, reflexionó sobre los grandes brotes de enfermedades infecciosas emergentes ocurridas durante el último cuarto del siglo XX y principios del XXI. Discutió lo que estos episodios revelaron sobre las funciones y responsabilidades de los trabajadores de la salud en una pandemia, los efectos de las enfermedades infecciosas en el comercio mundial, el desafío de brindar un tratamiento eficaz. El primer brote del síndrome respiratorio agudo severo, también conocido por su acrónimo SARS, que ocurrió en los años 2002 y 2003, fue una demostración de cómo la creciente cooperación internacional para informar y responder a los brotes de enfermedades ,fue resultado de la amenaza planteada por enfermedades infecciosas emergentes.

Howard Markel, médico e historiador de la medicina, lo señala en una reflexión sobre la función del estudio histórico en la creación de planes de mitigación de pandemias:

“Una epidemia sirve como una lente útil para examinar la resiliencia y eficacia de las estructuras administrativas de una sociedad, sus fortalezas y debilidades políticas y sociales, su compromiso, es como un laboratorio social vivo. Dado que la comunidad afectada experimenta y reacciona ante las epidemias en tiempo real, no se trata de acontecimientos silenciosos. En cambio, los historiadores descubren, anuncian y explican. Por tanto, el registro histórico de estos acontecimientos es particularmente rico e intrigante.”

También es muy sorprendente la afirmación del autor que la pandemia de influenza estadounidense de 1918 representa una de las bases de datos más grandes jamás compiladas en la era moderna, solo superada por la teoría de los gérmenes, sobre el uso de intervenciones no farmacológicas para mitigar la influenza pandémica en los centros urbanos. La oportunidad de observar cómo reacciona una sociedad ante la amenaza de una pandemia en ausencia de vacunas y antivirales puede ser de gran interés para los responsables de la formulación de políticas. Y la historia sugiere que en respuesta a tales

crisis, las sociedades (y comunidades) adoptan, de una forma u otra, lo que creen que son estrategias prácticas para el aislamiento físico y otras formas de exclusión.

Por el momento, es interesante centrarse en las lecciones con una aplicación más centrada que se puede aprender del pasado. Se afirma repetidamente que el aislamiento físico y las medidas de cuarentena (lo que ahora se conoce generalmente como medidas de intervención no farmacológicas) funcionan. El alcance, el rigor y la oportunidad de la implementación de estas medidas, así como la naturaleza de la epidemia, determinarán su eficacia y, dadas sus importantes consecuencias sociales y económicas, así como las cuestiones morales y políticas que plantean, se recomienda su uso continuo.

La cuarentena ha sido un método eficaz para controlar las epidemias desde que se utilizó por primera vez en el siglo XIV en Ragusa, una colonia veneciana, y Dubrivnick, en la costa croata. Las tripulaciones de los barcos infectados fueron enviadas al lazaretto, una instalación de aislamiento en una isla adyacente, donde permanecerían hasta su fallecimiento o recuperación, en ese importante puerto veneciano en ese momento. Estas instalaciones de cuarentena se construyeron posteriormente en otros lugares del mundo. Aunque la Peste Negra fue el escenario de su origen, la historia de la cuarentena suele estar estrechamente ligada a cómo se manejaron las epidemias de cólera y fiebre amarilla en los siglos XVIII y XIX.

Estrechamente relacionada con el uso específico de la cuarentena, la separación física de personas sanas se practica desde hace mucho tiempo como precaución de salud pública, así como el cierre de lugares de reunión social. Los investigadores que examinaron la epidemia de gripe de 1918 han demostrado cuán comunes eran estas técnicas. A principios del siglo XX la población bogotana vivió hechos que provocaron ansiedad y preocupación, en el contexto local colombiano, las medidas de cierre de iglesias, escuelas y mercados, así como la prohibición de reuniones masivas, fueron frecuentes y parte de las estrategias higiénicas adoptadas en ese momento.

La amplia bibliografía sobre el tema demuestra que lo mismo ocurrió en muchos otros lugares, aunque la severidad de las medidas varió dependiendo de las particularidades de cada contexto local. Más allá de la explicación de las acciones realizadas, destacan una serie de trabajos que han hecho uso del conocimiento histórico para evaluar más a fondo la eficacia de las acciones. Hatchett et al., Markel et al, lo realizan con el uso de bases de datos creadas a partir de información de la epidemia en los Estados Unidos.

Para probar la teoría de que la adopción temprana de numerosas intervenciones no farmacológicas se asociaba con una menor transmisión de enfermedades, el equipo de Hatchett comparó los datos con lo que ocurrió en 17 ciudades estadounidenses. Los autores compararon los indicadores de salud pública de las distintas ciudades, con los datos de mortalidad en cada una de ellas utilizando herramientas de análisis estadístico y

descubrieron algunas diferencias significativas. El marcado contraste entre lo que ocurrió en Filadelfia y San Luis fue el más sorprendente.

Las medidas sanitarias se tomaron tarde en el primer caso, pero rápidamente en el segundo, y esto tenía un impacto evidente y dramático en la tasa de mortalidad de la epidemia. Proporcionan un gráfico muy potente que ilustra cómo las tasas de mortalidad han cambiado con el tiempo en las dos ciudades. Los autores llegan a la conclusión de que la implementación temprana de algunas intervenciones de salud estaba relacionada con tasas máximas de mortalidad más bajas, lo que respalda la hipótesis de que la implementación rápida de numerosas medidas de intervención no farmacológicas reduce significativamente la transmisión de la influenza, aunque se piensa que relajar tales medidas aumentaría la propagación viral.

La investigación del equipo de Markel, examinó el uso de intervenciones no farmacológicas en 43 ciudades estadounidenses para determinar si la variación en la mortalidad, de una ciudad a otra, estaba relacionada con el momento, la duración y la combinación de esas intervenciones. Utilizando también herramientas de análisis estadístico, los autores llegan a la conclusión de que existe una fuerte correlación entre la aplicación temprana, sostenida y estratificada de estas intervenciones y la capacidad de Estados Unidos para mitigar los efectos de la pandemia de influenza de 1918-1919.

Los cierres de escuelas, las prohibiciones de reuniones públicas, el aislamiento y la cuarentena y las medidas adicionales (como cambios en los horarios de trabajo, regulaciones comerciales, restricciones de transporte, comunicaciones de riesgo público y uso de máscaras) se dividieron en tres categorías principales y una subsidiaria a los efectos de análisis. Aunque algunas ciudades emplearon diversas tácticas, las más frecuentes fueron el cierre de escuelas y la prohibición de reuniones públicas. Al igual que Hatchett et al., los autores también llaman la atención sobre lo ocurrido en Filadelfia. La ciudad de Nueva York destaca como contraste porque respondió a la epidemia rápidamente y no esperó a que ocurriera un exceso de muertes. Nueva York tenía una infraestructura sólida que se había forjado en la lucha contra enfermedades anteriores como la tuberculosis, según lo examinó cuidadosamente Francesco Aimone.

Los estudios avalan la eficacia de las estrategias de aislamiento y cierre de lugares públicos y comercios, a pesar de las evidentes repercusiones sociales negativas. Con frecuencia alientan la violación de los derechos individuales en nombre de un bien mayor, lo que incluye impedir la dinámica económica. Es más común que las clases bajas y los grupos marginados utilicen el aislamiento para mantener a las personas sanas separadas de aquellas que se sospecha que tienen una infección, lo que puede violar su derecho a la libertad. Estas medidas también han contribuido al estigma y la discriminación contra grupos específicos de la sociedad. Esta es la causa principal del acalorado debate ético y político sobre el tema.

Si bien las epidemias afectan a la sociedad en su conjunto, con frecuencia amplían las brechas y desigualdades sociales. El concepto de afectación diferencial se entiende desde hace mucho tiempo, recientemente es más evidente debido a las recientes epidemias. De manera similar a lo que ocurrió con la gripe de 1918, la infección se extendió ampliamente entre la población de Bogotá, pero las muertes se produjeron principalmente entre los desfavorecidos y la llamada clase trabajadora. La epidemia aumentó la desigualdad y reveló las relaciones sociales que ya existían.

Además de tratar a la población con falta de piedad, tenía consecuencias no deseadas que afectaron a diferentes grupos sociales de manera diferente, como el aumento del costo de muchos bienes, incluidos ataúdes, medicinas, leche y algunas frutas que se usaban como remedios. Algunos de los nombres de los fallecidos de la clase pobre aparecieron impresos en la prensa local, pero no estaba acompañado de las notas laudatorias que acompañaban a los nombres de los fallecidos de la clase rica.

Muchos autores y en relación con diversas enfermedades exponen a la luz esta disparidad social ante la muerte, que es cautelosamente extensible al campo de la morbilidad. Al examinar lo que ocurrió con las llamadas enfermedades infecciosas emergentes en la década de 1990, el eminente antropólogo médico Paul Farmer señala este punto. Marcos Cueto hace una observación similar al examinar las epidemias de cólera y dengue en el Perú a principios del siglo XX. Esto respalda la idea de que existe una fuerte correlación entre pobreza, enfermedad y desigualdad en salud, que es bien conocida en el campo de la salud pública. Es crucial tener en cuenta que para ello se requiere educación, la acción sanitaria frente a las epidemias debe tener en cuenta los principios de equidad en salud.

Es igual de importante, las investigaciones sobre epidemias pasadas, que nos demostraron que se trata de fenómenos intrincados con un fuerte componente biológico y social. Y debido a esto, la complejidad misma debe abordarse de maneras socio-ambientales cada vez más sensibles. El aleccionador estudio de Charles Briggs y Clara Mantini sobre la epidemia de cólera en Venezuela entre 1992 y 1993, donde la acción contra la epidemia implica todo un ejercicio de discriminación, es importante recordar el estudio de Gottfried sobre la Peste Negra y cómo describe la epidemia como parte de una crisis ambiental general típica del final del período medieval. Sin embargo, es posible que los estudios sobre la gripe arrojen más luz sobre esta interrelación.

La gripe de 1918 sigue siendo un tema crucial para la investigación, y el examen historiográfico del trabajo académico, ilustra elocuentemente las múltiples facetas y efectos de la pandemia. Es ampliamente reconocido que la pandemia de 1918 fue el resultado de un difícil proceso de configuración histórico-territorial, en el que los procesos sociales y biológicos estaban intrincadamente vinculados. La pandemia de 1918 introdujo agentes

biológicos en las dinámicas sociales que configuran el mundo humano como un fenómeno en un profundo impacto en la vida humana.

Algunos trabajos que investigan a fondo otras pandemias de gripe también lo demuestran. Por ahora, basta señalar que el renombrado biólogo evolucionista Rob Wallace estudió en profundidad las epidemias de gripe aviar y porcina y enfatizó las conexiones entre la agroindustria, el sistema capitalista y la propagación de enfermedades infecciosas. Al final, su examen de las circunstancias en las que se crían los animales antes de ser ejecutados nos permite comprender por qué las granjas industriales fomentan la evolución de virus más patógenos y potentes en su modo de transmisión. El resultado común es la exportación de enfermedades de estas granjas a todo el mundo, a través de redes comerciales conectadas globalmente, como resultado de los efectos poderosamente adversos que estas condiciones tienen sobre la inmunidad natural de los animales, así como el aumento del intercambio viral entre especies.

El sugerente enfoque de Wallace, que incorpora aspectos virológicos, ecológicos, sociológicos y de economía política, ofrece una visión general útil que allana el camino tanto para un análisis más complejo como para el desarrollo de soluciones alternativas al problema de la pandemia. Wallace afirma:

“En realidad, para definirla se pueden utilizar la composición molecular, la genética, la virología, la patogénesis, el huésped biológico, el curso clínico, las opciones terapéuticas, los modos de transmisión y la filogenética de la influenza. Sin duda, ese trabajo es necesario. Pero centrarse sólo en estas cuestiones deja de lado mecanismos cruciales que están activos en otros niveles significativos de la organización socio-ecológica. Estos mecanismos cubren cómo se obtiene y organiza el ganado en el tiempo y el espacio. En otras palabras, debemos abordar las decisiones particulares tomadas por varios gobiernos y empresas que fomentan el surgimiento de una gripe virulenta. Estas explicaciones se desvanecen cuando se piensa únicamente en términos virológicos, lo que resulta muy ventajoso para la industria porcina.”

Este es un llamado fundamental que nos permite apoyar las investigaciones de historiadores y científicos sociales que, desde su propia perspectiva, sustentan enfoques integradores y perspectivas multidimensionales acordes con la complejidad del fenómeno pandémico. Por todo ello, se puede argumentar que algunas de las lecciones más específicas que ofrece el estudio de epidemias pasadas incluyen la confirmación de la eficacia de intervenciones sanitarias específicas, la exaltación de la necesidad de luchar contra la desigualdad ante las epidemias y la aparición de de enfoques analíticos innovadores y más inclusivos.

1.2 La Necesidad de Mejorar la Preparación en Futuras Pandemias

La devastadora pandemia del COVID-19, que cobró tantas vidas y destruyó tantos medios de vida y economías, ha dejado muy claro lo importante que es la prevención. La pandemia ha causado sufrimiento, fue humillante y frustró las esperanzas sobre qué naciones estaban mejor equipadas para manejar una situación que implicaba una emergencia de salud pública. Pocos habrían predicho esto antes de que el virus COVID-19 se propagara globalmente, a pesar de que muchas economías desarrolladas han tenido tasas de mortalidad por COVID-19 mucho más altas que muchas economías en desarrollo, a pesar de su riqueza y su aparente mejor preparación.

Se desconoce el resultado de la próxima pandemia, pero una cosa es segura, en algún momento en el futuro se producirá otro brote de una enfermedad infecciosa grave, posiblemente antes de lo que anticipamos. Aunque la próxima pandemia es inevitable, no hay necesidad de entrar en ella descuidadamente. Es necesario tomar medidas inmediatas para mejorar los sistemas de prestación de atención médica e invertir en el campo garantizará que estemos mejor equipados para abordar la próxima amenaza mundial para la salud.

Según el Índice de Seguridad Sanitaria Global de 2019, Estados Unidos y el Reino Unido fueron los dos países mejor equipados para hacer frente a un brote de una enfermedad infecciosa; a pesar de ello, un impresionante número de personas han muerto a causa de la COVID-19 en Estados Unidos, el país con mayor número de muertos por la pandemia después de dos años, mientras que el Reino Unido ha registrado siete veces más muertes que las 20.000 reportadas por el asesor científico, previsto como un buen resultado por su administración en marzo de 2020.

Posteriormente, la Organización Mundial de la Salud (OMS) determinó que el 86% de los países europeos tenían los niveles más altos de preparación para una pandemia basándose en una autoevaluación completada en 2018 sobre la implementación de su Reglamento Sanitario Internacional. En teoría, esto convirtió a la región en la mejor equipada para hacer frente a un nuevo brote infeccioso. En realidad, la segunda tasa regional se aplicaba a Europa, con mayor número de muertes por COVID-19, 1.294 por millón de habitantes, un récord. En comparación, en África se han reportado menos de 205 muertes por millón, donde la OMS creía que sólo el 15% de los países estaban adecuadamente preparados.

Los indicadores de pronóstico no consideraron cómo las naciones de África occidental podrían combatir el COVID-19 si presentaban experiencias previas con brotes virales. Las reformas para estandarizar y mejorar la atención sanitaria comunitaria que se implementaron en Liberia tras el brote de Ébola en 2014-2016 fueron beneficiosas cuando se descubrieron los primeros casos de Coronavirus en el país.

Los equipos de salud pública de Sierra Leona utilizaron medidas de cuarentena selectiva, similar a las utilizadas para los casos sospechosos y confirmados de Ébola, para aislar los casos de COVID-19. La cooperación internacional provocada por brotes anteriores también fue beneficiosa; en febrero de 2020, el Instituto Pasteur de Dakar, Senegal, era uno de los dos únicos laboratorios africanos equipados para realizar pruebas gratuitas de SARS-CoV-2 y con resultados en no más de 24 horas. En abril de 2020, 43 países africanos lograron diagnosticar con precisión la COVID-19 gracias a los esfuerzos del personal del laboratorio de Dakar, que enseñó a otros laboratorios fuera de Senegal y compartió sus conocimientos con ellos.

Al construir siete instalaciones hospitalarias de emergencia, el gobierno del Reino Unido pretendía aumentar significativamente la capacidad durante la escalada inicial de transmisión comunitaria. Reservó 736 millones de dólares para estos hospitales Nightingale, que permanecieron en gran medida sin utilizar incluso cuando la capacidad del sistema hospitalario actual estaba a punto de romperse. La explicación: sin personal adecuadamente capacitado, agregar espacio, suministros y sistemas era inútil.

Por el contrario, los países del África subsahariana y Asia oriental abordaron el desarrollo de capacidades desde abajo hacia arriba ante los primeros signos de transmisión local de la COVID-19; de esta manera, evitaron en gran medida tener que implementar bloqueos en 2020. Tailandia creó una red considerable de voluntarios a lo largo de 40 años, que fueron reclutados para ayudar con los aspectos logísticos de la respuesta y brindaron cobertura incluso en las áreas más remotas. En Vietnam, la incorporación de estructuras de gobierno local preexistentes ayudó a coordinar el aislamiento y las cuarentenas a nivel comunitario.

En Japón, las enfermeras de salud pública recibieron una capacitación rápida, lo que permitió un rastreo exhaustivo de contactos tanto en el pasado como en el futuro, que ayudó a la identificación temprana de grupos de transmisión importantes. Muchas naciones lograron frenar la propagación del virus y evitar medidas más severas y represivas gracias a la implementación de intervenciones de apoyo y la delegación de autoridad a los gobiernos locales.

Las justificaciones financieras para invertir en salud han quedado claras con la pandemia de COVID-19, en el futuro, debemos ver la seguridad sanitaria como una inversión y no como un costo; McKinsey and Company y un panel independiente del G-20 estimaron que la carga económica mundial del COVID-19 oscila entre 16 y 35 billones de dólares para el año 2025. El retorno de la inversión sería enorme en términos absolutos si una mejor preparación lograr reducir aunque sea ligeramente este costo.

Las sociedades caracterizadas por una alta incidencia de enfermedades crónicas no transmisibles y una marcada desigualdad estructural presentan un desempeño deficiente

frente al nuevo Coronavirus, independientemente de las diferencias políticas; pero, eliminar ambos sería un paso crucial para garantizar un mundo más sostenible y requiere un plan estratégico a largo plazo. Además de proporcionar un amortiguador contra las crisis sanitarias emergentes, como la resistencia a los antibióticos; invertir en salud también contribuye al desarrollo de sociedades más justas y saludables, dos elementos más críticos de la seguridad sanitaria. Afortunadamente, esto último crea un valor rápido y continuo en la atención médica de rutina para los gobiernos que buscan hacer soluciones rápidas durante los ciclos electorales. A modo de ejemplo, el gobierno finlandés entendió la necesidad de una financiación rápida y amplia para una estrategia de salud pública exitosa contra la COVID-19. Además, proporcionó una recuperación económica más rápida y una mejor protección fiscal.

La pandemia de COVID-19 también nos enseñó que la ciencia sólo tiene éxito en entornos propicios para ella. La mayoría de los profesionales de la salud no usaron la palabra sin precedentes para describir un patógeno que causa una pandemia, pero la usaron para describir la tasa de avance tecnológico y científico durante la pandemia de COVID-19. No fue casualidad que se creara una variedad de vacunas seguras y eficientes; más bien, fue el resultado de años de investigación científica. Cuando el mundo necesitaba urgentemente soluciones terapéuticas, los gobiernos utilizaron inversiones previas para acelerar el desarrollo y la distribución de vacunas. El apoyo gubernamental a la ciencia y la tecnología será cada vez más importante en el futuro a la hora de afrontar crisis sanitarias mundiales, incluso en tiempos de incertidumbre.

Para garantizar la equidad en la distribución global de vacunas, el mecanismo COVAX hizo una serie de promesas, algunas no cumplidas. COVAX está al final de la fila y se ve obligado a depender de donaciones porque el sistema de distribución de vacunas a países de ingresos bajos y medios carece de la capacidad financiera para bajar los precios. El último número de “The Lancet” llevaba en portada la siguiente afirmación: los países ricos se han comportado peor que en nuestras peores pesadillas, acumulando excedentes de vacunas y, en el caso de Canadá, encargando dosis 10 veces su cantidad. La construcción y ampliación de instalaciones de producción de vacunas en zonas de bajos ingresos ayudaría a la erradicación temprana de la pandemia y proporcionaría la infraestructura necesaria para combatir otras enfermedades infecciosas.

La pandemia expuso las debilidades de los convenios de seguridad social en todo el mundo, incluido el Reglamento Internacional de Seguridad (RSI), que es un requisito legal para que 196 países desarrollen capacidades para informar y responder rápidamente a los brotes de enfermedades. Muchas naciones cumplieron solo parcialmente, como se observó en la pandemia, ya sea porque desconocían todas las reglas o porque deliberadamente decidieron no cumplirlas. Sin duda, una mejor observancia del RSI fuera dado lugar a respuestas más rápidas y eficientes para salvaguardar la salud pública.

El RSI sigue siendo un componente clave de la arquitectura sanitaria mundial para las pandemias, a pesar de que la pandemia dejó al descubierto sus defectos y, cuando se sigue, puede resultar extremadamente útil en cualquier emergencia sanitaria. Se debe adoptar un mecanismo de alerta más flexible y se debe otorgar a la OMS la autoridad para evaluar y mejorar continuamente la adherencia de los Estados Miembros al régimen general. Es necesario reformular el RSI y, para ello, la OMS necesita los recursos, el poder y la confianza necesarios para garantizar un mayor cumplimiento de las normas que, en última instancia, pueden salvar vidas.

1.3 Camino Hacia Sistemas de Salud Resilientes

En la Región de las Américas, la pandemia de COVID-19 impactó significativamente la salud, la calidad de vida y los medios de subsistencia de las personas. También provocó una crisis social y económica caracterizada por un desempleo generalizado, pobreza extrema y mayores desigualdades. El camino crítico hacia la recuperación y el avance hacia los Objetivos de Desarrollo Sostenible exige mayores esfuerzos de control de la pandemia y un manejo adecuado de los pacientes con COVID-19, incluyendo:

- La condición post-COVID-19 que presentan algunos pacientes.
- Una distribución rápida y equitativa de las vacunas para erradicar la enfermedad.
- Mitigar las interrupciones en la prestación y disponibilidad de servicios de salud esenciales para proteger el progreso en esta área.

Para una transición fluida de la respuesta a la pandemia a la recuperación será necesario centrarse nuevamente en el desarrollo de sistemas de salud resilientes, basados con información por la respuesta a la COVID-19.

Los sistemas complejos a menudo se caracterizan por su resiliencia, que es la capacidad de un sistema de modificar sus operaciones para preservar sus funciones esenciales frente a desafíos, fallas y cambios ambientales. La resiliencia de los sistemas de salud es la capacidad de resistir crisis, adaptarse y recuperarse para prestar servicios esenciales a tiempo. Depende de la capacidad de los actores, las instituciones y las poblaciones de salud para planificar con anticipación y gestionar la crisis; modificar elementos del sistema para preservar las operaciones esenciales durante una crisis; y, sobre la observación, la evaluación del impacto y las lecciones aprendidas, reorganizar y transformar cuando las circunstancias lo exijan.

Un sistema de salud resiliente es aquel que lucha por lograr tanto la cobertura sanitaria universal como el acceso universal a la atención sanitaria. En la situación actual, también se refiere al mantenimiento de los servicios y al restablecimiento de los avances logrados en términos de salud de la población que se han visto afectados por la pandemia.

Tanto estos objetivos como estos resultados son producto de esfuerzos para mejorar o modernizar los sistemas de salud.

La experiencia de la pandemia demostró ampliamente la importancia de fortalecer la resiliencia de los sistemas de salud para salvaguardar, promover la salud, el desarrollo social y económico. En lo que puede llegar a ser una crisis social y económica compleja y prolongada en la Región de las Américas, se debe tomar acciones tomadas de los Estados Miembros para acelerar la recuperación y protección de los logros perdidos en salud pública e impulsar la transformación hacia sistemas de salud más resilientes, sostenibles e inclusivos. El marco tiene como objetivo orientar las futuras inversiones públicas estratégicas para salvaguardar y promover la salud y el desarrollo, aunque el foco principal sea el período inmediatamente posterior a la pandemia.

Los Estados Miembros de la Organización Panamericana de la Salud (OPS) aprobaron la Resolución CD55, que establece una política sobre sistemas de salud resilientes, en respuesta a emergencias de salud pública en la Región de las Américas. Esta política ofrece orientación a los Estados Miembros sobre cómo apoyar y sostener las mejoras en salud, contribuir al desarrollo socioeconómico actual de la Región y mejorar la respuesta y la capacidad de adaptación de sus sistemas de salud ante amenazas inmediatas. La política se incluye con otras resoluciones y documentos pertinentes de la OPS y la Organización Mundial de la Salud (OMS) que abordan estos temas.

La pandemia de COVID-19 reveló algunas deficiencias de larga data en los sistemas de salud que han impactado la capacidad de respuesta y los resultados de la prestación, a pesar de que los Estados Miembros lograron algunos avances en la creación de sistemas de salud resilientes. La respuesta a la pandemia también se ha beneficiado de los avances y las inversiones en los sistemas de salud. La COVID-19 también llamó la atención sobre las conexiones cruciales entre los mecanismos de protección social, las políticas económicas y la protección ambiental.

La preparación y la respuesta a una pandemia se han visto significativamente influenciadas por el liderazgo, la gobernanza y la administración. Son particularmente cruciales para coordinar la ejecución de los planes nacionales de respuesta, que incluyen la movilización de los recursos necesarios (recursos humanos, financieros; evidencia; medicamentos y tecnologías sanitarias). Hay lecciones empíricas que se pueden aprender de la pandemia de COVID-19 para fundamentar mejor las acciones estratégicas destinadas a impulsar la resiliencia de los sistemas de salud y las sociedades a medida que la Región pasa de la respuesta a la recuperación. Como resultado, los países de la región estarán mejor equipados para responder a las necesidades de salud pública, incluso en el caso de una futura emergencia sanitaria mundial comparable a la pandemia de COVID-19.

En la Región de las Américas, la pandemia de COVID-19 ha tenido un impacto en los servicios y resultados de salud, particularmente para los grupos vulnerables. 67.472.965 casos confirmados y 1.653.255 muertes reportadas estaban presentes en la Región al 31 de mayo de 2021. La Región presentó la tasa de exceso de mortalidad más alta de todas las regiones de la OMS en 2020, incluidas las muertes relacionadas con la pandemia tanto directa como indirectamente. El exceso de mortalidad es mayor en poblaciones indígenas, afrodescendientes y de menores ingresos, según diferencias en la transmisión del SARS-CoV-2 y en los resultados de salud por quintil de ingresos, raza y origen étnico.

Los grupos desfavorecidos estaban afectados de manera desproporcionada, según al menos 44 estudios, con tasas más altas de infección por COVID-19, casos más graves y acceso limitado al tratamiento, que contribuyó a tasas de mortalidad por COVID-19 más altas. Como resultado, particularmente en las comunidades vulnerables, la pandemia ha empeorado las barreras de acceso a la atención médica ya existentes.

La pandemia ha desencadenó una crisis social y económica con efectos perjudiciales para las vidas y los medios de subsistencia y afectó desproporcionadamente a las mujeres. A su vez, esto causó malestar social en varias naciones de la región. El producto interno bruto (PIB) mundial cayó a su mayor nivel desde que comenzaron los registros en 1946. La pobreza y la desigualdad aumentarán en América Latina y el Caribe, donde el PIB per cápita regresó a los niveles de 2010. Los efectos de la pandemia serían aún más desastrosos si los gobiernos de toda la Región no hubieran adoptado medidas de estímulo masivas.

La capacidad de las naciones para enfrentar y gestionar un evento importante y prolongado como la pandemia de COVID-19 se vio obstaculizada por debilidades de larga data en los sistemas de salud en este complejo contexto económico y social. Los problemas más notables son la segmentación y fragmentación de los sistemas de salud, la persistencia de bajos niveles de inversión pública en salud, las barreras de acceso (financieras, geográficas, culturales y legales) y las brechas en capacidad y necesidades profesionales de la salud, así como la limitada capacidad de resolución del primer nivel de atención.

Con el tiempo, todas estas variables han tenido un efecto en la cobertura y el acceso a la salud. Existen importantes debilidades en el diseño e implementación de políticas y estrategias para la prevención de enfermedades y la promoción de la salud, incluida la protección ambiental, así como en el uso de intervenciones económicas para apoyar estas estrategias.

En general, la pandemia ha expuesto debilidades en la preparación y planificación de las respuestas, una falta de coherencia en la planificación de las actividades de salud pública, una débil integración entre los servicios de salud individuales y colectivos, y estas debilidades durante la aplicación de la salud pública. Para actuar de manera coherente y al unísono con una comprensión integral de sus funciones, las autoridades sanitarias

enfrentaron desafíos. Dada la complejidad de las amenazas y desafíos a la salud pública, se requiere un enfoque integrado para la formulación e implementación de políticas, uno que integre profundamente la salud pública en los sistemas de salud y las iniciativas de seguridad sanitaria.

Como se indica en el documento CD58/6 “La pandemia de COVID-19 en la Región de las Américas”, la pandemia emerge a la luz debilidades en la capacidad de respuesta adaptativa de los sistemas de salud y la gobernanza que habían sido captadas con los métodos de medición existentes pero que bien no fueron muy visibles, o simplemente aparecieron en el contexto de la pandemia, particularmente en momentos cruciales.

El Panel Independiente de Preparación y Respuesta a Pandemias (IPPPR) y el Comité de Revisión del Funcionamiento del Reglamento Sanitario Internacional (2005) durante la respuesta a la COVID-19, señalaron en sus conclusiones y recomendaciones finales a la 74^o Asamblea Mundial de la Salud, que la pandemia expuso las debilidades en gran medida inminentes en los sistemas de alerta y respuesta nacionales y globales y en la preparación, generalmente relacionadas con funciones esenciales de salud pública y emergencias.

Los preparativos no se centraron suficientemente en la creación de capacidad por adelantado para ampliar y adaptar los sistemas de salud en términos cuantitativos y cualitativos. Según el resumen ejecutivo de su informe del IPPPR, la preparación y respuesta nacional a una pandemia debe fortalecerse mediante una mayor capacidad multidisciplinaria en las instituciones de salud pública, ejercicios de simulación anuales, una mayor protección social y apoyo a los trabajadores de la salud, incluidos los trabajadores de salud comunitarios, inversiones en riesgos comunicación y planificación con las comunidades, especialmente aquellas que están marginadas.

Los países de la región experimentaron importantes pausas en la prestación de todo tipo de atención médica. Se presentó una disminución en la necesidad y utilización de servicios de salud en campos de alta prioridad como salud mental, atención a personas mayores y discapacitadas, rehabilitación, salud materna infantil, enfermedades no transmisibles, inmunización, tuberculosis, infección por VIH y otras enfermedades transmisibles. El acceso de grupos vulnerables (como pueblos indígenas, afrodescendientes y comunidades rurales aisladas, entre otros) se vio aún más obstaculizado por la baja prioridad otorgada al primer nivel de atención; para mantener la prestación de servicios, los sistemas de salud hicieron algunos ajustes, incluyendo, entre otros, ampliar el uso de la telemedicina, extensiones de prescripción y farmacias móviles.

En abril de 2021, muchos países de la Región suspendieron el límite de la tasa de ocupación hospitalaria (umbral del 80% o más), particularmente en las unidades de cuidados intensivos (UCI). A pesar de los esfuerzos por aumentar la capacidad hospitalaria

mediante el despliegue de equipos médicos de emergencia nacionales y regionales, así como el establecimiento de centros de atención médica alternativos, esta situación ha persistido durante varios meses y está afectando la prestación de servicios de salud esenciales.

La ampliación de la capacidad de las UCI ha sido un desafío para los sistemas de salud durante casi un año. Cuando el número de casos aumentó significativamente, se volvió más difícil mantener y aumentar la capacidad debido al agotamiento físico y mental del personal médico, así como a la falta de suministros y medicamentos de emergencia (como oxígeno, analgésicos, sedantes, relajantes musculares, y anticoagulantes) para el manejo de casos.

Los profesionales de la salud se vieron gravemente afectados por la pandemia, al 12 de mayo de 2021, 22 naciones de la región notificaron 1.827.112 casos de COVID-19 en profesionales de la salud, incluidas 9.159 muertes. La pandemia expuso una prolongada falta de inversión en recursos humanos para la salud, así como la ausencia de sistemas de información sobre la distribución de los recursos humanos para la salud, las líneas de atención y las categorías profesionales, y la composición y características de los equipos interprofesionales de salud.

Los países enfrentaron dificultades con el reclutamiento, despliegue, protección y retención de trabajadores de la salud a medida que los sistemas aumentaron su capacidad, incluidos problemas con el apoyo psicosocial del personal de primera línea. En septiembre de 2021, también se presentó a la Junta Directiva, una propuesta de política para aumentar la capacidad de producción de medicamentos esenciales y tecnologías sanitarias (documento CD59/8), que aborda una cuestión separada relacionada con garantizar el acceso a suministros médicos y tecnologías sanitarias. También es un desafío encontrar datos que respalden el desarrollo de intervenciones de salud pública durante una pandemia provocada por un nuevo virus, y es un reto persuadir a la población en general para que adopte y mantenga cambios significativos en su forma de vida. Además, esto dificulta mantener en funcionamiento las operaciones del sistema de salud.

La pandemia aceleró las innovaciones en los sistemas médicos. En los 51 países y territorios de la Región, impulsó medidas para ampliar o reorganizar la prestación de servicios. Se promovieron innovaciones en la gestión de recursos humanos para la salud, la división de tareas y la planificación de personal, acelerando la adopción de tecnologías de salud digitales para la prestación de servicios, aumentando la capacidad de investigación y aplicación del conocimiento.

Es necesario describir la mejora en la capacidad de las agencias reguladoras nacionales para otorgar permisos para usos urgentes y realizar farmacovigilancia de nuevas tecnologías médicas, dando lugar a nuevos mecanismos intersectoriales para mejorar la

gobernanza y la gestión de la respuesta a la pandemia. Lo anterior dirige un aumento del financiamiento público para la salud y la protección social en toda la Región, despertando una nueva conciencia sobre la importancia de la ciencia y la toma de decisiones basada en evidencia en el campo de la salud pública. Estas innovaciones se realizaron en la gestión de recursos financieros para facilitar la distribución a los proveedores de atención médica de primera línea, incluidos los del sector privado.

A pesar de su importancia fundamental para la salud humana, las intervenciones de salud pública frecuentemente reciben menos financiamiento y recursos que las inversiones en servicios prestados personalmente en las instalaciones. La financiación pública es insuficiente para abordar las necesidades de salud de la población y sus determinantes y para abordar eficazmente una crisis sanitaria mundial prolongada como resultado de esta falta de prioridad política.

En el largo camino hacia la recuperación tras la pandemia que anticipan las instituciones financieras internacionales, esta falta de financiación de la salud pública plantea un desafío persistente. Muchas naciones han experimentado un empeoramiento de su situación crediticia, lo que las obliga a realizar reformas estructurales que pueden tener un impacto directo en los sectores sociales y poner en peligro la capacidad de recuperar el terreno perdido en el campo de la salud pública, prepararse para las próximas pandemias y mantener la resiliencia de los sistemas de salud.

Es urgente recuperar el terreno perdido en materia de salud pública y retomar el camino hacia el logro de los Objetivos, dado el alcance de los efectos sociales, económicos y de salud de la pandemia de COVID-19 en la Región de las Américas. Esto implica tomar medidas estratégicas y específicas para abordar las fallas estructurales y sistémicas en los sistemas de salud que la pandemia expuso, así como construir sistemas de salud resilientes para el futuro a través de la rápida expansión del acceso y la cobertura de la salud, abordando las inequidades en salud y los factores de riesgo ambientales, aunado en la adopción y consolidación de innovaciones realizadas en los sistemas de salud durante la respuesta a la pandemia. Es fundamental mejorar las capacidades de preparación y respuesta, especialmente en el caso de pandemias y fenómenos meteorológicos extremos relacionados con el clima.

La transformación de los sistemas de salud con el fin de mejorar su resiliencia, fue propuesta por la Organización Mundial de la Salud (OMS) en cuatro líneas de acción estratégicas interdependientes para dirigir a los Estados miembros, según corresponda al contexto y las prioridades nacionales. Cada uno de ellos requiere el desarrollo de una gobernanza, una gestión y un liderazgo sólido. La Estrategia para el acceso universal a la salud y la cobertura universal de salud (documento CD53/5, Rev. 1), entre otras estrategias, planes de acción y marcos de implementación de la Organización Panamericana de la

Salud, brindan información adicional sobre cómo fortalecer y transformar los sistemas de salud.

1.4 Líneas de Acción Estratégicas

1.4.1 Línea de Acción Estratégica 1

Relacionada a mejorar la salud pública, acelerar la recuperación pospandemia y retomar el camino hacia la salud universal, transformando los sistemas de salud sobre la base de una estrategia de atención primaria de salud.

Para lograr lo anterior es necesario recuperarse en el corto plazo y garantizar la sostenibilidad en el mediano y largo plazo, si los sistemas de salud se transforman abordando una amplia gama de aspectos estructurales e institucionales, incluidas algunas capacidades específicas y medidas de fomento de la resiliencia. Para proteger y promover la salud y garantizar la seguridad humana para que las naciones puedan reanudar el camino hacia la salud universal, es crucial que los sistemas de salud aborden las prioridades de toda la población de manera inclusiva y sean receptivos, resilientes y adaptables.

Es crucial acelerar la adopción de un enfoque de atención primaria de salud. Esta estrategia utiliza atención integral e integrada de alta calidad para satisfacer las necesidades de las personas, las familias y las comunidades en las que residen. Depende de una gama continua de servicios, que van desde la promoción de la salud y la prevención de enfermedades (con mejores servicios de agua, saneamiento e higiene, prevención y control de infecciones y vacunación) hasta la detección, el diagnóstico temprano, el tratamiento, la rehabilitación y la atención de apoyo. Además de eso, es necesario tomar medidas para abordar los factores sociales, ambientales y económicos que influyen en la salud a lo largo de la vida.

Se alienta el pacto de atención primaria de salud universal, así como las recomendaciones de la Comisión de Alto Nivel Salud Universal en el Siglo XXI, para ser aplicados por los estados miembros. El informe más reciente exhorta a los Estados miembros a transformar sus sistemas de salud basados en la atención primaria de salud para 2030, reduciendo las barreras de acceso en al menos un 30%, aumentando la financiación pública en al menos el 6% del PIB y asignando al menos el 30% de estos recursos a el primer nivel de atención. El pacto por la atención primaria de salud aumentará la capacidad y la resiliencia de los sistemas de salud y acelerará la recuperación del terreno perdido en la salud pública.

Es necesario cambiar los paradigmas de los sistemas de salud para fomentar una participación social amplia y la cooperación entre diferentes sectores y partes interesadas clave. Estos nuevos paradigmas deben esforzarse por ofrecer servicios justos, inclusivos, completos y de alta calidad que se basen en la atención primaria de salud. También

deberían hacer un esfuerzo por cambiar los factores que afectan la salud, con un claro enfoque en las intervenciones intersectoriales.

1.4.2 Línea de Acción Estratégica 2

Dirigida a un enfoque renovado en funciones cruciales de salud pública, que fortalecerá el liderazgo, la administración y la gobernanza. Para aumentar la capacidad de salud pública, diseñar y fortalecer estructuras institucionales que puedan coordinar diversas intervenciones y programas en todos los sectores, se requiere un enfoque que incluya a toda la sociedad y al gobierno. Bajo la rectoría y dirección de las autoridades de salud, esto requiere coordinación y colaboración intersectorial. Para traducir de manera efectiva evidencia sólida y contextualizada en políticas y prácticas, ampliar las innovaciones probadas y verdaderas que apoyan la transformación del sistema de salud, también se requiere liderazgo para mejorar, mantener e institucionalizar los mecanismos y la capacidad.

Según el marco de la OPS anunciado en diciembre de 2020, se deben tomar acciones para llevar a cabo las Funciones Esenciales de Salud Pública (FESP). Este marco contiene cuatro llamados de acción principales:

- Evaluación, que implica mejorar la capacidad de las autoridades de salud para evaluar y rastrear el estado de salud de la comunidad, los aspectos de equidad y acceso, los determinantes sociales, ambientales y económicos de la salud, así como la eficiencia de los sistemas de salud.
- La formulación e implementación de políticas basadas en evidencia, para promover y proteger la salud a nivel nacional, incluidas políticas para abordar los factores de riesgo y los determinantes sociales, ambientales y económicos de la salud.
- La distribución de fondos y la promulgación de leyes y reglamentos que fortalezcan el apoyo institucional a las iniciativas de salud pública.
- Igualdad y acceso universal a todas las iniciativas de salud pública, incluidos los servicios de salud individual, comunitaria y poblacional del público en general.

Es vital evaluar la capacidad institucional de las autoridades de salud para llevar a cabo tareas cruciales de salud pública como base para crear planes de acción sectoriales e intersectoriales para fortalecer las FESP. Como contribución al proceso nacional de desarrollo de políticas de salud, estos planes de acción deben incorporarse a los ciclos presupuestario y político.

Mejorar las capacidades del personal para implementar la agenda de las FESP, incluida la gobernanza, la regulación y la gestión de equipos de recursos humanos para

abordar las necesidades de salud de la población, así como los desafíos presentes y futuros de la pandemia, debería ser parte del desarrollo de capacidades. La resiliencia sólo puede lograrse con la educación y capacitación de nuevos cuadros basados en la atención primaria de salud. Según la Declaración de París, los líderes también deberían trabajar para fortalecer la cooperación sanitaria regional de acuerdo con las prioridades nacionales. Entre otras cosas, esto implica fomentar el intercambio de información y habilidades entre socios, así como la cooperación entre naciones para maximizar la capacidad sanitaria actual.

1.4.3 Línea de Acción Estratégica 3

Relacionada con impulsar la capacidad de las redes de servicios de salud para aumentar la accesibilidad y mejorar la preparación y la respuesta a emergencias de salud pública. Para garantizar que todos tengan acceso a las intervenciones de salud pública, incluidos los servicios de salud individuales, comunitarios y poblacionales, es necesaria una red de servicios de salud integral, bien administrada y con buenos recursos. En caso de una emergencia de salud pública, la capacidad de respuesta de toda la red, incluido el primer nivel de atención y los servicios especializados, será crucial para mantener un nivel básico de servicios de salud preventiva y de rutina, incluidos los relacionados con programas prioritarios.

La red de servicios de salud debe desarrollar su capacidad de adaptación, respuesta y reorganización, así como su capacidad para manejar un aumento significativo de la demanda. Esto incluye la capacidad de crear planes de respuesta flexibles para toda la red de servicios de salud para dirigir la distribución de recursos limitados y una rápida toma de decisiones en caso de una emergencia de salud pública.

Para utilizar plenamente las capacidades de todos los subsistemas y sectores (públicos y privados), es necesario fortalecer la gobernanza de los sistemas de salud mediante una mejor gestión y coordinación, así como un enfoque especial en superar la fragmentación de la prestación de servicios. Para lograrlo es necesario incrementar la capacidad de gestión del transporte, la infraestructura crítica, los servicios auxiliares y las redes de salud. Deben establecerse mecanismos para coordinar la atención en todo el espectro de servicios médicos, de acuerdo con las necesidades de los pacientes, con el fin de lograr mejoras continuas en la prestación de atención médica de alta calidad. Las vías directas, los sistemas y procedimientos de información para rastrear los encuentros y resultados de los pacientes, y los indicadores clave de desempeño de una atención de alta calidad son ejemplos de este tipo de mecanismos.

Existe una necesidad urgente de compensación por el daño causado por las fallas en la prestación de servicios y la atención médica que no se encontraba disponible durante la pandemia. Para lograrlo, se deben tomar medidas para mejorar la capacidad de respuesta del primer nivel de atención, incluida la evaluación y rápida adopción de innovaciones en la

atención de salud que se basen en evidencia sólida. Una inversión en la salud futura de las personas y sus comunidades, así como en la resiliencia de los sistemas de salud, también ayudará a garantizar una rápida recuperación de los reveses sanitarios.

El primer nivel de atención es esencial para llevar a cabo programas prioritarios y ampliar el acceso a servicios para quienes son vulnerables. La mayoría de las naciones y territorios han experimentado perturbaciones y una cantidad desproporcionada de financiación insuficiente crónica durante la pandemia. Deben fortalecerse los servicios para el público en general, los grupos vulnerables y los profesionales de la salud, centrándose en la salud mental y el apoyo psicosocial. Es necesario adoptar un enfoque de planificación territorial y mejorar las conexiones entre los servicios sociales y de salud.

Para garantizar la preparación y la respuesta a las emergencias de salud pública, se requiere una mejor planificación y gestión de los recursos humanos, incluidos incentivos y políticas de retención de empleados. Para satisfacer las necesidades de la población de manera oportuna, pertinente, eficiente y eficaz, las naciones y las instituciones de salud deben poder responder con recursos humanos que sean suficientes en número y que posean las habilidades y competencias necesarias. Para mantener la continuidad de la atención en toda la red de servicios de salud, es necesario fortalecer los equipos interprofesionales de salud en el primer nivel de atención e invertir en formación de especialistas.

La adopción de soluciones digitales para mejorar el acceso a los servicios de salud, incluidas las herramientas utilizadas durante la pandemia de COVID-19, debe acelerar las medidas para la transformación digital del sector salud y el fortalecimiento de los sistemas de información. La transición a sistemas de información inter-operables que integren datos sobre enfermedades y factores de riesgo, datos sobre la capacidad de los establecimientos de salud (personal, suministros, medicamentos y otras tecnologías sanitarias) y datos de organizaciones comunitarias y no gubernamentales es necesaria para mejorar el servicio. Para ayudar en la toma de decisiones durante una emergencia de salud pública, es esencial producir información en tiempo real sobre indicadores importantes de los servicios de salud, los efectos de enfermedades o lesiones en diversos grupos de población, y análisis de vulnerabilidades y género.

1.4.4 Línea de Acción Estratégica 4

Se debe aumentar y mantener la financiación para la salud y la protección social, y se deben implementar políticas para abordar los determinantes sociales, ambientales y económicos de la salud. Se necesitará un mayor y continuo financiamiento para la salud pública a la luz de las inciertas perspectivas económicas de la Región de las Américas para apoyar la transformación del sistema de salud, el aumento de la resiliencia y la recuperación del terreno perdido en el pasado. Dado que la Región aún está lejos de alcanzar esta meta, los esfuerzos para avanzar hacia la asignación del 6% del PIB al gasto

público en salud como punto de referencia y la eliminación de los pagos directos que sirven como barrera de acceso son más importantes que nunca.

Para que las FESP puedan realizar tareas como las relacionadas con la implementación del Reglamento Sanitario Internacional y la reducción y gestión del riesgo de desastres, se requiere una inversión adicional. Se deben incorporar medidas en las políticas y planes nacionales de salud, junto con las asignaciones presupuestarias necesarias, de conformidad con las evaluaciones multisectoriales y dirigidas por los países de las FESP.

La asignación de prioridad en ampliar la fuerza laboral de salud pública y mejorar la capacidad de las redes de servicios de salud para anticipar y responder a las emergencias, teniendo debidamente en cuenta el primer nivel de atención y las medidas territoriales. Para el mantenimiento y avance de la evaluación de riesgos para la salud pública, se requieren laboratorios, suministros, medicamentos y otras tecnologías sanitarias (incluidas vacunas), infraestructura de salud, participación comunitaria y comunicación, inversiones de capital y costos fijos en los presupuestos nacionales.

Según el pacto por la atención primaria de salud, se debe dar prioridad a las inversiones en el primer nivel de atención, y al menos el 30% del gasto total en salud pública debe destinarse a ello. Para respaldar los beneficios de los servicios integrales (tanto a nivel individual como poblacional), así como para mejorar la adaptabilidad, la capacidad de respuesta y la resiliencia de los sistemas de salud, se requieren más inversiones en infraestructura y servicios auxiliares, tecnologías digitales y de salud, educación, contratación y retención de personal de salud (incluidos trabajadores de salud comunitarios), así como en el desarrollo de equipos de salud interprofesionales.

Además de los esfuerzos en curso para ampliar el espacio financiero, se requiere capacidad en las áreas de planificación financiera y gestión de los sistemas de salud para aumentar la eficacia y disminuir la segmentación del financiamiento. Para financiar plenamente los planes nacionales de salud y respuesta, es necesario coordinar y armonizar la financiación proporcionada por las instituciones financieras y los donantes internacionales, aumentar la capacidad de cálculo de costos, presupuesto y asignación de recursos, maximizar el uso de los recursos ya disponibles.

Se debe utilizar un proceso de planificación presupuestaria estratégica con el objetivo de mejorar la salud pública para respaldar las acciones tomadas por las autoridades sanitarias para mejorar el desempeño de sus funciones financieras, incluida la recaudación, la asignación y la previsión. A través de mecanismos institucionales de supervisión y regulación, se debe mejorar la calidad, eficiencia y transparencia de estas funciones. Para abordar los determinantes sociales, ambientales y económicos de la salud, se requiere una acción intersectorial que apoye las funciones sociales, de salud y de financiamiento público.

La acción gubernamental para reducir el grado de informalidad en las economías de la Región acelerará la reducción de la pobreza, alentará la recuperación y apoyará el desarrollo o fortalecimiento de programas y mecanismos de protección social, como los relacionados con la seguridad del ingreso, que protegen a los más vulnerables. Reducir las desigualdades y acelerar el restablecimiento de los avances en materia de salud fortaleciendo la protección social, ambiental y económica en el área de la salud. Esto incluye tomar medidas para abordar el ámbito generacional de que los niños, jóvenes y adultos tardan mucho en recuperarse de la pandemia.

Para garantizar que la población esté protegida en caso de futuras emergencias de salud pública, esto también debe ser un componente clave de la planificación intersectorial para la preparación y respuesta a una pandemia. La profundidad, amplitud y duración de las crisis de salud pública se pueden reducir significativamente haciendo planes para implementar programas de protección social en emergencias y programas de seguridad de ingresos durante tiempos de crisis, especialmente en lo que respecta a sus repercusiones socioeconómicas.

El sector de la salud deberá asumir su papel de actor principal, incluso mediante la negociación de acuerdos de préstamo, para apoyar el desarrollo o el fortalecimiento de la resiliencia de los sistemas de salud y las sociedades en su conjunto, a medida que los países presenten solicitudes de financiación a las instituciones financieras internacionales para apoyar la salud, la transformación del sector y protección social post-COVID-19.

Capítulo II

Hacia Nuevos Esquemas de Salud Pública

2.1 Nuevos Tiempos Para el Sistema de Salud Pública

La necesidad de una visión más integral de la salud pública para hacer frente a los desafíos del siglo XXI es el principal impulsor de la necesidad de revisar y actualizar el enfoque de las Funciones Esenciales de Salud Pública (FESP). Un objetivo importante de la agenda para mejorar la salud pública en las naciones, así como a nivel regional e internacional, debe ser abordar la creciente amenaza que las enfermedades infecciosas representan para la salud de la población.

No debemos ignorar los importantes y recientes antecedentes de este siglo que han dado forma a los enormes desafíos en la respuesta a la pandemia de COVID-19. En este contexto, es importante mencionar la pandemia de gripe H1N1 de 2009, el brote del virus del Ébola en África occidental en 2014 y 2015, y la introducción de los virus Chikungunya y Zika en 2013 y 2015. Los brotes de enfermedades presentan una amenaza constante a la capacidad del sistema de salud para responder con la suficiente rapidez como para garantizar que los pacientes tengan acceso a tratamientos médicos de alta calidad.

Además, existen factores políticos, sociales y económicos que afectan la salud y la equidad sanitaria de la población pero que, históricamente, quedan fuera del ámbito de la salud pública y exigen soluciones creativas. Desde que se creó la FESP en 2002, los cambios socioeconómicos y políticos han dado lugar al surgimiento de problemas de salud pública nuevos, costosos y ampliamente difundidos, que han aumentado la necesidad de que los sistemas de salud estén mejor equipados para abordarlos.

Las nuevas condiciones epidemiológicas y socioeconómicas han contribuido a un aumento de las enfermedades no transmisibles, la angustia mental, la discapacidad, los accidentes automovilísticos y la violencia doméstica e interpersonal. Estas condiciones han ocupado los primeros lugares entre los principales problemas de salud que exigen una estrategia intersectorial, la mejora de la seguridad social y los sistemas de salud.

Las poblaciones afectadas por estos desplazamientos también son más vulnerables como resultado de la migración irregular y forzada, que se ve impulsada en gran medida por factores económicos, actividades ilegales (como el tráfico de drogas y el crimen organizado), conflictos armados y violencia. Tener acceso limitado a la atención y los servicios aumenta el riesgo de violencia, abuso, lesiones y enfermedades. Es necesario abordar de inmediato la amenaza a la salud pública que plantea el cambio climático, la región de las Américas es propensa a sufrir desastres naturales como huracanes, erupciones volcánicas, terremotos e inundaciones, que frecuentemente provocan muertes y daños al medio ambiente y la infraestructura.

La integración del mercado global y el crecimiento de los flujos internacionales de personas, patógenos, información, mercados y dinero presentan cada vez más dificultades para las políticas y prácticas de salud pública. Dado que la apertura de rutas comerciales y de viajes internacionales ha ido acompañada de la propagación de estas enfermedades y sus vectores, uno de estos efectos es la alteración de los patrones epidemiológicos de las enfermedades transmisibles. Ejemplos importantes incluyen modificaciones a las normas internacionales de protección de patentes, que tienen un impacto en el acceso de los pacientes a los medicamentos necesarios. Estas cuestiones resaltan la necesidad de colaboración entre naciones y organizaciones en entornos supranacionales para abordar los determinantes sociales de la salud en las políticas internacionales.

El continuo abandono de la salud pública, que ha empeorado con el tiempo y sigue siendo fuente de quejas sociales en la Región, es otra buena justificación para actualizar las FESP. Es importante señalar que en los últimos años se ha observado una menor inversión y una disminución del valor percibido de ciertas intervenciones, incluidas las relacionadas con la seguridad alimentaria, el agua potable, la inmunización y el control de enfermedades transmisibles. El número de muertes maternas e infantiles, incluidas las provocadas por deficiencias nutricionales, sigue siendo elevado en algunos de los países de la región, al igual que la carga de enfermedades transmisibles. La persistencia y el resurgimiento de algunas enfermedades infecciosas vinculadas a cambios socioeconómicos y ambientales, como las enfermedades arbovirales y el resurgimiento del cólera, ponen de relieve la necesidad de intensificar las iniciativas de salud pública.

Las grandes diferencias en estos ámbitos, tanto entre los países de la Región como entre diferentes grupos sociales de la población dentro de un mismo país, ocultan las victorias más significativas de los últimos 20 años, como la disminución de los niveles de pobreza extrema y el hambre, la reducción de la mortalidad en niños menores de 1 y 5 años, y constatando avances en la sostenibilidad ambiental, que llevan a la persistencia de desigualdades evitables en materia de salud. Sumado a los factores antes mencionados, los sistemas de salud continúan siendo insuficientes para satisfacer las demandas de la población, lo que repercute en el bienestar personal y social. La falta de profesionales de la salud, la persistencia de diversas barreras de acceso, la existencia de instituciones de salud sin infraestructura adecuada y la baja inversión se combinan para crear importantes fallas estructurales en los sistemas de salud actuales.

Estas fallas también reflejan una falta de coherencia y cumplimiento en la planificación de iniciativas de salud pública, así como una falta de vinculación y coordinación de los servicios de salud públicos y privados necesarios. En un sentido más amplio, los desafíos que enfrentan las autoridades sanitarias al desempeñar sus responsabilidades de rectoría del sistema de salud de manera consistente y metódica. La mayoría de las intervenciones y programas de salud pública son administrados por varias

agencias gubernamentales que funcionan bajo estructuras institucionales fragmentadas y frecuentemente de manera inconsistente. El impacto limitado de muchas políticas de salud pública en la salud de la población se debe a su naturaleza vertical, su enfoque exclusivo en unas pocas enfermedades y su mala coordinación con otros campos sociales relacionados. Para ayudar a que los programas individuales de salud pública logren rigor y coherencia en su planificación en este caso, es necesario fortalecer un enfoque integrado.

En los últimos años, las autoridades sanitarias han adoptado estrategias regionales que delinean caminos tácticos a seguir en relación con el ejercicio de las FESP. Estos enfatizan un método centrado en mejorar las capacidades de las autoridades sanitarias desde el punto de vista de los sistemas de salud basados en la atención primaria de salud, entendida como una estrategia integral de organización y funcionamiento del sistema de salud como un todo. El objetivo principal es hacer realidad el derecho universal a la salud, que se basa en la atención integral y los esfuerzos coordinados para promover la salud, prevenir enfermedades e implementar intervenciones basadas en la población, ampliando los límites de una concepción de los sistemas de salud que se limita a la prestación de servicios de cuidado personal.

La Estrategia para el Acceso Universal a la Salud y la Cobertura Universal de Salud, que fue aprobada por los Estados Miembros de la Organización Panamericana de la Salud (OPS) en octubre de 2014, es la primera de estas referencias ineludibles a la aplicación de las FESP. Esta estrategia se desarrolló en respuesta a los problemas actuales que enfrentan los sistemas de salud de la Región, en particular las condiciones desiguales de acceso y el enfoque en los servicios curativos a expensas de los servicios de prevención y promoción que abordan los determinantes sociales y ambientales de la salud.

La estrategia reconoce la necesidad de incrementar el acceso equitativo a los servicios integrales de salud, los cuales se definen como aquellas acciones poblacionales y/o individuales, culturales, étnicas y lingüísticas adecuadas, con enfoque de género, que tomen en cuenta las necesidades diferenciadas de promover salud, prevenir enfermedades, prestar atención a la enfermedad y ofrecer los cuidados necesarios a corto, mediano y largo plazo, para afrontar estos desafíos.

De manera similar, la estrategia promueve el desarrollo de un modelo de atención centrado en los individuos y las comunidades, sugiere la creación de mecanismos de cooperación entre diversos sectores gubernamentales y no gubernamentales para abordar los determinantes sociales de la salud. Para lograr el acceso universal, que se define como la ausencia de barreras de tipo geográfico, económico, sociocultural, organizacional o de género, es crucial asegurar el ejercicio de las FESP, que impidan a todas las personas utilizar servicios integrales de salud, en la medida en que las FESP sirven como hoja de ruta para acciones cruciales para fortalecer la salud pública y los sistemas de atención sanitaria basados en la atención primaria.

El marco sobre sistemas de salud resilientes fue aprobado durante el 55° Consejo Directivo de la OPS en septiembre de 2016, lo que es otra razón para renovar el ejercicio de las FESP. Esta resolución, junto con la estrategia para el acceso universal a la salud y la cobertura sanitaria universal, tiene una validez central como expresión de la necesidad de abordar los problemas y dificultades que enfrentan los sistemas de salud al responder a los brotes de enfermedades y desastres que tienen un impacto inmediato en la salud de la población, con opciones de políticas integrales, fuera del alcance de los servicios de recuperación de la salud.

La importancia y los efectos perturbadores de la epidemia mundial de COVID-19 en la salud, la sociedad y la economía también tienen un precedente reciente en otras epidemias como la gripe H1N1, el brote de la enfermedad del virus del Ébola en África occidental, la fiebre Chikungunya y el virus del Zika; desastres naturales como los terremotos en Chile y Ecuador, el más reciente huracán Matthew en Haití y las Bahamas, los efectos del cambio climático en la salud y el medio ambiente, como en la región del Chaco de Paraguay, son fenómenos que han expuesto la vulnerabilidad de los sistemas nacionales de salud en la Región de las Américas.

Además, estas resoluciones brindan recomendaciones de políticas que garantizarán que los sistemas de salud sean receptivos y adaptables frente a los riesgos inmediatos y de corto plazo para la salud de la población. En este contexto, se enfatiza que los países deben mejorar el ejercicio de las FESP como parte de la mejora de sus sistemas de salud, lo que incluye mejorar las capacidades fundamentales descritas en el Reglamento Sanitario Internacional (RSI). También se señala que las iniciativas para aumentar la resiliencia de los sistemas de salud deberían ir más allá de reforzar su capacidad para responder a riesgos, catástrofes y brotes de enfermedades y, en cambio, deberían enmarcarse dentro del desarrollo sostenible como un componente de los sistemas de salud. La protección social en el ámbito de la salud también debe abordar otras amenazas persistentes a la salud y el bienestar de la población, como el malestar social y la creciente incidencia de enfermedades no transmisibles.

Se requiere una estrategia integrada en las áreas de reducción del riesgo de desastres, vigilancia de enfermedades y gestión de brotes, así como el fortalecimiento general de los sistemas de salud, incluso en lo que respecta a la gobernanza y la regulación del sector de la salud, a fin de lograr objetivos duraderos. El marco de sistemas de salud resilientes enfatiza la importancia de realizar inversiones en servicios de atención de primer nivel y garantizar que haya capacidad de reserva, con el suministro necesario de personal de salud calificado, financiamiento, medicamentos y tecnología médica, para permitir que los servicios de salud pública se puedan implementar rápidamente, además de ampliarse durante eventos de salud graves repentinos o continuos.

La Agenda de Salud Sostenible para las Américas 2018-2030: Un llamado a la acción para la salud y el bienestar en la región, que fue aprobada en 2017 en la Conferencia Sanitaria Panamericana, es otra fuente importante; La agenda delinea objetivos, metas e indicadores como expresión de los compromisos de los países en relación a los desafíos actuales y emergentes en salud pública, y menciona específicamente la necesidad de fortalecer las FESP como elemento clave para reforzar la rectoría y gobernanza, con una perspectiva transversal en el fortalecimiento del resto de objetivos definidos. La Estrategia para el Acceso Universal a la Salud y la Cobertura Universal de Salud, los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) están incluidos en la Agenda de Salud Sostenible para las Américas 2018-2030.

Después de que la Asamblea Mundial de la Salud aprobara la resolución sobre el fortalecimiento de las funciones esenciales de salud pública para ayudar a lograr la cobertura sanitaria universal a finales de mayo de 2016, el debate sobre la necesidad de fortalecer las FESP ganó nueva atención a escala mundial. El brote de enfermedad por el virus del Ébola en África occidental puso de relieve la necesidad de fortalecer la capacidad de los sistemas de salud para responder mejor a las necesidades de la población, y la resolución promovió la búsqueda de fortalecer las capacidades de salud pública. Además, dio a la agenda de las FESP en las distintas oficinas regionales de la OMS un nuevo impulso para su capitalización, racionalización y promoción. Esto se hizo en reconocimiento del papel fundamental que desempeñan las FESP en el aseguramiento de capacidades de salud y el fortalecimiento del acceso a servicios de promoción, protección y prevención, entre otros aportes.

En este contexto, la OMS ha pedido un mayor debate sobre las experiencias regionales de las FESP y sus conexiones con el RSI (Reglamento Sanitario Internacional) y los sistemas de salud. El enfoque actual en la solidez de los sistemas de salud y la adhesión de los Estados Miembros al RSI brinda la oportunidad de enfatizar cómo se puede utilizar una salud pública sólida para construir sistemas de salud resilientes. Muchos de los marcos regionales de FESP, sistemas de salud y RSI se superponen claramente, según revisiones preliminares, que están respaldadas por numerosos ejemplos del mundo real de eventos importantes de salud pública. Las relaciones entre las FESP, el RSI y el fortalecimiento de los sistemas de salud deben definirse y ponerse operativas porque son cruciales para la planificación de los sistemas de salud.

De manera similar, la reciente resolución al COVID-19, aprobada durante la Asamblea Mundial de la Salud en mayo de 2020, enfatiza la necesidad de una respuesta multisectorial, con la participación de todos los niveles de gobierno y de la sociedad en general, para fortalecer la salud y sistemas de apoyo social de manera sostenible, así como su capacidad de preparación, vigilancia y respuesta. Es por ello que los estados miembros de la OMS reconocen el impacto desproporcionado de la pandemia de COVID-19 en la

población más vulnerable y sus efectos en la salud, el progreso del desarrollo. También se comprometen a garantizar el funcionamiento continuo de los sistemas de salud para brindar una respuesta de salud pública eficaz a la pandemia de COVID-19 y otras pandemias en curso, así como el acceso continuo a servicios tanto individuales como colectivos.

Los Estados miembros también asumen la obligación de implementar planes de acción nacionales integrales que tengan en cuenta el género, la edad y la discapacidad, garantizando al mismo tiempo la protección de las libertades fundamentales y los derechos humanos. Es importante hacer hincapié en las necesidades de quienes corren mayor riesgo, fomentar la cohesión social, adoptar las medidas necesarias para garantizar la protección social y contra las dificultades financieras y evitar la inseguridad, la violencia, la discriminación, el estigma y la marginación.

Desde la iniciativa Salud Pública en las Américas, la adopción por parte de la Asamblea General de las Naciones Unidas de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible en septiembre de 2015, representa otro cambio significativo en el panorama internacional. Asegurando que la salud es un derecho humano en todas sus dimensiones, el alcance de los 17 ODS vinculados a esta agenda requiere enfoques más integrados y colaborativos para abordar la mejora de la salud y reducir las causas de las inequidades en esta área en la Región. Esta hoja de ruta exige que los sistemas de salud desempeñen un papel más decisivo en las iniciativas para mejorar la equidad y la salud de la población, así como ayudar a que los esfuerzos de otros sectores sean más coherentes y sinérgicos a escala global, y a nivel regional.

Como resultado, abordar esta tarea requiere la colaboración de diversos sectores gubernamentales, comerciales y sociales, para ello es importante abordar problemas actuales en salud pública, de esta manera, la renovación de las FESP es una contribución significativa a la salud de la población y es un componente de una iniciativa integral para abordar ODS específicos. Otros marcos, planes y declaraciones recientes, como la Declaración de Helsinki de 2014 sobre la salud en todas las políticas y la Declaración política de Río sobre los determinantes sociales de la salud de 2011, enfatizan aún más la necesidad de esto. Estas declaraciones respaldan la estrategia de abordar los determinantes sociales de la salud, involucrando sistemáticamente a todos los sectores cuyas acciones tienen un impacto en la salud y utilizando sinergias para prevenir resultados negativos. Como resultado, sirven como recursos pertinentes para la aplicación de las FESP y permiten identificar iniciativas intersectoriales y políticas públicas integrales que son esenciales para avanzar en el derecho a la salud y lograr la equidad.

La más reciente Declaración de Astaná sobre Atención Primaria de Salud, que se adoptó en octubre de 2018 para conmemorar el 40° aniversario de la Declaración de Alma-Ata, ofrece otra razón más para revisar y actualizar las FESP. Al esbozar la necesidad de mejorar la capacidad y la infraestructura del primer nivel de atención y dar prioridad a las

FESP, las medidas de prevención de enfermedades y la promoción de la salud, esta declaración establece una nueva visión para los sistemas de salud basados en la atención primaria, al reconocer que los sistemas de salud basados en la atención primaria deben proporcionar una amplia gama de servicios integrales de prevención, promoción, curación, rehabilitación y cuidados paliativos, que requieren ser accesibles, equitativos; esta declaración aborda campos de alta prioridad para la salud pública. Proporcionar atención integral y de alta calidad a todas las personas para satisfacer sus necesidades de salud a lo largo de toda su vida.

2.2 Las Nuevas Funciones Esenciales de la Salud Pública

Las responsabilidades de las Funciones Esenciales de la Salud Pública (FESP) de evaluar, investigar, monitorear, identificar las inequidades en salud y analizar las causas de la mala salud implican una consideración de los determinantes sociales, así como de las causas de las necesidades de salud de la comunidad. Estas FESP son necesarias para reforzar las capacidades de inteligencia; es decir, para el análisis de la situación de salud de la población; la evaluación y el seguimiento de la eficacia de los sistemas de salud y la investigación sanitaria. La eficacia de las políticas de salud, la capacidad de los sistemas de salud para satisfacer las necesidades de la población queda demostrada por los datos empíricos recopilados durante estos procesos. Todos estos sirven como información básica para el desarrollo de políticas y exigen la movilización comunitaria y la educación sobre temas de salud.

2.2.1 Monitorear y Evaluar: la Salud, el Bienestar, la Equidad, Los Determinantes Sociales, la Eficacia y el Impacto de los Sistemas de Salud (FESP N°1)

Contiene las medidas tomadas para garantizar que se disponga de datos sobre la salud y el bienestar de la población, la equidad en relación con la salud, los determinantes sociales de la salud, la capacidad del sistema de salud para responder y las acciones de salud pública a nivel poblacional e individual, analizado y utilizado. El objetivo de esta función es mejorar la capacidad de las autoridades sanitarias para llevar a cabo procedimientos de seguimiento y evaluación, incluido el uso de tecnologías de la información, gestión de datos, previsión, creación, análisis y uso de escenarios; utilización de estos datos en el desarrollo de planes sectoriales y políticas de salud para abordar las necesidades de salud de la población.

Desde el cambio de siglo, existe una mayor aceleración de la institucionalización de los sistemas de seguimiento y evaluación en la Región, particularmente en América Latina y el Caribe, como resultado del establecimiento de unidades y componentes de esta función por parte de varios gobiernos de países de la región, así como el creciente interés de organizaciones de la sociedad civil, que promovieron su uso como táctica para asegurar la transparencia y la rendición de cuentas.

En términos de estructuras gubernamentales dentro del sector salud, destaca el establecimiento de organizaciones encargadas de coordinar la evaluación y generación de datos científicos sobre la eficacia, el costo y el impacto de las tecnologías sanitarias. En muchas naciones de la Región, estas evaluaciones sirven como una herramienta crucial para tomar decisiones lógicas. De manera similar, las unidades encargadas de la gestión de los servicios de atención han impulsado el crecimiento de unidades cuya función principal es organizar y realizar la supervisión, seguimiento y evaluación de la gestión de los establecimientos de salud.

La integración de datos e indicadores sobre producción, calidad, costos, cobertura y desempeño de bienes y servicios fue un área en la que estas iniciativas a menudo hicieron una contribución significativa al desarrollo de sistemas de información sectoriales en el campo de la salud; así como estadísticas sobre la salud de la población. Estos sistemas se articulan en gran medida con la planificación y metas de mediano plazo, y registran y ponen a disposición la información de manera exhaustiva.

La incapacidad de la mayoría de las naciones para rastrear y evaluar la equidad en el área de la salud y sus determinantes presenta dificultades. Estos son atribuibles principalmente a la capacidad de los sistemas de información para proporcionar datos que permitan realizar comparaciones entre subgrupos de población y el desarrollo de habilidades técnicas para monitorear, analizar y comunicar dicha información. Tal es el caso de muchos países donde no existen encuestas de salud en los hogares que recopilen información sobre los diversos aspectos de la equidad, como el género, la residencia urbana o rural, la posición económica y otros factores.

Muchas naciones de la región cuentan con algún tipo de sistema de seguimiento y evaluación de sus estrategias nacionales de salud, lo que implica la creación de encuestas, sistemas de indicadores de resultados y la evaluación de estas políticas utilizando una variedad de instrumentos. También se destaca la existencia de diversos proyectos relacionados con la salud con financiamiento internacional que incluyen, entre otros compromisos, la ejecución de evaluaciones intermedias y seguimiento con el uso de indicadores o metas. Complementariamente se realizan evaluaciones externas, finales o de impacto.

A pesar de estos avances, persisten lagunas en la institucionalización del seguimiento y la evaluación como táctica para mejorar el calibre y la gestión de las políticas, favoreciendo el uso de sus conclusiones y recomendaciones. El nivel de desarrollo en términos de planificación y metodologías utilizadas es menor, a pesar de que un número cada vez mayor de gobiernos de países de la Región reconoce hoy su función de seguimiento y evaluación, principalmente a través de la adopción de leyes, decretos o modificaciones administrativas que establecen su carácter obligatorio; principalmente porque no hay muchos países con regulaciones bien desarrolladas que rijan tipos

particulares de evaluación o el uso sistemático de técnicas particulares, junto con un proceso de planificación de actividades.

Dado que no existen mecanismos claros mediante los cuales los hallazgos puedan usarse como insumos en el proceso de políticas públicas, el alcance y la aplicación de los resultados también ponen de relieve desafíos importantes. Investigaciones recientes sobre las estructuras y procedimientos creados para el seguimiento y la evaluación de programas y proyectos revelan que casi todos los países de la Región reciben muy malas calificaciones cuando sus sistemas de seguimiento y evaluación se evalúan sobre la base de la presencia de instituciones con un papel en la realización de actividades de seguimiento, el alcance e integración con programas y proyectos, el uso y difusión de la información producida, y la calidad del sistema de información estadística.

Si bien las naciones de la Región han mejorado significativamente sus sistemas de información de salud, todavía enfrentan importantes dificultades para garantizar datos precisos, oportunos y seguros en el formato adecuado. La gran mayoría de los esfuerzos se han centrado en la creación de tecnologías de software y la adopción de soluciones tecnológicas discretas, mientras que el desarrollo de capacidades para el uso eficiente de la información en la toma de decisiones ha recibido menos atención.

Persisten una serie de problemas relacionados con el alcance limitado de los sistemas de información actuales, incluido su enfoque exclusivo en la recopilación de datos del sector público, su capacidad limitada para analizar datos, su incapacidad para proporcionar datos desglosados para el análisis de la equidad, su sesgo hacia los datos cuantitativos y las irregularidades en las encuestas de población. Además, existen numerosos sistemas de información que actualmente están conectados a diversos programas para diversas enfermedades pero que no tienen interconexión. Debido principalmente a la falta de interoperabilidad y de protocolos institucionalizados para el intercambio y la gestión de la información, estos sistemas de información con frecuencia no satisfacen todas las necesidades de seguimiento y evaluación de las autoridades sanitarias. De la misma manera, es importante aumentar la capacidad de los sistemas de salud para utilizar e integrar información que se produce de manera menos formal y sistematizada, como la que se encuentra en las redes sociales y otros medios relacionados con la Salud.

El ejercicio de esta función requiere de la existencia de instancias legítimas e institucionalizadas con la facultad y obligación de definir y asumir los roles asociados al sistema de seguimiento y evaluación de las políticas y programas de salud pública. Un plan exhaustivo de seguimiento y evaluación, junto con la presencia de mecanismos eficaces de gobernanza y coordinación entre los actores, son elementos esenciales de este procedimiento. Para lograr la armonización y apoyar un enfoque estatal integrado de monitoreo y evaluación, también es necesario mejorar la coordinación intersectorial dada la naturaleza intersectorial de la salud pública y el enfoque de los determinantes sociales.

Se requieren sistemas integrados de información sanitaria para respaldar las responsabilidades de liderazgo y gobernanza de las autoridades sanitarias. Los Estados Miembros de la OPS aprobaron el Plan de Acción para el Fortalecimiento de los Sistemas de Información para la Salud 2019-2023 en octubre de 2019. En él se describen componentes clave de acción para garantizar la innovación, la integración y la convergencia, incluido el refuerzo de los mecanismos de gobernanza de los sistemas de información para la salud mediante el desarrollo de sistemas de información interconectados, y la producción e intercambio de información técnica y científica.

Un enfoque intersectorial, así como la interconectividad e interoperabilidad de los sistemas de información participantes, son necesarios para el proceso de generación de información relacionada con la situación de salud y equidad, que respalde la calidad, transparencia, seguridad, privacidad y confidencialidad de la información. Un aspecto que ayuda en el desarrollo de sistemas de información es el liderazgo de las autoridades de salud, que priorizan el desarrollo de capacidades a largo plazo sobre las necesidades urgentes, junto con un enfoque holístico para fortalecer un sistema de información unificado en lugar de enfoques selectivos que se centran en las necesidades de datos específicos.

Para monitorear y garantizar que el sector privado cumpla con los requisitos de reporte de información de salud, es necesario fortalecer el papel de las autoridades sanitarias. Para asegurar un desarrollo integral de sistemas de información en los que se prioricen las necesidades nacionales de seguimiento y evaluación, más que las necesidades nacionales, el liderazgo de las autoridades sanitarias también es crucial durante los procesos de negociación con los organismos internacionales en materia de financiamiento.

Además del desarrollo de estándares de interoperabilidad y la modernización de los procesos de monitoreo y evaluación a través de nuevas oportunidades de innovación y producción de datos, los marcos regulatorios y operativos deben fortalecer las instituciones que producen y analizan la información (como institutos de estadística, oficinas de registro civil, o salas de situación sanitaria).

Luego de un desglose de los distintos niveles de población, este proceso debe tener en cuenta todos los niveles institucionales del sistema, incluidos los niveles nacionales, subnacional, interinstitucional e internacional, con un enfoque en las necesidades de los individuos, las comunidades y las poblaciones; así como sus mayores vulnerabilidades. En este sentido, la mejora de los sistemas de información para la inclusión de métricas sobre los determinantes sociales de la salud en los sistemas de seguimiento y evaluación, como las diferencias de ingresos, educación, empleo y necesidades básicas insatisfechas, sirven como base para mejorar la gestión pública y programas y políticas sociales que afectan la salud y la equidad.

Dentro de este marco se requiere el desarrollo de las habilidades técnicas necesarias para el seguimiento y análisis de datos, así como iniciativas para mejorar la recopilación, la calidad y el uso de datos para el seguimiento y evaluación de la equidad en el campo de la salud. Para fortalecer las fuentes de datos, se deben hacer esfuerzos para ampliar y realizar encuestas de hogares de forma regular y recurrente, idealmente cada pocos años en todos los países, y armonizar los datos recopilados de los establecimientos utilizando técnicas como la estandarización de los registros electrónicos de todas las instituciones.

De manera similar, es fundamental asegurarse de que los diseños de evaluación incorporen un análisis de los factores políticos y sociales que influyen en las inequidades en salud, como las disparidades económicas, la influencia política y las fallas en las redes de seguridad social. En este marco, los sistemas de seguimiento y evaluación de la salud y el análisis que apoyan son herramientas para la formulación, implementación y evaluación de políticas relacionadas con la salud, un proceso que requiere aportes adicionales; con un diálogo social que permita a las autoridades sanitarias rendir cuentas ante los actores sociales.

2.2.2 Vigilar la Salud Pública: Gestión y Control de Riesgos y Emergencias Sanitarias (FESP N°2)

Para garantizar una adecuada vigilancia, control, gestión y respuesta a los riesgos para la salud, incluidos brotes de enfermedades transmisibles, emergencias, factores de riesgo de enfermedades no transmisibles, salud mental y lesiones, entre otros temas, esta función tiene en cuenta el fortalecimiento del marco institucional y de liderazgo.

El procesamiento sistemático de información para la acción sirve como eje en torno al cual se organizan diversos tipos de prácticas que conforman esta función. Estos procedimientos incluyen la vigilancia epidemiológica de enfermedades transmisibles, así como la vigilancia en el área de salud pública para apoyar la toma de decisiones sobre medidas preventivas y correctivas de eventos relacionados con la salud (riesgos y daños) o para sugerir acciones para promover la buena salud.

Además de la nutrición, el crecimiento y el desarrollo, la lactancia materna y la salud ocupacional, esta función también abarca otras buenas condiciones de salud, el gobierno local es responsable de la vigilancia de los determinantes de la salud en un área particular, y también incluye prácticas para la promoción de la salud tanto individual como grupal desde una perspectiva intersectorial. El trabajo también implica estar atento a los problemas y riesgos de salud relacionados con la producción, distribución y consumo de bienes (como alimentos) y la prestación de servicios de atención médica (como medicamentos y dispositivos médicos), que típicamente se incluye en organizaciones que forman parte de las autoridades sanitarias, designación administrativa que le otorga cierta autonomía.

El último componente es la vigilancia de la salud ambiental, que se enfoca en acciones para identificar factores ambientales que afectan la salud humana para sugerir medidas de prevención y control. El seguimiento de situaciones durante emergencias es una aplicación específica de esta vigilancia.

Numerosas naciones de la región demuestran avances significativos en los diversos elementos que integran el sistema de vigilancia epidemiológica, principalmente de enfermedades transmisibles, incluyendo los relacionados con eventos, normas y protocolos, la articulación de estrategias, circuitos, y productos (boletines e informes). En otras palabras, normalmente cumplen las reglas que determinan la función de vigilancia, que es la recopilación sistemática y rápida de datos para las medidas de control.

Algunas naciones de la región han logrado avances tanto en experiencias innovadoras como en experiencias de evaluación de sistemas de vigilancia. Un ejemplo de ello es la elaboración de planes para combatir la malaria en las zonas fronterizas de la región andina y Surinam, el seguimiento de las infecciones respiratorias agudas graves (IRAG) en hospitales de Belo Horizonte y la prevención de importantes enfermedades endémicas como el dengue en Brasil.

En el ámbito de aplicación supranacional, la Región comenzó a desarrollar redes de vigilancia. Un ejemplo de esto es la Red Suramericana de Vigilancia y Respuesta en Salud, que fue impulsada por el Consejo Suramericano de Salud de la Unión de Naciones Suramericanas (UNASUR) en 2009. Esta red surgió de la fusión de dos propuestas subregionales: la Comisión de Vigilancia Sanitaria del MERCOSUR de 1998 y la Red Andina de Vigilancia Epidemiológica de la comunidad de países andinos en 1996. Como parte de los avances de la red se revisó y modificó el instrumento de la Organización Mundial de la Salud (OMS) para el seguimiento de las capacidades fundamentales reseñadas en el Reglamento Sanitario Internacional (RSI) de 2005, así como los acuerdos sobre priorización de eventos bajo vigilancia y creación de una herramienta informática común de notificación (VIGISAS).

La creación del documento Sistemas de Vigilancia de la Influenza y Otros Virus Respiratorios en las Américas, que fue coordinado por la OPS, es otra experiencia significativa de vigilancia supranacional. Los datos proporcionados por cada nación de las Américas permiten la vigilancia oportuna de los virus respiratorios que se propagan por todo el continente y también demuestran la viabilidad de desarrollar extensas redes de vigilancia. Además de la pandemia de COVID-19 de 2020, estas capacidades han sido esenciales para responder a otras crisis de salud pública recientes, como la pandemia de gripe H1N1 de 2009, el brote epidémico del virus del Ébola de 2014 y el virus del Zika y el cólera (Haití) en 2016. Sin embargo, estas crisis también han puesto de relieve las dificultades que la comunidad mundial y las autoridades sanitarias nacionales siguen encontrando para responder a estos graves acontecimientos.

Varias naciones de la Región ampliaron el alcance de la vigilancia de la salud pública durante los últimos diez años para incluir eventos adicionales y sus factores de riesgo. Para las enfermedades crónicas no transmisibles comunes y sus factores de riesgo, varios países han desarrollado estrategias de vigilancia. La implementación de esta estrategia implica la realización de encuestas poblacionales de hogares que permitan determinar la prevalencia de condiciones y factores de riesgo, como la existencia de diabetes, hipertensión, obesidad, sobrepeso, sedentarismo, consumo de tabaco y hábitos alimentarios (encuestas nacionales de riesgo). La encuesta, que se realiza cada tres a cinco años según el país, permite monitorear los eventos y evaluar las políticas de prevención y promoción. Argentina, Brasil, Chile, Paraguay y Uruguay son algunos de los países de la Región que han logrado avances en esta dirección.

Existen muchas experiencias diferentes que atienden las necesidades regionales en el área de vigilancia de eventos distintos de las enfermedades transmisibles. Los sistemas implementados para monitorear lesiones y delitos violentos en las ciudades de Río de Janeiro (Brasil), Cali y Bogotá (Colombia) y Quito (Ecuador) son ejemplos de esto, al igual que los sistemas de monitoreo de mortalidad materna en Jamaica, y el análisis de la situación en Argentina.

La situación de la función que acabamos de describir aplicada a determinados ámbitos contrasta con el menor desarrollo de la vigilancia en otros campos, como, por ejemplo, los incidentes provocados por la liberación de material químico o biológico o por radiaciones nucleares por accidente, diseño o ocurrencia natural, la vigilancia ambiental y, muy especialmente, el creciente problema de la resistencia microbiana múltiple. Las infecciones por el virus de la inmunodeficiencia humana (VIH) y otras enfermedades fúngicas, parasitarias y virales también se han relacionado con la resistencia microbiana, a pesar de que las enfermedades bacterianas tienen la mayor prevalencia de este fenómeno.

Por lo tanto, en una situación en la que la resistencia microbiana múltiple no se tiene en cuenta en los programas de vigilancia, prevención y gestión de riesgos, se espera que las muertes anuales atribuibles a este problema para 2050 sean de alrededor de 10 millones, con un costo global estimado de 100 mil millones dólares estadounidenses y una disminución del producto interno bruto (PIB) de entre 2 y 3,5 por ciento.

Algunos de los factores que contribuyen a la resistencia microbiana múltiple incluyen el uso inadecuado de medicamentos, la falta de programas lógicos de uso de medicamentos, la presencia de microorganismos multi-resistentes en entornos hospitalarios, infraestructuras hospitalarias y diagnósticos microbiológicos deficientes, y la incapacidad de controlar las infecciones relacionadas con atención médica. Solo el 9% de los países de la Región de las Américas reportaron contar con un plan de acción nacional sobre resistencia microbiana al 2015; el 15% había presentado un informe de progreso quinquenal; y el 37% había informado sobre sus sistemas de vigilancia. En cuanto al uso

inadecuado de antimicrobianos, solo el 49% de los países de la región reportaron contar con una autoridad regulatoria nacional, el 40% reportó contar con estándares de calidad y solo el 40% reportó contar con procesos de inspección de sus estándares de calidad en este campo. Además, el 50% de los países de la región reportaron que estos medicamentos se vendían sin receta.

El número de personas afectadas por desastres (hidrológicos, meteorológicos o geofísicos) aumentó significativamente en 2016 en relación con los riesgos ambientales. La cifra fue de 569,4 millones de personas en todo el mundo, y las Américas nuevamente tuvieron la segunda proporción más alta de desastres reportados (24,3% del total). Los dos desastres naturales de los últimos años que mataron a más personas en todo el mundo fueron el terremoto en Ecuador y el huracán Matthew en Haití. Además, los costos de los daños ascendieron a 3.790 millones de dólares en América del Sur, 4.600 millones de dólares en el Caribe y 48.000 millones de dólares en América del Norte. Si bien se confirma la existencia de algunas experiencias significativas en la región de América del Sur, como la Red de Gestión del Riesgo de Desastres, la vigilancia en el contexto de desastres es un área que necesita ser fortalecida.

Las experiencias son mínimas en términos de vigilancia de determinantes sociales. Sin embargo, hay algunos casos interesantes, como el Programa Nacional de Municipios Saludables de Argentina, que se centra en los gobiernos locales y desarrolla estrategias de vigilancia exhaustivas, en particular de los determinantes sociales, junto con iniciativas para promover la salud. Los gobiernos locales (municipios y comunas) iniciaron en 2009 un procedimiento que culmina con la designación de "saludables". Para lograrlo, deben lograr una serie de objetivos, incluido el establecimiento de una junta de gestión local, la creación de proyectos de intervención que aborden los determinantes sociales y el seguimiento y evaluación de la eficacia del programa.

2.2.3 Promocionar y Administrar Esfuerzos Científicos y Educativos en el Campo de la Salud (FESP N° 3)

Para asegurar estas contribuciones esenciales a la mejora de los sistemas de salud y la salud pública, esta función incluye la generación de conocimiento científico y su integración en el proceso mediante el cual las autoridades sanitarias formulan políticas de salud.

Existe una evolución significativa en los últimos años que cambió el contexto político, los paradigmas y los métodos para realizar y promover la investigación en salud. Las Américas se convirtieron en la primera región de la OMS en contar con un instrumento específico sobre este tema cuando la OPS acordó una Política de Investigación para la Salud en 2009. La estrategia de la OMS sobre investigación para la salud fue adoptada posteriormente por la Asamblea Mundial de la Salud en 2010 y funciona en armonía con la política de la OPS del año anterior. En varias naciones americanas, las agendas de

investigación, las leyes y las políticas se desarrollaron después de la formulación de estas políticas. La Comunidad del Caribe (CARICOM) adoptó una política común en 2017, y 16 naciones informaron tener una política sobre investigación en salud.

A pesar de que la mayoría de los países de la Región cuentan con políticas nacionales sobre investigación para la salud, todavía existen diferencias significativas entre ellos en términos de su capacidad para ofrecer, utilizar y organizar investigaciones para la salud, así como su capacidad para monitorear su desempeño de investigación, al igual que mantener sus políticas y agendas nacionales vigentes a medida que cambian las condiciones (como las condiciones epidemiológicas, el conocimiento científico o las prioridades gubernamentales).

Las Américas, incluida la región del Caribe, producen el 46% de la investigación mundial en salud pública, pero la mayoría de esta investigación (37%) proviene de los Estados Unidos y no siempre es aplicable a los contextos nacionales de otros países. Mientras que la producción de investigación de otros países aumentó y se han hecho esfuerzos significativos para fomentar la formación de equipos de investigación competitivos, los territorios del Caribe todavía tienen los niveles más bajos de producción científica de la región. En comparación con otras regiones, la inversión regional en investigación también es baja. Comparativamente, otras naciones como Alemania, Estados Unidos de América y Japón invierten entre el 2% y el 3% de su PIB en investigación y desarrollo, mientras que los países de América Latina y el Caribe invierten en promedio entre el 0% y el 16% de su PIB en esta área. Son pocos los países que informan de manera consistente y uniforme sobre sus gastos en investigación sanitaria.

Los registros de ensayos clínicos aumentaron la transparencia de la investigación en los últimos diez años y los estándares de presentación de informes de investigación han mejorado. Además, se ha centrado la atención en mejorar el valor de la investigación y evitar que se desperdicie, así como en el desarrollo de metodologías que faciliten la transferencia de conocimientos y la síntesis de evidencia. Si bien destacan la necesidad de ampliar aún más la investigación sobre salud pública, servicios de salud y sistemas de salud, los países han desarrollado plataformas destinadas a aumentar la transparencia y la participación pública en la investigación de salud.

Todavía es necesario ampliar estos avances para cubrir otros tipos de investigación, así como otros recursos y productos de investigación, y hacerlo de manera consistente en todos los países. Además, algunas regiones carecen de sistemas adecuados para organizar y gestionar la investigación, y la comunidad científica aún no ha desarrollado ni utilizado las estructuras y procedimientos que apoyan mejor la investigación, los sistemas y las políticas de salud pública. También es necesario mejorar los procesos de planificación de las inversiones en investigación para que los descubrimientos puedan beneficiar a la salud pública y a los sistemas sanitarios. Además, muchos informes se elaboran utilizando

metodologías obsoletas, lo que hace que la información quede obsoleta cuando esté disponible. Es significativo que no existan consolas que brinden información estandarizada, precisa y oportuna sobre los recursos, capacidades y productos de investigación de los países.

2.2.4 Formular, Implementar y Promocionar la Legislación que Salvaguarde la Salud Pública (FESP N° 4)

El desarrollo de la capacidad de las autoridades sanitarias para crear y aplicar políticas sectoriales que aborden cuestiones de salud de la población y estén respaldadas por los mejores conocimientos disponibles y pertinentes son dos componentes importantes de esta función, como lo es el aumento de su influencia en la creación de un Cuerpo legislativo que establece una estructura institucional formal y regulatoria para el sector salud. El fortalecimiento del marco institucional del sector salud como respuesta a los desafíos y problemas de salud que enfrenta la población debería servir como principio rector para ambos componentes mientras trabajan para avanzar en el acceso y la cobertura universal de salud.

Es necesario interpretar los aspectos que provocan las condiciones de salud y la equidad en relación con la salud de la población para desarrollar estrategias con intervenciones seguras, efectivas y eficientes sobre los factores institucionales, organizacionales y sociales relevantes. También es necesario poseer las habilidades técnicas y políticas necesarias para asegurar la implementación y cumplimiento de estas estrategias. El desarrollo y la implementación de políticas de salud también deben tener en cuenta los determinantes sociales de la salud, así como la importancia del trabajo intersectorial a lo largo del ciclo de políticas, es decir, durante la formulación, planificación, implementación y evaluación de la política.

Las políticas y regulaciones que influyen en la forma en que se asignan los recursos (incluidos los recursos humanos, financieros y tecnológicos) al sistema de salud son una expresión de la eficacia con la que se está llevando a cabo esta función. La elección de un cuerpo legislativo debe tener en cuenta los valores, las concepciones y la estructura institucional formal del Estado, que definen las competencias de los individuos y grupos que componen el sistema de salud.

La gran mayoría de las naciones de la Región han desarrollado planes de políticas de salud que incluyen metas para ampliar las condiciones de cobertura y acceso a los servicios de salud, utilizar el conocimiento y la tecnología para abordar problemas locales y adoptar un enfoque adaptado a los campos conductuales, ambientales y sociales. Con intervenciones sobre diversos tipos de problemas de salud, estas políticas han provocado la priorización de temas y enfoques que frecuentemente están en línea con las prioridades nacionales.

El limitado desarrollo de las capacidades técnicas y políticas necesarias para crear una visión integrada y compartida para el fortalecimiento y la transformación de los sistemas de salud, a pesar de los avances logrados, sigue siendo uno de los principales desafíos. Una visión unificada garantizará la coherencia de las leyes y políticas de salud y la incorporación de una perspectiva del derecho a la salud dentro del marco de los derechos humanos. Si bien los países cuentan con personal capacitado en el desarrollo de políticas, principalmente con conocimientos, experiencia en planificación, gestión estratégica, creación de documentos legales, priorización de políticas de salud pública; existe una distribución desigual de estas capacidades y competencias dentro y entre los países.

En lo que respecta a la adopción e implementación de normas ejecutivas, leyes, decretos reglamentarios y reglamentos relacionados con la salud, también existe una coordinación insuficiente entre el poder legislativo (principalmente las comisiones de salud) y las autoridades sanitarias. Además, existen debilidades en la actualización de prioridades en el campo de la salud, desconocimiento de las obligaciones adquiridas (las relacionadas con el Convenio Marco de la OMS para el Control del Tabaco (CMCT) y restricciones en la capacidad de implementar normas ejecutivas, leyes y regulaciones.

Actores relevantes como la sociedad civil, el sector privado (con la debida atención a los conflictos de intereses), los gestores del conocimiento y la comunidad no siempre están incluidos en los procesos de formulación de políticas. La falta de esfuerzo realizado para mapear las actividades de los aliados actuales y potenciales con el fin de evaluar su nivel de apoyo y capacidad para llevar a cabo políticas de salud es una limitación importante. Es difícil identificar las necesidades de apoyo y las dificultades inminentes en la capacidad de gestión de las instancias subnacionales (estados provinciales y municipios) a la hora de brindar apoyo.

El derecho al "buen vivir", la diversidad cultural y étnica, el acceso a la medicina tradicional, al agua potable, al saneamiento y a una alimentación adecuada, entre otros, han sido incorporados en algunas constituciones nacionales durante los últimos 15 años para garantizar los derechos humanos, fortaleciendo al mismo tiempo los sistemas de protección social. Mientras que otros países aprobaron leyes para garantizar el acceso universal al seguro médico y otras prestaciones médicas, incluido el derecho a bienes de salud como vacunas y medicamentos esenciales, algunas leyes nacionales se han modificado para garantizar el acceso universal a los servicios de salud para poblaciones específicas, como las personas con infección por VIH, discapacidad o trastorno mental, madres y niños, adolescentes y ancianos. De manera similar a cómo se ha aplicado el CMCT, un tratado internacional ratificado, se han introducido leyes nacionales o subnacionales para regular los factores de riesgo de enfermedades no transmisibles, en particular aquellas relacionadas con el control del tabaco.

2.2.5 Participar, Mobilizar Socialmente e Incluir de Actores Estratégicos (FESP N° 5)

Este rol implica las acciones deliberativas, democráticas y coordinadas de actores sociales que tienen la capacidad, habilidad, oportunidad de reconocer necesidades, problemas, establecer prioridades y formular, negociar sus propuestas en el contexto del desarrollo sanitario. La función incluye acciones colectivas que la sociedad civil y la comunidad organizada emprenden para intervenir y tener un impacto directo en la forma en que se organizan, controlan, gestionan y supervisan las instituciones, así como en el sistema de salud en general.

Tras la aprobación de la Declaración de Alma-Ata en 1978 y la posterior distribución y entrada en vigor de la Carta de Ottawa en 1986, se intensificó la promoción de la participación de la sociedad civil y la comunidad en la creación, diseño de políticas de salud. La población participó en la construcción de puestos de salud o en el acceso a programas de salud preventiva durante esta época como una práctica social. Como una forma de democratizar los sistemas de salud y en un esfuerzo por acercar los niveles de toma de decisiones al público, fomentar su participación en el sistema, muchos países de las Américas promovieron transformaciones políticas y administrativas durante la década de 1990 que se caracterizaron por la descentralización a nivel regional y nivel local. Los comités de participación comunitaria son ejemplos de cómo dirigir la participación y la voz de la comunidad en la planificación y la descentralización en este contexto porque se hace explícita la necesidad de fortalecer la participación social en los procesos de planificación.

La creación de asociaciones de usuarios y comités para la inclusión de la participación en los procesos de diagnóstico regional se destaca como una de las formas y mecanismos de participación social que han desarrollado numerosos países de la Región hasta la fecha. Casos típicos de este tipo de iniciativa incluyen los foros sociales. Simultáneamente, la Región ha sido testigo del crecimiento de movimientos sociales y grupos de la sociedad civil que trabajan para proteger el derecho a la salud y promover normas y regulaciones que reconozcan las circunstancias o condiciones que afectan su salud y calidad de vida, como el caso de la infección por VIH, asociaciones de pacientes con enfermedades crónicas.

A través de diversos mecanismos e iniciativas sociales, estos grupos se han involucrado progresivamente en el desarrollo de procesos de transformación del sistema de salud que cuestionan el status quo y avanzan en políticas con criterios de equidad y modelos basados en el principio del buen vivir, el Sumak Kawsay, concepto de los pueblos originarios de América Latina y el bien común. También se señalan diferentes niveles de su participación. Las personas que viven con el VIH, participan en consejos asesores comunitarios, consejos nacionales sobre el SIDA, el Consejo del Fondo Mundial de Lucha

contra el SIDA, la Tuberculosis y la Malaria, la junta directiva del Programa Conjunto de las Naciones Unidas sobre el VIH/SIDA (ONUSIDA) y la OPS.

Aun así, todavía hay muchos casos en los que la participación de la comunidad y la sociedad civil no siguen el espíritu de las declaraciones que se hicieron para alentarla. Muchas de las experiencias de los últimos 30 años sólo han permitido una participación ineficaz o puramente simbólica, que se limita a respaldar juicios preexistentes emitidos por las autoridades. En estas situaciones, los procesos participativos no han estado en línea con los esfuerzos de las organizaciones sociales y, por el contrario, han sido promovidos principalmente por estructuras de poder.

Uno de los principales problemas que afectan la participación social en salud en la Región es la fragmentación y limitada institucionalización de los procesos de participación. Otros problemas incluyen la participación comunitaria en respuesta a demandas circunstanciales derivadas de la lógica institucional, la falta de reconocimiento de las dinámicas territoriales, la información inadecuada, la falta de financiamiento y un alcance limitado de participación en la toma de decisiones. Otros elementos también afectan a la sociedad civil, como se ve en casos en los que no está suficientemente organizada o cuando hay batallas internas por financiación y visibilidad. Otras situaciones involucran factores relacionados con el contexto, como la falta de voluntad política y la interferencia de grupos de interés.

2.2.6 Desarrollar Recursos Humanos Relacionados Con La Salud (FESP N° 6)

Esta FESP cubre la implementación de políticas, normas e intervenciones relacionadas con la educación, la práctica profesional, el empleo y las condiciones laborales, así como la distribución de recursos humanos para la salud pública. También aborda la movilidad interna y externa. La función también exige acciones de planificación estratégica con capacidad técnica y política para desarrollar e implementar intervenciones sinérgicas en sectores distintos al de la salud, cada uno de los cuales incluye diversos actores con responsabilidades, objetivos e intereses específicos. A pesar de que estas acciones son dirigidas por las autoridades sanitarias, es necesario para que la función avance.

Con mejoras en su disponibilidad y distribución en los servicios de salud, particularmente con la formación de equipos multidisciplinarios en el primer nivel de atención, la Región de las Américas ha logrado avances significativos en el desarrollo de políticas y planes sobre recursos humanos para la salud. Varios países de la Región alcanzaron los niveles mínimos de dotación de personal establecidos en 2015 (44,5 profesionales médicos, de enfermería y de partería por cada 10.000 habitantes), cifra superior a los niveles recomendados por la OMS en 2006 (23 profesionales médicos, de enfermería, y profesionales de partería por cada 10.000 habitantes).

Sin embargo, la subvaloración de las inversiones en recursos humanos y las dificultades actuales con la gobernanza y los mecanismos regulatorios continúan las desigualdades en el acceso, la disponibilidad, la distribución y la calidad del personal de salud (entre países y dentro de los países, entre niveles de atención y entre los sectores público y privado). Las altas tasas de movilidad y migración, las condiciones laborales precarias, la baja productividad y el bajo desempeño contribuyen a este problema, que se ve exacerbado por la baja retención en áreas rurales y desatendidas. De manera similar, el énfasis excesivo en la atención de nivel terciario y la disponibilidad de especialidades compiten con la capacitación de profesionales con la experiencia en salud pública necesaria para mejorar la capacidad del primer nivel de atención para resolver problemas.

Las debilidades en la gestión de procesos intersectoriales, demostradas por la fragmentación de los marcos legislativos entre los sectores de salud, educación, trabajo, finanzas y práctica profesional, restringen la cooperación intersectorial necesaria para una adecuada formación, profesionalización, regulación de las prácticas profesionales y condiciones de trabajo del personal de salud, así como la incorporación de los equipos interprofesionales necesarios para la prestación de una atención integral en salud.

Se recomienda consolidar la gobernanza de los recursos humanos para la salud, la supervisión y control del proceso de formación, la regulación del mercado laboral y la regulación profesional. Para el desarrollo del personal de salud acorde a las necesidades de la población y de acuerdo con un sistema de salud basado en la atención primaria de salud, es crucial fortalecer el papel rector de las autoridades de salud para conducir procesos intersectoriales. Para desempeñar sus funciones y responsabilidades bajo un modelo de atención basado en individuos, familias y comunidades, el personal de salud debe poseer las habilidades más recientes y adecuadas. Esto debe garantizarse durante su proceso de formación.

Para lograrlo, es imperativo endurecer las leyes que rigen la formación de profesionales médicos, incluida la definición de estándares y requisitos para la educación de pregrado, posgrado, continua y técnica y vocacional. También debe avanzar en la definición de perfiles de competencia para las profesiones y sus especialidades, así como la acreditación y supervisión para el ejercicio profesional a partir de la definición de normas e instrumentos así como ejemplos de evaluación de su desempeño.

Para la ejecución de estos objetivos es necesario el establecimiento de acuerdos de alto nivel entre estos sectores, el liderazgo del Estado, así como la articulación permanente de las autoridades nacionales de salud, educación con las comunidades y las instituciones académicas. El desarrollo de habilidades para el trabajo colaborativo e interprofesional, la creación de perfiles profesionales diversos y la estandarización nacional de evaluaciones son algunos ejemplos de las intervenciones orientadoras que se incluyen en este continuo de mecanismos regulatorios. Por lo anterior, es fundamental que los profesionales de la

salud pública desarrollen nuevas habilidades para el trabajo intersectorial y de políticas públicas, como las relativas al análisis de la situación de salud, vigilancia y control de riesgos, promoción de la salud y participación social, desarrollo de políticas y legislación relacionada con la salud, el concepto de salud global y el abordaje de los determinantes sociales de la salud.

Junto con habilidades más establecidas como medicina, epidemiología, trabajo de laboratorio, trabajo comunitario, educación sanitaria o salud pública ambiental, también son necesarias otras nuevas como análisis de políticas, comunicación, seguimiento, evaluación y mejora de la calidad. También es necesaria una comprensión más profunda de los determinantes sociales de la salud, así como la colaboración con sectores ajenos al sector sanitario para abordar los determinantes de la salud. Para formar profesionales con la capacidad de acceder, analizar, aplicar conocimientos técnicos y científicos en la formulación de políticas de salud efectivas respaldadas por evidencia, las escuelas de salud pública requieren instructores con amplia experiencia profesional en estas disciplinas. Como especialidad, la epidemiología necesita adoptar nuevas habilidades como el modelado de sistemas complejos, la vigilancia y métodos sólidos para evaluar intervenciones de múltiples componentes. También debe estar más abierto a la colaboración interdisciplinaria con campos como el derecho, la educación y el transporte.

Además de tener una comprensión firme de las ideas fundamentales de establecimiento de prioridades, evidencia, formulación de políticas, implementación de programas, evaluación, mejora de la calidad y planificación, las escuelas de salud pública deben asegurarse de que sus graduados tengan habilidades de habla, escritura y comunicación persuasiva. Los planes de estudio deben dotar a los futuros profesionales médicos del conocimiento y las habilidades para evaluar el alcance y la complejidad de los problemas de salud, reconocer posibles intervenciones, elegir las más efectivas y aceptables con base en la evidencia disponible y crear planes viables para poner esas intervenciones en acción.

Con el fin de facilitar la recertificación de manera regular, estas características en la formación de profesionales deben incorporarse en el currículo desde pregrado hasta residencias, posgrados y programas de educación continua. Además, este procedimiento debe ir acompañado de acreditación institucional que tenga en cuenta la responsabilidad social, la educación interprofesional, las perspectivas de salud pública y los determinantes sociales de la salud. Con foco en los casos donde se brindan servicios en el primer nivel de atención, zonas marginadas y servicios de salud pública de alcance poblacional, se debe fortalecer el proceso de formación con garantías de condiciones laborales atractivas, estables y dignas.

Para mejorar la capacidad de los profesionales de la salud para resolver problemas, esta prestación debe desarrollarse en el marco de sistemas que se organicen en red e

incluyan el análisis de todos los niveles de atención y la integración de los servicios públicos de salud. La regulación del mercado laboral requiere la planificación de la oferta y distribución del empleo en los servicios de salud, la definición de condiciones de trabajo dignas junto con sistemas de protección contra riesgos laborales, mecanismos de remuneración adecuados y alineados con las responsabilidades profesionales, laborales y las necesidades de salud de la población.

Estas definiciones deben asegurar una distribución geográfica acorde con las necesidades de salud de la población, los incentivos para la educación y el crecimiento profesional y el impulso para el desempeño del trabajo. Para garantizar que los recursos del país se utilicen en su máximo potencial, también es importante promover la adopción de nuevos perfiles laborales y estructuras organizativas (como la delegación y redistribución de tareas), así como la inclusión de perspectivas inclusivas de género y de inclusión en los procesos.

El desarrollo de sistemas de información sobre recursos humanos para la salud con el objetivo de coadyuvar en la formulación, seguimiento de políticas y estrategias es necesario para fortalecer la planificación estratégica de los equipos directivos de las autoridades sanitarias y otras entidades. Estas políticas, estrategias deben tener en cuenta la implementación de mecanismos que faciliten la distribución y asignación de recursos humanos adecuados para la salud de acuerdo con las necesidades únicas de cada comunidad, incluidos mecanismos de retención y rotación de personal en los que se combinen diferentes tipos de personal.

2.2.7 Garantizar el Acceso Razonable y el Uso de Otras Tecnologías Médicas Cruciales: Medicamentos de Alta Calidad, Seguros y Eficaces (FESP N° 7)

Como parte de los ODS, en 2016 se reconoció como una prioridad mundial el acceso equitativo a los medicamentos y otras tecnologías sanitarias. A nivel regional, la resolución de la OPS sobre acceso y uso racional de medicamentos y otras tecnologías de alto costo analizan la importancia y el uso racional de medicamentos, aunado a otras tecnologías sanitarias, además postula cómo los países pueden fortalecer la función de garantizar su acceso a través de varias opciones de políticas.

Una de las principales herramientas terapéuticas utilizadas por los profesionales médicos para la prevención, detección y tratamiento de enfermedades, incluida la rehabilitación y los cuidados paliativos, son los medicamentos y otras tecnologías sanitarias esenciales. Toda la comunidad se ve impactada socialmente por la función de garantizar el acceso a medicamentos y otras tecnologías sanitarias esenciales. El imperativo ético-social que exige el acceso equitativo y universal a los medicamentos y tecnologías sanitarias antes mencionados como parte del derecho a la salud, así como el alcance poblacional de la regulación sanitaria, que beneficia a todos al garantizar que los productos médicos que se

comercializan en los países son seguros, de alta calidad y eficaces, son algunos ejemplos de su alcance como función esencial.

Visto desde esta perspectiva, los sistemas de salud universales deben estar equipados con capacidades particulares para garantizar el acceso a medicamentos y otras tecnologías sanitarias cruciales. Esta función aborda tres aspectos fundamentales:

- Regulación y supervisión de la seguridad, calidad, eficacia de los medicamentos y otras tecnologías sanitarias.
- La selección, evaluación, incorporación y uso prudente de medicamentos y tecnologías esenciales para la salud.
- La promoción, provisión y financiamiento de medicamentos y tecnologías esenciales para la salud.

Es difícil proporcionar un diagnóstico actualizado y preciso de la situación en las Américas debido a los persistentes desafíos de la región con una medición periódica inadecuada del acceso a medicamentos y otras tecnologías sanitarias. Pese a esto, es seguro afirmar que a pesar de los importantes esfuerzos realizados por los países, todavía existen grandes asimetrías en el acceso a medicamentos y otras tecnologías sanitarias cruciales o estratégicas, y que estas asimetrías se replican tanto entre los países como dentro de ellos. Además, los países de ingresos bajos y medianos gastan el 20 por ciento y el 60 por ciento de sus presupuestos sanitarios en productos farmacéuticos, respectivamente, en comparación con el 18% en los países de ingresos altos, según la OMS. Esto significa que aproximadamente 2 mil millones de personas carecen de acceso a medicamentos básicos.

A pesar de los avances logrados, la Región de las Américas continúa enfrentando desafíos que requieren esfuerzos continuos para aumentar el acceso a medicamentos y otras tecnologías sanitarias. Podemos citar los importantes avances en la mejora del acceso al tratamiento de la infección por el virus de la hepatitis C. Aun así, solo el 14 % de quienes tienen esta infección en la Región de las Américas han sido diagnosticados, y solo el 16 % de los que han sido diagnosticados en la Región recibieron tratamiento en 2016.

Para seguir reduciendo las necesidades insatisfechas de las personas y las comunidades, son importantes las iniciativas regionales para fomentar el uso prudente de medicamentos y tecnologías sanitarias, así como para fortalecer la innovación, la evaluación y la investigación de nuevas tecnologías sanitarias. El uso cada vez mayor de medicamentos costosos y otras tecnologías sanitarias ejerce presión sobre los presupuestos, limitando la disponibilidad debido a problemas en la cadena de suministro, estos y otros problemas tienen un impacto en el acceso a medicamentos y otras tecnologías sanitarias esenciales de suministros, desde la producción o importación hasta la dispensación al paciente.

Otro componente importante de una política de medicamentos que prioriza el acceso es el crecimiento del mercado de medicamentos genéricos, y hay muchas oportunidades en la Región para fortalecer este componente. Si bien la penetración de mercado del segmento de medicamentos genéricos ha crecido de manera constante y ha alcanzado hasta el 34% del mercado en algunas naciones latinoamericanas, apenas ha superado el 5% del mercado general en otras naciones.

2.2.8 Financiar la Salud de Forma Efectiva y Justa (FESP N° 8)

Esta función está en línea con la forma en que opera cada componente del financiamiento del sector salud, siendo el presupuesto sectorial la manifestación más obvia para el órgano rector, aunque este no es el único caso. Hay dos contribuciones importantes que son posibles al incluir esta función. En primer lugar, esta FESP aborda los distintos aspectos del modelo de financiación del sistema de salud desde el punto de vista de integrar todas las iniciativas individuales y grupales de salud pública con el objetivo de mejorar la equidad y eficacia del sistema de salud. En segundo lugar, y de forma complementaria, esta FESP actúa como herramienta de financiación del conjunto de dichas FESP, facilitando la ejecución de este enfoque integral.

Esta función incluye deberes institucionales como el proceso de obtención de financiación de diversas fuentes; la agrupación, asignación y planificación estratégica de recursos financieros en la industria de la salud. Los métodos de financiación, la naturaleza de los pagos (obligatorios o voluntarios) y la fuente de los ingresos (impuestos generales o específicos, contribuciones obligatorias o voluntarias, pagos directos de los hogares o fuentes externas) afectan la cantidad de dinero que se recauda.

Para que todos en el grupo compartan el costo de pagar las intervenciones médicas, se deben utilizar mecanismos solidarios en la recaudación, gestión de recursos financieros, la distribución de riesgos, la búsqueda de equidad y eficiencia en el gasto. Esto es lo que se entiende por "agrupación". Los mecanismos para la distribución y transferencia de fondos monetarios a los servicios de salud, así como los sistemas de pago para los proveedores de atención médica, se denominan asignación de estos recursos. Por último, pero no menos importante, la planificación financiero-presupuestaria se relaciona con el proceso de priorización, la evaluación de la viabilidad de la inversión en salud pública, la auditoría y la asignación de recursos a los objetivos de salud.

2.2.9 Accesar a Servicios Sanitarios Integrales y de Alta Calidad en Igualdad de Condiciones (FESP N° 9)

Al organizar y gestionar los servicios de salud, esta función implica tomar medidas para garantizar que todos tengan acceso a servicios de salud pública integrales y de alta calidad que se amplíen gradualmente, en consonancia con las necesidades de salud, las capacidades del sistema y el contexto nacional, con un enfoque centrado en la persona que enfatiza los determinantes sociales de la salud, el curso de vida, el riesgo familiar y

comunitario y la salud en todas las políticas. Las mejores prácticas, los principios morales y el conocimiento científico se utilizan para satisfacer las necesidades de salud de las personas a nivel individual, familiar y comunitario, promoviendo la equidad, el bienestar sin excluir a nadie, lo que sugiere prestar mucha atención a las personas y poblaciones vulnerables, así como a la diversidad. Los niveles más altos de seguridad, eficacia, oportunidad, eficiencia y acceso equitativo son atributos requeridos en la definición de atención de alta calidad en la prestación de servicios de salud. La atención también se centra en las personas, las familias y las comunidades. La disponibilidad de servicios y su organización y gestión adecuadas son factores clave para lograr estas cualidades.

La atención que se centra deliberadamente en las necesidades de las personas, los cuidadores, las familias y las comunidades como participantes y beneficiarios de sistemas de salud que pueden abordar eficazmente esas necesidades se conoce como atención centrada en las personas, las familias y la comunidad, que generen confianza, que se estructuren en torno a las necesidades de una persona y no a enfermedades específicas, y que respeten las preferencias sociales. Este tipo de atención requiere que los pacientes, sus familias y las comunidades reciban el conocimiento, la asistencia que necesitan para tomar decisiones y participar en su propia atención, así como que los cuidadores puedan trabajar eficazmente en un ambiente de equipo. En comparación con la atención centrada en el paciente, la atención centrada en la persona es más integral porque considera no sólo la salud del paciente individual sino también la de la comunidad en la que vive y el papel crucial que desempeñan los individuos en la determinación de su propia salud.

La persistencia de barreras de acceso a los servicios de salud es un grave problema de salud pública porque, entre 2013 y 2014, se podrían haber evitado más de 1,2 millones de muertes en la Región de las Américas si los sistemas de salud hubieran brindado servicios de salud oportunos, accesibles y de alta calidad. El núcleo y principio de esta función es el deber de las autoridades sanitarias en esta situación. El persistente enfoque fragmentado de la gestión de la atención y los servicios, centrado en la enfermedad y limitado a la atención curativa, con vínculos episódicos entre individuos y profesionales de la salud, es lo que explica la descripción integral del acceso a los servicios promovidos por esta función. De manera similar a cómo los programas de promoción y prevención han avanzado significativamente, los programas verticales aún dominan y otorgan prima a la cobertura a expensas del acceso y la calidad.

La baja capacidad resolutoria de los servicios de salud, particularmente en el primer nivel de atención, las dificultades para implementar, controlar estándares de calidad, la presencia de entornos que no apoyan una cultura de calidad, la insuficiente disponibilidad, capacitación, educación permanente de los recursos humanos en salud, el acceso restringido a medicamentos y otras tecnologías sanitarias, incluyendo una financiación insuficiente e inadecuada son desafíos adicionales para esta función. La mayoría de los gastos de

tratamiento y atención suelen estar cubiertos por medicamentos y otras tecnologías médicas. Los medicamentos antirretrovirales, representan el 75% del costo de la atención de los pacientes con VIH en América Latina y el Caribe.

2.2.10 Accesar de Forma Justa a Intervenciones Diseñadas Para Mejorar la Salud, Reducir Los Factores de Riesgo, Promover Comportamientos Saludables (FESP N° 10)

Esta función también implica tomar medidas para garantizar el acceso a una variedad de intervenciones de salud pública que apuntan a reducir la exposición a factores de riesgo y promover entornos saludables. Las políticas para prevenir los factores de riesgo de enfermedades no transmisibles incluyen políticas fiscales (como impuestos al tabaco, alcohol y bebidas azucaradas), regulación del marketing y promoción de ciertos productos (como la regulación o prohibición de la promoción del tabaco y el alcohol), etiquetado normativas (tabaco, alimentación), promoción y protección de la lactancia materna, o promoción de la actividad física y entornos sin alcohol.

También se incluyen políticas para garantizar el saneamiento, el transporte seguro, el control de vectores, el control de la contaminación del aire, la seguridad alimentaria, la seguridad química, la adaptación al cambio climático y la mitigación de sus efectos, la salud ambiental y la protección de la salud de los trabajadores. Cohortes más grandes de la población experimentarán una mejora en su estado de salud gracias a la prestación de estos servicios poblacionales. Para lograrlo, las autoridades sanitarias deben recuperar el liderazgo de las alianzas intersectoriales que perdieron tras la imposición del modelo biomédico.

Los actuales recortes presupuestarios y las débiles estructuras de gobernanza dificultan la implementación de muchos programas y servicios de salud pública para la población, como los que se ocupan de la inocuidad de los alimentos, el saneamiento o la prevención de enfermedades que pueden prevenirse mediante la vacunación. Además, a pesar de soportar la mayor carga de morbilidad, las políticas y programas que abordan la prevención y el control de las enfermedades no transmisibles y la salud mental no reciben prioridad en la agenda de salud pública. Prevalece el modelo biomédico de salud, que pone mayor énfasis en la fisiopatología de la enfermedad y la prestación de servicios clínicos a los individuos y utiliza una mayor proporción de recursos económicos.

Además, el desarrollo de políticas de salud puede verse afectado negativamente por influencias e intereses comerciales y económicos, así como por el hecho de que muchas agencias gubernamentales de salud pública carecen de la estructura organizacional y el personal necesarios para manejar esta complejidad. Este es el caso, de los intereses de las industrias de bebidas, alcohol o tabaco, que inciden en las políticas públicas y en ocasiones obstaculizan las encaminadas a prevenir enfermedades no transmisibles.

2.2.11 Gestionar y Promover Los Determinantes Sociales de Las Intervenciones de Salud (FESP N° 11)

Aunque una parte considerable de ellos no están directamente bajo el control del sector salud, esta función incluye el conjunto de iniciativas intersectoriales que tienen como objetivo abordar factores estructurales socioeconómicos que tienen un impacto en la salud. Si bien el sistema de salud es un determinante importante en sí mismo, otros factores que deben tomarse en consideración de forma intersectorial incluyen el nivel de vida en los barrios, la eficacia del sistema educativo, la salud del mercado laboral y la seguridad del lugar de trabajo. La función principal de las autoridades sanitarias en el cumplimiento de este deber es participar en la creación y ejecución de iniciativas. En estas situaciones, el objetivo es fomentar la gobernanza sanitaria en todas las políticas.

Los determinantes críticos de la salud y las inequidades incluyen el estatus socioeconómico, el nivel educativo, las circunstancias que conducen a un aumento de la violencia, la discriminación y el racismo estructural, y las características de los vecindarios. Es posible garantizar oportunidades para la salud y apoyar comportamientos saludables realizando mejoras en los entornos económicos, físicos, sociales y de servicios de una comunidad. A pesar de ello, falta claridad respecto del papel de la salud pública y de las autoridades sanitarias a la hora de abordar estos determinantes. Rara vez las agencias de salud tienen el mandato, el poder o la capacidad organizacional para cambiar los factores ambientales, sistémicos y políticos que pueden apoyar una vida saludable. De esto son responsables las autoridades encargadas de vivienda, transporte, educación, calidad del aire, parques, justicia penal, agricultura, energía y empleo, entre otras.

La colaboración entre sectores a nivel local, estatal, regional y nacional (incluido el sector público, el sector privado y las organizaciones comunitarias) es necesaria para encontrar soluciones a los problemas antes mencionados. La promoción de mejoras a través de la identificación de oportunidades para compartir recursos y reducir ineficiencias en el uso de los recursos del Estado, así como el análisis del impacto en la salud, pueden resultar en colaboración entre sectores.

Las autoridades sanitarias deben ampliar el alcance de sus obligaciones para garantizar que quienes toman decisiones en ámbitos sociales y económicos no relacionados con la salud comprendan cómo sus acciones afectan la salud pública. Las autoridades sanitarias pueden recomendar modificaciones a las políticas y programas para reducir los daños evitables o formas de cambiarlos para que tengan efectos más positivos en la salud mediante la evaluación del impacto en la salud y la equidad. Además de ayudar con la educación y la organización comunitaria, también pueden participar en la creación de políticas estatales o en la implementación de intervenciones pertinentes y efectivas a la luz de las realidades sociales y culturales de quienes las necesitan.

Existen mecanismos intersectoriales que provienen de otros sectores y están dirigidos al sector salud, incluyendo acciones directas sobre factores sociales, económicos y ambientales que afectan la salud, así como iniciativas promovidas por el sector salud para incidir en políticas, programas de otros sectores sociales, intervenciones tanto de manera directa como indirecta, con efecto en la salud y calidad de vida de la población. Esta última opción se enmarca en la estrategia "la salud en todas las políticas", en la que las autoridades sanitarias toman la iniciativa para visibilizar los problemas, fomentar y fortalecer la voluntad política, o bien participar en la regulación de los factores que tienen un impacto en la salud de las personas.

Capítulo III

Modelos Dinámicos en Salud Pública

La globalización es el rasgo central que caracteriza a la sociedad del siglo XXI. Un proceso dinámico a gran escala conocido como "globalización", une los mercados, sociedades, culturas de varias naciones al experimentar una serie de cambios sociales, económicos y políticos que les dan un carácter universal. La globalización se caracteriza por un aumento de la comunicación y la interdependencia entre las naciones. Un efecto de estos cambios es la aparición y propagación de enfermedades en zonas donde antes no existían. En algunos casos, los virus, bacterias y vectores son los responsables de propagar estas enfermedades, en otros casos por formas de vida como fumar, llevar una dieta desequilibrada o llevar un estilo de vida sedentario.

El Reglamento Sanitario Internacional (RSI) fue revisado en la 58° Asamblea Mundial de la Salud en 2005, su objetivo es prevenir, proteger, controlar, y proporcionar respuestas a la propagación internacional de enfermedades que sean proporcionales y se limiten a los riesgos para la salud pública, evitando al mismo tiempo interferencias innecesarias con el comercio y el tráfico internacional. El RSI cubre cualquier enfermedad o condición médica, independientemente de su origen o procedencia, que pueda ocasionar un daño importante para los seres humanos, en lugar de limitarse a una sola enfermedad o modo de transmisión. El RSI está diseñado para seguir siendo relevante y aplicable durante muchos años a pesar de la evolución constante de las enfermedades y las variables que afectan su aparición y transmisión.

Según el RSI, los Estados parte deben establecer al menos la infraestructura mínima de salud pública y alertar a la OMS de cualquier circunstancia que pueda considerarse una emergencia de salud pública de importancia mundial. Estas tareas implican la colaboración entre diversos profesionales de las ciencias de la salud, cuyas elecciones estarán más fundamentadas si conocen los mecanismos por los que se propagan las enfermedades y las estrategias de prevención primaria, secundaria y terciaria más efectivas para detener o reducir su propagación local, así como a nivel mundial. Si bien la epidemiología hace un buen trabajo al cubrir muchos de estos temas, la perspectiva de la dinámica de sistemas hace un mejor trabajo al cubrir otros temas.

3.1 La Dinámica de Sistemas

Aunque tiene diferentes significados, la palabra "sistema" se utiliza con frecuencia en el habla cotidiana. Se hace referencia a un sistema como la forma o método de hacer algo. Se dice que existe un sistema para abordar un problema o lograr una meta. Un sistema se describe más precisamente como un objeto con cierta complejidad formado por partes coordinadas que juntas tienen una cierta unidad. Así, discutimos el sistema planetario, que

está formado por planetas unidos por fuerzas gravitacionales; el sistema económico, que está formado por agentes económicos conectados entre sí mediante el intercambio de bienes y servicios; el sistema ecológico, que está compuesto por varias poblaciones conectadas a través de cadenas alimentarias o vínculos cooperativos.

Según esta definición, un sistema es un grupo de componentes que constantemente se influyen entre sí e interactúan para trabajar hacia un objetivo común. Es algo que puede mantener su identidad percibida frente a circunstancias cambiantes y que le permite destacarse de su entorno. Aunque puede ser demasiado amplio, la idea de que, todo está conectado con todo puede darse por sentada. Dado que algunos aspectos de la realidad pueden considerarse sistemas, sería interesante centrarse en ellos, incluso si eso significara ignorar algunas de sus conexiones.

Debido a que cambian constantemente o porque están expuestos a factores externos que los hacen responder, casi todos los sistemas son dinámicos. Por lo tanto, resulta principalmente interesante conocer el comportamiento dinámico de los sistemas, que se manifiesta a lo largo del tiempo. El conocimiento exacto del comportamiento de un sistema sólo se puede alcanzar si se dispone de una descripción detallada del mismo y de su entorno. Pero eso es algo que generalmente no se puede lograr debido a la gran complejidad del sistema, las incertidumbres sobre él y su entorno. En cambio, a menudo se utilizan descripciones (modelos) más simples del sistema. Sin embargo, la complejidad de estos modelos varía según los requisitos. Un buen modelo de un sistema será aquel que sirva para entender su funcionamiento, profundizar en su estructura interna y predecir qué puede ocurrir en otras condiciones ambientales.

Según Aracil y Gordillo (1997), el término "Dinámica de Sistemas" (DS) se refiere a una técnica para analizar el comportamiento de un sistema que implica la creación de un modelo de simulación por computadora que muestra las conexiones entre la estructura del sistema y su comportamiento. Para Sterman (2000), la DS es de interés la categoría, ya sean naturales o artificiales, en los que las partes constituyentes (subsistemas) son tan importantes como las conexiones entre ellos. El enfoque sistémico de cualquier aspecto se basa en la noción del comportamiento de un sistema, el cual requiere algo más que una simple comprensión de sus componentes; también debe ser consciente de los mecanismos que conducen a la coordinación de esa conducta. La visión sistémica descubre elementos estructurales de los sistemas, como la retroalimentación y los retrasos, que podrían haber pasado desapercibidos desde una perspectiva diferente, pero que son cruciales para explicar su comportamiento (Morilla y Dormido, 2012).

El estudio de las epidemias de enfermedades infecciosas dio origen a la epidemiología. Sin embargo, la investigación epidemiológica ya se amplió para abarcar enfermedades y problemas de salud en general en el siglo XX. Se utilizaron numerosos métodos para este análisis, siendo la demografía y la estadística dos de los más importantes.

Se comprobó que ciertos aspectos de las enfermedades y de la salud pública en general quedan mejor cubiertos por la perspectiva sistémica que ofrece la Dinámica de Sistemas. Las siguientes son algunas justificaciones:

- Aunque las enfermedades afectan a los individuos, la salud pública se centra en campos que afectan a la comunidad. En otras palabras, las relaciones entre individuos se forman en comunidades y estas relaciones moldean el comportamiento, el estilo de vida y la susceptibilidad a las enfermedades de cada persona; tales como el tipo de alimentación, actitudes hacia el consumo de alcohol, tabaco y otras drogas, .
- Dentro de un grupo más grande (región o nación), es posible distinguir diferentes grupos sociales según una variedad de factores, incluida la edad y las relaciones interpersonales. Por tanto, cada grupo social puede identificarse por su comportamiento homogéneo.
- Las personas interactúan entre sí en relaciones bidireccionales que frecuentemente tienen un efecto "boomerang" (circular o de retroalimentación). Esto significa que las relaciones entre las personas no son unidireccionales. En otras palabras, un determinado comportamiento social resulta en una determinada consecuencia, que influye en el comportamiento social que lo provocó, que luego influye nuevamente en la misma consecuencia.

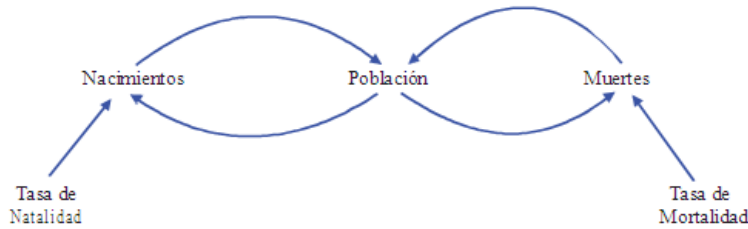
3.2 Los Sistemas Dinámicos y su Representación Mediante Diagramas

3.2.1 Diagrama de Influencias

La identificación de los diversos componentes de un sistema (fenómeno o proceso) y las interacciones entre ellos proporcionan su descripción mínima. Supongamos que se desea estudiar la evolución de una población (POB) en un contexto animal específico, teniendo en cuenta sólo los nacimientos (NAC) y las muertes (MU) que resultan de los factores constantes de la tasa de natalidad (TN), Tasa de mortalidad (TM). Los componentes más cruciales de este proceso se han utilizado en la Figura 3.1 como ilustración gráfica. Las flechas que conectan estos componentes fundamentales del proceso ilustran las interacciones entre ellos. Las flechas del diagrama indican varias relaciones con la población, como las tasas de natalidad y mortalidad afectan el tamaño de la población.

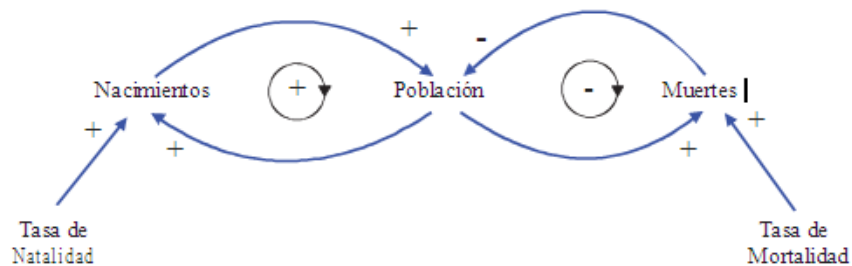
Esto muestra cómo se puede analizar cualitativamente un sistema, representando sus componentes claves y las relaciones entre ellos. Dado que sólo indica si se produce o no influencia y no su forma o magnitud, la influencia en esta descripción se restringe en aspectos cualitativos. En general, si A y B son dos partes de un sistema, el hecho de que A influya en B se representa mediante una flecha, e indica que B es función de A, es decir, $B = f(A)$, incluso aunque se desconoce la forma matemática precisa de la función.

Figura 3.1. Sistema Dinámico Poblacional. Humano o Animal.



El diagrama de influencia se compone de lo que se conoce como gráfico orientado en su forma más básica. Pero también se puede unir un letrero a las flechas que representan los bordes. Indica si las variaciones antecedente y consecuente son del mismo signo o no. Suponga que A y B tienen una relación de influencia positiva: $A \xrightarrow{+} B$ ó $A \xrightarrow{+} B$. La interpretación de lo indicado en el párrafo anterior, es si A aumentó, ocurre lo mismo con B; caso contrario, si A decrece, también lo hará B. Es por ello, que relacionando las influencia, existe un diagrama que expresa información importante del sistema, esto, aunque se tiene un diagrama que suministra una información más rica sobre la estructura del sistema, conservando su carácter cualitativo. En la Figura 3.2 se muestra el diagrama de influencias asociado al proceso de “evolución de una población”.



Figura 3.2. Evolución de una Población: Diagrama de Influencias.



Por tanto, el diagrama de influencia es la forma más sencilla de describir un sistema dinámico. Sirve como una representación gráfica de la estructura del sistema y hace explícitas las interdependencias entre las distintas variables mediante flechas y el correspondiente signo + ó -. El doble signo + ó - sólo se utiliza cuando existen no linealidades, lo que hace que la influencia de una variable sobre otra sea positiva en algunos rangos y negativa en otros. Los diagramas de influencia son extremadamente útiles para identificar la presencia de circuitos de retroalimentación entre las variables, así como para profundizar nuestra comprensión de un sistema y sus variables básicas. En este contexto, un bucle es cualquier serie de influencias que comienza y termina con la misma variable. Una segunda mirada a la Figura 3.2 revela la existencia de dos circuitos de retroalimentación entre las variables.

En esencia, se ha descubierto que otras variables del sistema afectan el nivel de población a través de un circuito de retroalimentación. El número de relaciones de influencia negativa en un bucle puede ser par para un bucle positivo o impar para un bucle negativo. El cambio inicial realizado en la variable en un bucle positivo sigue siendo relevante si se cambia (aumentando o disminuyendo su valor) después de que se haya completado el bucle; en un bucle negativo, el cambio inicial sólo cambia la dirección. Debido al número impar de influencias negativas y a la ausencia de influencias negativas en el caso particular bajo análisis, existe un circuito de retroalimentación negativa.

A modo de referencia se indican los símbolos generalmente utilizados en el diagrama de influencias:

- Descripción de la variable.
- Influencia entre variables (\rightarrow).
- Representación para mostrar si la influencia es positiva, negativa o puede cambiar de signo (+, - ó \pm).
- Se agrega una línea o línea doble paralela a la flecha o a la letra R para mostrar que la influencia correspondiente se ve afectada por un retraso. Cabe señalar que la definición de retraso es la cantidad de tiempo entre una acción y su resultado (|, || ó R).
- Con ellos se revela la presencia de circuitos de retroalimentación positiva o negativa. Además, es útil numerar los bucles en un diagrama cuando son diversos (+ o - ).
- Se utiliza para demostrar la presencia de un circuito de retroalimentación con un signo que cambia dinámicamente (\pm ).

3.2.2 Diagrama de Forrester

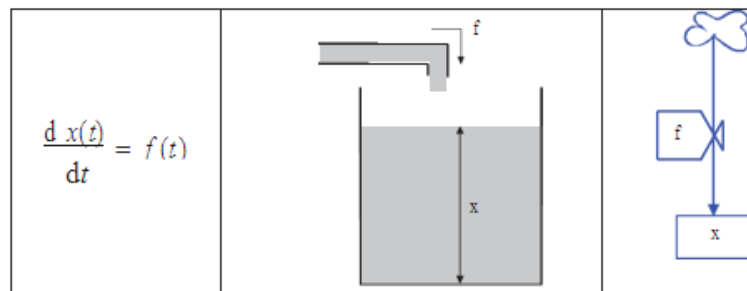
La descripción de la estructura de un sistema hecha en los párrafos anteriores, puede dar la impresión de que es en gran medida estática. Sin embargo, se debe notar que algunos nodos en un diagrama de influencia representan variaciones con respecto al tiempo de otras magnitudes consideradas en ese mismo diagrama para identificar una causa para la generación endógena del comportamiento temporal. En honor al promotor (J. W. Forrester), el diagrama de estado y de flujo también se denomina diagrama de Forrester de Sistemas Dinámicos, puede verse como una reelaboración del diagrama de influencia con el objetivo de tener una descripción más precisa del sistema dinámico y más cercana al modelo matemático, necesario para programar y recrear comportamientos del sistema en la computadora. El símil hidráulico (Forrester, 1972), que establece que una variable de estado puede representar el nivel de líquido en un tanque y una variable de flujo puede

representar la variación de líquido en el tanque o, más precisamente, el flujo de líquido que ingresa al tanque, fue la base para la propuesta de Forrester.

Por lo tanto, una ecuación diferencial de primer orden se puede relacionar con el siguiente símil hidráulico y el siguiente diagrama de Forrester. Forrester planteó la hipótesis de una clasificación de las diversas variables que aparecen en un diagrama de influencia en cinco grupos: variables de nivel o estado, variables de flujo, variables auxiliares, parámetros o constantes y variables exógenas en respuesta a los factores antes mencionados. Las únicas variables que retienen información (el estado del sistema) en ausencia de perturbaciones o excitaciones externas son las variables de nivel, que son las variables más representativas en un sistema dinámico.

Cada variable de nivel tiene una o más variables de flujo conectadas que controlan cómo cambia con el tiempo. Las variables utilizadas para distinguir las variables de flujo de las otras variables se denominan variables auxiliares. Las variables exógenas son aquellas que influyen en el sistema sin influir en ninguna otra variable exógena. Finalmente, los parámetros o constantes son variables que, al igual que las variables exógenas, no dependen de ninguna otra variable del sistema, pero a diferencia de éstas, representan características inherentes al sistema que típicamente permanecen constantes en el tiempo.

Figura 3.3. Ecuación Diferencial, Símil Hidráulico y Diagrama de Forrester.

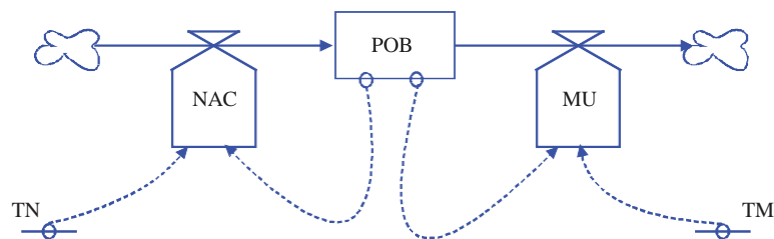


Se indican a continuación los símbolos generalmente utilizados en el diagrama de Forrester:

- Descripción de la variable.
- Estado o nivel, denota cualquier variable utilizada para acumular datos de uno o más flujos del sistema y representa cualquier variable utilizada para almacenar información sobre el estado del sistema (\square).
- Flujo, denota la variación en uno o más estados del sistema ($\square \times$).
- Una cantidad que depende de otras variables y que tiene un significado físico específico en el mundo real se conoce como variable auxiliar. Representa una etapa de transición en la elección de otra variable auxiliar o de caudal (\circ).

- Al igual que la variable exógena, una constante o parámetro es una variable independiente de todas las demás variables. Pero a diferencia de la variable exógena, refleja una propiedad sistémica que normalmente permanece constante en el tiempo (\ominus).
- Las variables exógenas son aquellas cuyo desarrollo es independiente del resto de variables del sistema. Simboliza cómo el sistema se ve afectado por el entorno exterior (\odot).
- Nube, representa un suministro ilimitado o un pozo infinitamente profundo; también puede entenderse como un estado que no es importante para el análisis del sistema (☁).
- Una cantidad (flujo) físicamente conservada se transmite a través de un canal material. Al incorporar flujos entre estados o entre estados y nubes, se utilizan canales de materiales con dirección. La dirección elegida del diagrama determinará el flujo positivo, pero esto no excluye la posibilidad de un flujo negativo. Si esto sucede, es preferible utilizar la doble flecha, una en cada extremo (\longleftrightarrow).
- Canal de información, medio para transmitir información específica que no es necesario conservar. Las dependencias de los flujos respecto de cualquier otra variable se incorporan mediante canales de información. Las dependencias entre las variables auxiliares y las otras variables también se representan mediante ellas. Los canales de información sólo pueden ir en una dirección, a diferencia de los canales materiales ($\text{-----}\rightarrow$).

Figura 3.4. Evolución Población Según Diagrama de Forrester.



3.3 Estructuras Dinámicas Para Modelos de Salud Pública

3.3.1 La Retroalimentación

Por muy simple que sea un sistema dinámico, la retroalimentación es un elemento crucial que siempre está presente (Albertos y Mareels, 2010). En las manifestaciones homeostáticas de los seres vivos, donde el ser vivo responde a la influencia del entorno

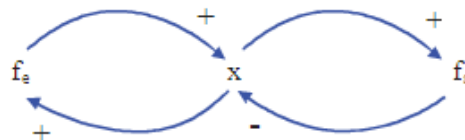
sobre él, la retroalimentación está presente. El ser humano tiene la capacidad de controlar su temperatura corporal, lo que es un claro ejemplo de homeostasis. Cualquier regulación, ya sea natural o artificial, basada en decisiones también incluye retroalimentación. En estas situaciones, se toman decisiones para corregir la discrepancia entre lo que se observa y el objetivo (implícito o explícito) que se debe lograr. Pero las acciones correctivas tomadas en un momento determinado afectarán a las desviaciones posteriores, que luego se tendrán en cuenta a la hora de tomar nuevas decisiones hasta alcanzar el objetivo deseado.

El aspecto más crucial es que la retroalimentación normalmente ocurre en todos los componentes del sistema en lugar de aparecer localmente en los sistemas mismos. Como resultado, la retroalimentación se vuelve evidente cuando se observa más de cerca la estructura de los sistemas, y los diagramas de influencia son muy útiles para identificar la presencia de estructuras circulares (bucles de retroalimentación) entre variables. La retroalimentación puede ser positiva o negativa, como se mencionó cuando se presentaron los diagramas de influencia. Cualquier función $x(t)$ en una situación continua integra la dirección de un flujo neto, y presenta una diferencia entre el flujo de entrada $f_e(t)$ y el flujo de salida $f_s(t)$, es por ello que:

$$\frac{d x(t)}{d t} = f_e(t) - f_s(t)$$

Lo anterior demuestra que la derivada del estado en relación a la variable tiempo es igual a la diferencia entre los flujos de entrada y de salida. El símil hidráulico también posee relación con esta ecuación, tomando en cuenta que $f(t)=f_e(t) - f_s(t)$ es el flujo neto, de la ecuación. Desde otra perspectiva se puede considerar que $f_e(t)$ tiene un punto de llegada al depósito y que éste ultimo posee un orificio de salida, por el sale $f_s(t)$. Considerar la relación entre los flujos y el estado para que la retroalimentación se encuentre en el modelo dinámico. Según lo anterior el diagrama de influencias es el siguiente:

Figura 3.5. Diagrama de Influencias Para la Ecuación Diferencial.



El diagrama anterior se encuentran dos bucles de retroalimentación, uno o de ellos es de retroalimentación negativa creado por una variable de estado, además de un flujo de salida, cuyo resultado es del tipo estabilizador. El otro bucle es positivo creado por una variable de estado y el flujo de entrada, que poseen un efecto desestabilizador. La evolución

del estado esta sujeto a la dominación el bucle negativo ($b < a$), o al bucle positivo ($b > a$). El primer ejemplo el valor del estado tiende a cero y para el segundo ejemplo el valor aumentará de forma infinita; de esto se deduce la ecuación:

$$x(t) = x(0) e^{(b-a)t}$$

Esta ecuación puede demostrar el comportamiento de cualquier proceso biológico, donde existan las variables nacimiento y muerte, la letra “b” representa los nacimientos y la letra “a” la tasa de mortalidad. En condiciones favorables durante los nacimientos superiores a la tasa de muertes, existen condiciones de reproducción indefinida.

3.3.2 Bucle de Retroalimentación Positiva

La función continua: puede usarse para expresar la manifestación temporal de un crecimiento exponencial sostenido, según la ecuación:

$$x(t) = x(0) e^{k t}$$

Como resultado, dado que Vensim es un entorno de simulación multipropósito, la programación nos permitiría simular cualquier crecimiento exponencial. De modo que la particularización de un caso se lograría seleccionando cuidadosamente la ventana de tiempo, el valor inicial del estado $x(0)$ y un valor positivo y constante para k . Pero también podemos vincular un modelo dinámico con un ciclo de retroalimentación positiva a un crecimiento exponencial sostenido. El flujo de entrada (el único flujo en el sistema o el flujo neto) y el estado exhiben una relación proporcional positiva, o función afín, que distingue a este modelo dinámico, también conocido como circuito elemental de retroalimentación positiva. Como teorema se presenta que el parámetro $k > 0$, no presenta variación el tiempo; por ello, el flujo se representa por $F(t) = k x(t)$ y la descripción matemática del Bucle de Retroalimentación Positiva (BRP) se representa mediante la siguiente ecuación diferencial:

$$\frac{d x(t)}{d t} = k x(t)$$

Al optar por programar del Bucle de Retroalimentación Positiva, no sólo tenemos un modelo dinámico continuo que, bajo circunstancias específicas (k positivo y constante durante toda la ventana de tiempo), es capaz de simular un crecimiento exponencial. Sin embargo, también tenemos un modelo dinámico que puede producir comportamientos diferentes con algunos ajustes menores. El parámetro k podría depender del estado o variar en el tiempo.

El modelo puede, por ejemplo, ayudarnos a recrear un escenario hipotético sobre la evolución de la población de un país en los años siguientes. Sólo necesitaríamos incluir el valor inicial del estado, que debería corresponder aproximadamente al tamaño de la población, para completar el modelo. El crecimiento exponencial y, como resultado, el comportamiento dinámico del BRP presenta características periódicas que son cruciales para realizar predicciones. El efecto multiplicador y el crecimiento porcentual son dos de estas características. El valor de la variable de estado de un BRP en el momento $t+T$ guarda la siguiente relación con el valor de la variable de estado en el momento t , si designamos T como el período de observación:

$$x(t+T) = k \cdot x(t) = \left(1 + \frac{k_c}{100}\right) x(t)$$

Donde la ganancia del efecto multiplicador expresada en número de unidades se denomina km . Junto con esto, k_c es la ganancia porcentual relacionada con el crecimiento porcentual. Sus valores dependen de la tasa de crecimiento k (parámetro BRP) y del período de tiempo T utilizado para la observación. También examinaremos el tiempo de duplicación, o td . El tiempo que tarda el estado $x(t)$ en duplicarse es como se define. En otras palabras, este es un caso particular de período de observación, que está asociado con un efecto multiplicativo con $km=2$ y un crecimiento porcentual con $k_c=100$, lo que hace que $x(t+td)$ sea igual a $2 x(t)$, por ello se origina los siguientes parámetros:

- El BRP presentará un aumento exponencial constante, acompañado de una duplicación del tiempo (td), el cual es inversamente proporcional al valor de la variable k . Por ello el tiempo de duplicación, es la cantidad de tiempo que tarda el estado $x(t)$ en duplicarse, que representa una característica del crecimiento exponencial. Como resultado, el valor del estado en un BRP aumenta exponencialmente, duplicándose en el momento td .
- Al mencionar un aumento exponencial del BRP, el anterior mantiene rapidez cuanto mayor sea el valor de la variable k . Como resultado, la tasa de crecimiento es el nombre que se le da al parámetro BRP. Muestra cuánto crecimiento instantáneo, expresado como porcentaje de $x(t)$, experimentará el estado $x(t)$. De hecho, si k aumenta y td disminuye, el estado habrá duplicado su valor más rápido.
- Dependiendo del período de observación T y la tasa de crecimiento k , el estado BRP exhibirá un efecto multiplicador periódico con una ganancia de uno km . La división celular es un ejemplo de fenómeno multiplicador periódico. Se sabe que ciertas células embrionarias se reproducen por bipartición, lo que significa que cada célula embrionaria se divide en dos células, que luego se dividen una vez más, y así

sucesivamente, hasta $km=2$. La cantidad total de tiempo de cada subdivisión, a la que nos referimos como T , puede considerarse la misma. Con una tasa de crecimiento de $k=\ln(2)/T$, se puede inferir que el crecimiento celular por bipartición es un caso específico de crecimiento exponencial. El tiempo de duplicación, que en el caso de la bipartición coincide con T , también podría haber llevado a esta conclusión.

- La condición del BRP exhibirá un crecimiento porcentual periódico, con una ganancia en porcentaje kc dependiendo del período de observación T y la tasa de crecimiento k .

3.3.3 Bucle de Retroalimentación Negativa

Similar al crecimiento exponencial, la caída exponencial es una manifestación temporal que se puede expresar mediante la función que se muestra a continuación. Podemos conectar esta función a un modelo dinámico que solo contiene un bucle de retroalimentación negativa:

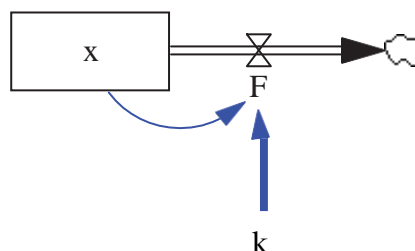
$$x(t) = x(0) e^{-k t}$$

Una relación proporcional negativa (función afín) entre el flujo, que es el único flujo en el sistema o el flujo neto, y el estado distingue a este modelo dinámico, también conocido como Bucle de Retroalimentación Negativa (BRN). Una hipótesis es los valores de la variable $k > 0$, que no posee variación en el tiempo, de lo anterior se deduce que el flujo se encuentra expresado por la ecuación $F(t) = -k x(t)$, de aquí el modelo del BRN se representa mediante la ecuación diferencial:

$$d x(t) / dt = - k x(t) dt$$

Por tanto, programar la ecuación diferencial en Vensim nos permitirá simular cualquier descenso exponencial. Con la excepción de que el flujo ahora está en la salida del estado, en esta programación se utilizan los mismos componentes que se usan en el modelo BERP, donde el flujo alimenta al estado.

Figura 3.6. Diagrama Ecuación Diferencia de BRN



Al realizar predicciones, el comportamiento dinámico del BRN presenta características periódicas que son muy importantes cuando se utiliza la caída exponencial. Dos de estas características son el efecto de atenuación y la disminución porcentual. Al describir a T como el periodo de observación, se comprueba que el valor de la variable de un BRN en el momento t+T posee una relación con el valor de la variable de estado en el instante t:

$$x(t+T) = k \cdot x(t) \cdot \left(1 - \frac{k_d}{k} \right)$$

Donde k_a es la ganancia igual o mayor que uno resultante del efecto de atenuación. Y k_d es el porcentaje de ganancia relacionado con la disminución porcentual. La tasa de desintegración k (parámetro BRN) y el período de tiempo T utilizado para la observación afectan sus valores. Otro aspecto del crecimiento exponencial es la vida media (VM), se describe como la cantidad de tiempo necesaria para reducir el estado $x(t)$ a la mitad. En vista de ello se originan lo siguiente:

- El estado de BRN exhibe una decadencia exponencial con una vida media (MV) inversamente proporcional al valor del parámetro k . Como resultado, la vida media, que se define como la cantidad de tiempo que tarda un estado en desintegrarse a la mitad, es una característica de la desintegración exponencial. Después de eso, el valor del estado en BRN comienza a caer exponencialmente, alcanzando eventualmente la mitad de su valor original después de una VM.
- Cuanto mayor sea el parámetro k , más rápido se producirá la caída exponencial en un BRN. Por lo tanto, la tasa de desintegración es el término para denominar el parámetro k de BRN. Muestra la disminución instantánea del estado $x(t)$ por unidad de $x(t)$ que ocurrirá. Es cierto que el estado habrá disminuido su valor más rápidamente si k aumenta y VM disminuye.
- El estado de BRN exhibirá un efecto de atenuación periódica, con una ganancia de un k_a que depende del período de observación T y de la tasa de crecimiento k . El proceso de enfriar un objeto hasta que alcanza la temperatura del aire circundante es un ejemplo de un efecto de atenuación periódica. Para que se produzca este fenómeno, el objeto debe ser muy pequeño en comparación con su entorno, pero ya debe haber sido calentado a una temperatura superior a la del aire circundante.
- El estado de BRN experimentará una disminución porcentual periódica, con un aumento porcentual k_d que depende del período de observación T y de la tasa de disminución k .

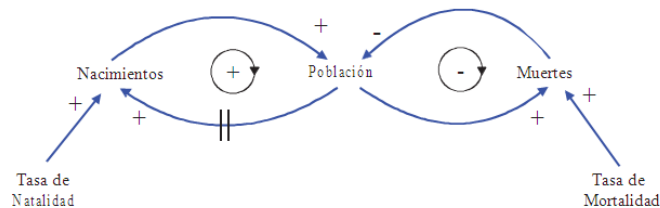
- También es una práctica común medir la tasa de desintegración de un BRN utilizando su constante de tiempo T , que es el recíproco de la tasa de desintegración k .

3.3.4 La Descripción de Retraso

Existe un intervalo de tiempo específico entre algunas acciones (o eventos) y sus efectos, y lo que sucede durante ese tiempo puede no ser relevante para el estudio que se está realizando. Cuando una mujer está embarazada, por ejemplo, tarda unos nueve meses en dar a luz, por lo que transcurren unos nueve meses desde el momento específico en que queda embarazada hasta que nace el niño. Lo mismo ocurre con el caso específico de contraer gripe y recuperarse de ella, que normalmente lleva siete días. Los modelos dinámicos pueden incorporar retrasos de tiempo para representar estas circunstancias. Así, cuando se presentaron diagramas de influencia y diagramas de Forrester, se utilizaron símbolos especiales para indicar retrasos. Sin embargo, estos símbolos no se han utilizado directamente en ninguno de los diagramas que se han mostrado hasta ahora.

Puede mejorarse añadiendo explícitamente un retraso a la relación entre nacimientos y población; este retraso sustituye al período de gestación de la correspondiente población humana o animal. La naturaleza del circuito de retroalimentación positiva entre estas dos variables sigue siendo la misma como resultado de este retraso, independientemente de la dirección de la influencia.

Figura 3.7. Diagrama de Influencias de una Población



Los retrasos en la transmisión de información (RTI) y los retrasos en la transmisión de material (RTM) son dos categorías comunes, que se distinguen en los diagramas de Forrester donde pueden ocurrir retrasos tanto en los canales de material como de información. Un RTI, puede estar relacionado con la cantidad de tiempo típica que tarda una campaña publicitaria en tener un impacto en los clientes potenciales. El tiempo promedio entre un grupo de mujeres que pueden estar embarazadas y tiene sus respectivos hijos estaría representado por otro RTI.

Los RTM también pueden referirse al período de tiempo que le toma a una empresa específica ofrecer un producto a sus clientes. Aunque este tiempo depende de la dirección

del destinatario, podemos hablar de un retraso general que aplica para todos y es igual al tiempo de entrega típico. Habría un desfase entre un flujo de pedidos imaginario y un flujo de entrega imaginario. Para ilustrar cuánto tiempo le toma a un grupo de personas que contraen gripe recuperarse el mismo día, se puede usar un RTM de manera similar. Bueno, aunque cada uno se cura a un ritmo diferente, se podría utilizar un promedio de siete días para compararlos a todos.

El desfase temporal existiría entre el hipotético flujo de nuevos casos de gripe y el hipotético flujo de tratamientos. En este escenario, la variable de estado del retraso se utilizará para realizar un seguimiento continuo del número de casos de gripe. La importancia de este tipo de retraso se enfatizará una vez más en un ejemplo posterior, pero más aún porque en este curso se le prestará especial atención. Los retrasos se representan muy fácilmente en modelos matemáticos. Cuando una variable del modelo dinámico, $y(t)$, se retrasa por una variable, $y_r(t)$, por un factor de T , el tiempo de retraso con respecto a $y(t)$ viene dado por la expresión:

$$y_r(t) = y(t - T)$$

3.3.5 El Modelo de Población Distribuida

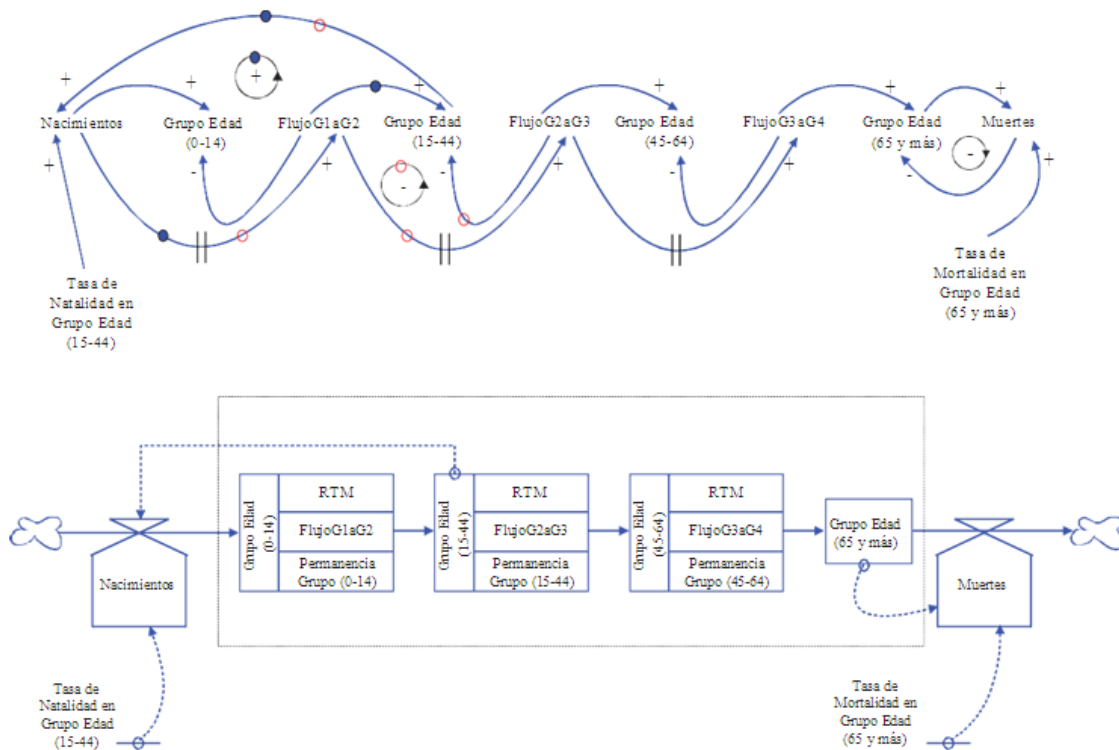
El modelo de población para ilustrar las ideas de retroalimentación y retraso aún puede beneficiarse más del conocimiento adquirido sobre los retrasos. Usaremos como ejemplo la evolución de una población que se divide en grupos de edad. Para ello, usaremos la distribución de edades típica de la población, que tiene en cuenta los siguientes cuatro rangos de edad: 0 a 14 años, 15 a 44 años, 45 a 64 años y 65 y más. Una persona que viva 65 años o más habrá pasado por los cuatro grupos en ese momento; en el primero habrá permanecido 15 años, en el segundo, 30 años, y en el tercero, 20 años.

Evaluando se deduce lo siguiente:

- Se incluirá un estado en el modelo sugerido para cada uno de los cuatro grupos de edad. Dado que la persona cambia de estado después de los primeros tres estados, podemos asignar un tiempo de permanencia a ellos. Sin embargo, a menos que se utilice un valor promedio que se calcularía en función de la esperanza de vida de la población, la cantidad de tiempo que se pasa en el estado de 65 o más es indefinida.
- Los nacimientos serán un flujo de entrada y salida para el grupo de niños menores de 14 años, de acuerdo con la migración natural de la población hacia el grupo de niños de 15 a 44 años, que es el grupo inmediatamente posterior a ellos.

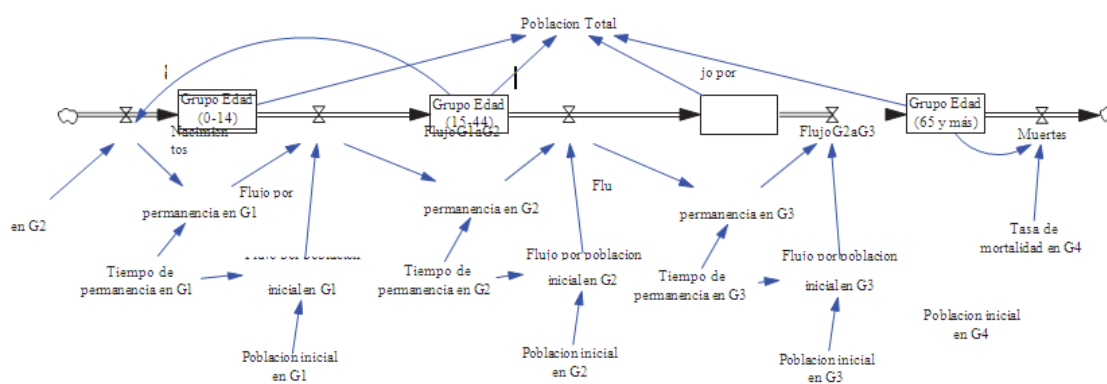
- Los correspondientes tránsitos de población natural del grupo inmediatamente anterior al grupo inmediatamente posterior, servirán como entrada y salida de los dos grupos de edad intermedia, respectivamente.
- La población del grupo inmediatamente anterior migrará naturalmente al grupo de personas de 65 años y más, y la mortalidad migrará naturalmente fuera de ese grupo.
- Los otros grupos de edad también deberían experimentar mortalidad, pero para los propósitos de esta estimación, asumiremos que las tasas de mortalidad en los primeros tres grupos de edad son mínimas en toda la población.
- Aunque la tasa de natalidad se puede vincular a toda la población, es preferible vincularla al grupo de edad productiva de la población, que son los que tienen entre 15 y 44 años. Así procederemos, pero también nos saltaremos por el retraso añadido del embarazo.

Figura 3.8. Diagrama de Influencias y Forrester del Modelo de Población Distribuida



En la Figura 3.8 se muestran los diagramas correspondientes. El diagrama de influencia ha identificado tres circuitos de retroalimentación, como verá. Al examinar la evolución de una población genérica, ya notamos el circuito de retroalimentación positiva, que se compone de las influencias indicadas en azul. Este circuito es absolutamente necesario para que se produzca el crecimiento vegetativo de la población. Las características inherentes a la población, son las que conforman el circuito de retroalimentación negativa (compuesto por las influencias resaltadas en rojo). Esto se debe a que el grupo de edad más productivo de la población, el de 15 a 44 años, envejece con el tiempo, lo que hace que sus miembros sean menos productivos.

Figura 3.9. Modelo Vensim de Población Distribuida



El modelo Vensim se muestra en la Figura 3.9. Para que el modelo sea más fácil de leer, los cuatro grupos de edad están ordenados secuencialmente. Los tres flujos entre grupos se han escrito utilizando la notación flujo del grupo de origen al grupo de destino, de ahí las variables FlujoG1 a G2, FlujoG2 a G3 y FlujoG3 a G4. La población inicial se ha considerado parametrizable en todos los grupos de edad, razón por la cual la parte inferior del modelo contiene cuatro variables de población inicial. Se supone que la población inicial de los tres primeros grupos de edad está distribuida uniformemente en el rango de edad correspondiente a las salidas de los tres grupos intermedios.

Así, el FlujoG1 a G2 es suma del flujo debido a la población inicial en el grupo de 0 a 14 años y del flujo por permanencia en ese grupo, obtenido como retraso de los Nacimientos. Por último queda claro que los Nacimientos se calculan a partir de la población total y que las Muertes se calculan únicamente en función de la tasa de mortalidad del grupo de 65 y más años de edad. Luego de la simulación del modelo con una población de 1000 personas surgen varios escenarios, los cuales son importantes describir:

- El escenario 1 está formada por personas de 65 años y más, simulando la evolución de una población envejecida. Como se predijo, la población está

disminuyendo exponencialmente. Toda la población ha muerto en unos 50 años, lo que es cinco veces más rápido que la tasa de mortalidad. Las muertes, único flujo de interés en este escenario, lógicamente también deberían disminuir exponencialmente.

- El escenario 2 simula el crecimiento de una población de adultos en el rango de edad de 45 a 64 años. Se presenta que todos eventualmente mueren. Sin embargo, la población ya no evoluciona de manera exponencial, sino sigmoideal. Esta evolución es consecuencia de un llenado exponencial y posterior vacío exponencial del grupo de personas de 65 y más años, así como de un vacío progresivo del grupo de personas de 45 a 64 años.
- En el escenario 3 se recrea una población joven de entre 15 y 44 años a lo largo de su historia evolutiva. Según las observaciones, todas las personas mueren, sin embargo, ahora es más difícil predecir cómo evolucionarán las poblaciones. Una población grande con capacidad de reproducción es lo que provoca el crecimiento inicial, y el envejecimiento gradual de la población es lo que provoca el declive posterior.
- En el escenario 4 se recrea una población de niños de 0 a 14 años a lo largo de su desarrollo. En comparación con el escenario 3, el cuarto escenario sólo ofrece información marginalmente nueva. En los resultados de su simulación, se observan muy bien los correspondientes retrasos entre los flujos intermedios, por lo que se ha considerado conveniente recrearlo. Además, nos permite comprobar que la población máxima por grupo de edad, que supone el 40% de la población inicial, se produce en el grupo de 15 a 44 años antes que la población total máxima.

3.3.6 La Frecuencia

Los epidemiólogos investigan la frecuencia y las tendencias de los incidentes relacionados con la salud en las poblaciones humanas. Estos estudios incluyen mediciones en términos del tamaño de la población además de contar el número de veces que ocurre un problema de salud en una población por unidad de tiempo. Los epidemiólogos pueden comparar la prevalencia de enfermedades en varias poblaciones utilizando los resultados que han obtenido. Para este término se suelen distinguir tres tipos de medidas (Gregg, 2002): medidas de frecuencia, medidas de asociación y efecto, medidas de impacto.

A continuación se desarrollan las medidas de frecuencia, las cuales son conscientes de la importancia de la enfermedad en relación con el tamaño de la población de la zona donde se manifiesta. Los siguientes son los principales atributos de las mediciones de frecuencia: muestran la calidad de salud de una muestra, predicen la presencia de enfermedades, es el punto de partida para establecer otras medidas de control.

Podemos utilizar como ejemplo el porcentaje de enfermedades respiratorias entre un grupo de personas mayores de 65 años a las que hemos seguido durante una década. La frecuencia de la enfermedad generalmente se expresa como una proporción o tasa, donde el numerador representa el número de casos o eventos de interés y el denominador representa el tamaño de una población en la que esos casos o eventos aparecen o se identifican. La frecuencia se puede medir de tres formas diferentes: incidencia, prevalencia y mortalidad.

La incidencia de una enfermedad o evento es la cantidad de casos nuevos que ocurren en un lugar y período de tiempo específicos. El epidemiólogo responde a estas tres consultas mediante el estudio de medidas de incidencia:

- ¿Con qué rapidez aparecen los casos de una enfermedad por unidad de tiempo, o cuántos casos han aparecido en un período de tiempo determinado?
- ¿Cuál es la probabilidad de contraer una enfermedad específica en un momento determinado?
- ¿Cuál es la probabilidad de contraer una enfermedad a largo plazo?

Para ilustrar mejor el uso de esta herramienta, se realizará un ejercicio, mediante el seguimiento de una enfermedad para una muestra de 30 personas, 14 hombres (H) y 16 mujeres (M), según los datos del siguiente Cuadro 3.1, referente a ellos es importante mencionar:

- Podemos determinar cuánto tiempo cada participante ha sido parte del estudio utilizando la información de las columnas cuarta y quinta junto con el año de nacimiento del participante. Cuando finalizó el estudio, el sujeto todavía estaba sano porque no había información en estas dos columnas.
- El Varón nacido en 1945, fue la persona número 1 y tenía 23 años cuando le diagnosticaron la enfermedad en 1968. Su riesgo de contraer la enfermedad y mantenerse sano se prolongó durante 23 años.
- La participante número 12 del estudio es una mujer que nació en 1954 y abandonó el estudio a los 21 años en 1975 sin contraer la enfermedad. Ella participó en el estudio durante todo el período de 21 años durante el cual estaba en riesgo de contraer la enfermedad.
- Una mujer que nació en 1953 y que todavía goza de buena salud en 1986 es la persona número 30. Permaneció en el estudio durante 33 años mientras seguía en riesgo y evitaba la enfermedad.

Cuadro 3.1. Seguimiento de Una Enfermedad Muestra de 30 Personas

Persona	Sexo	Año de nacimiento	Año en el que manifestó la enfermedad	Año en el que abandonó el estudio
1	H	1945	1968	
2	M	1956	1974	
3	H	1924	1978	
4	M	1932	1978	
5	M	1919	1954	
6	H	1930		1978
7	M	1909	1965	
8	H	1951		
9	H	1943	1962	
10	M	1934	1968	
11	H	1965	1978	
12	M	1954		1975
13	H	1936	1958	
14	M	1950	1986	
15	M	1943	1962	
16	H	1913		
17	M	1931		1967
18	H	1967	1979	
19	M	1926	1985	
20	H	1921	1974	
21	M	1962	1979	
22	M	1966		
23	H	1929	1973	
24	M	1953	1985	
25	H	1960	1979	
26	M	1957		
27	H	1943		1963
28	H	1955	1985	
29	M	1929	1975	
30	M	1953		

Otra cuadro, el 3.2, se deriva del cuadro 3.1 pero sin la información sobre el sexo, ya que no es relevante para las siguientes secciones. Y cuya quinta columna contiene explícitamente los tres tipos diferentes de eventos que importan para este seguimiento.

Cuadro 3.2. Seguimiento de Una Enfermedad Muestra de 30 Personas (eventos)

Número de caso	Año de nacimiento	Año en el que se registró el evento	Años de seguimiento	Tipo de evento
18	1967	1979	12	E
11	1965	1978	13	E
21	1962	1979	17	E
2	1956	1974	18	E
9	1943	1962	19	E
15	1943	1962	19	E
25	1960	1979	19	E
27	1943	1963	20	A
22	1966	1986	20	S
12	1954	1975	21	A
13	1936	1958	22	E
1	1945	1968	23	E
26	1957	1986	29	S
28	1955	1985	30	E
24	1953	1985	32	E
30	1953	1986	33	S
10	1934	1968	34	E
5	1919	1954	35	E
8	1951	1986	35	S
14	1950	1986	36	E
17	1931	1967	36	A
23	1929	1973	44	E
4	1932	1978	46	E
29	1929	1975	46	E
6	1930	1978	48	A
20	1921	1974	53	E
3	1924	1978	54	E
7	1909	1965	56	E
19	1926	1985	59	E
16	1913	1986	73	S
Total de años de seguimiento: 1002				

En todos los casos se ha incluido el año en que se registró el hecho correspondiente; así, en los casos con eventos de tipo S se ha incluido el año 1986, año en el que se completó el estudio. Los 4 abandonos han sido etiquetados con la letra A, los 21 casos de enfermedad con la letra E y los 5 casos de personas sanas al final del estudio con la letra S. Se crea la cuarta columna, que enumera los años en los que cada participante en el estudio ha sido parte, utilizando la diferencia entre el año en que se registró el evento y el año de nacimiento del participante. Las filas de la tabla se han reorganizado en orden ascendente utilizando estos datos, que en este estudio corresponden con la edad del sujeto en el momento en que se registró el evento. Podemos examinar cómo aparecen los casos durante el seguimiento, revisando las columnas cuarta y quinta para confirmar que:

- Era posible encontrar un caso de enfermedad a los 12 años de seguimiento, según la primera fila del cuadro.
- A los 19 años de seguimiento, las filas quinta, sexta y séptima de la tabla mostrarían la aparición de tres casos de enfermedad adicionales, que sumados a los cuatro anteriores darían como resultado un total de siete casos de enfermedad.
- A los 20 años de seguimiento, en las filas octava y novena de la tabla, se produciría el primer caso de abandono, el de la persona número 27, y la persona número 22, que hasta ese momento se encontraba sana, dejaría de ser seguida.
- Tanto la persona 22 como la persona 27, no están incluidas en el estudio después de 21 años de seguimiento, que recordamos corresponde con las edades de los participantes. La primera fue porque dejó la escuela y la segunda porque la investigación había terminado. Posteriormente, ambos casos podrían recibir la misma consideración; se conocerían como casos censurados, que incluirían abandonos y seguimientos incompletos.
- Con la suma de los casos anteriores, se tendrá un total de 10 casos de enfermedad y 4 casos censurados (2 abandonos y 2 con seguimiento incompleto) a los 30 años de seguimiento.

3.3.7 El Modelo de Corte Cerrada

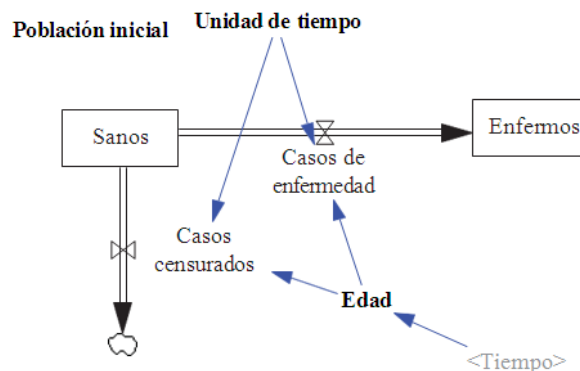
Los datos de seguimiento de esta cohorte cerrada se pueden simular en Vensim, la variable de simulación "Tiempo" se utilizará para representar la edad en el modelo. Cuando los miembros del grupo en la simulación alcancen la edad en la que la enfermedad se manifiesta por primera vez en ellos, la simulación finalizará. La persona identificada como caso 16 fue a la que se le siguió más años, concretamente 73 años, según la última fila de la cuarta columna de la Tabla 3.2.

Se confirma que, si se elige 73 años como período de seguimiento, los casos (8, 22, 26 y 30) asociados a individuos que presentaron un seguimiento incompleto a los 35, 20, 29

y 33 años, respectivamente, y los casos (6, 12, 17 y 27) asociados a los abandonos a los 48, 21, 36 y 20 años, respectivamente, acabarán catalogándose como casos censurados. Si bien los casos de enfermedad no cambiarán el tamaño del grupo, estos casos tienen la característica única de provocar variaciones en el tamaño del grupo. El modelo Vensim se muestra en la Figura 3.10, posee tres variables auxiliares, dos variables de estado, dos variables de flujo y dos variables de estado, de lo anterior se pueden deducir:

- El estado "Saludable" nos dará acceso a datos anuales sobre personas sanas.
- El estado "Enfermo" nos dará acceso a datos anuales sobre los enfermos.
- Podremos imitar la aparición de casos de enfermedades anuales utilizando el flujo de "Casos de enfermedades" que conecta los dos estados. Es decir, la cantidad de personas que pasan de estar sanas a estar enfermas cada año.
- Podemos incluir casos de abandono y casos con seguimiento insuficiente utilizando el flujo de "Casos Censurados". Se refiere al número total de participantes que abandonan el estudio cada año o que no finalizan su período de seguimiento. Debido a su destino desconocido, este flujo irá a una nube sumidero en lugar de a otro estado.
- Aunque la variable auxiliar "Población inicial" se utiliza como valor inicial para la variable de estado "Saludable", no es estrictamente necesaria y solo agrega generalidad al modelo.
- La variable auxiliar "Edad" se ha hecho explícita para que los dos flujos dependan exclusivamente de la edad de las personas, porque no existe relación de ningún tipo entre los distintos acontecimientos y los distintos grupos de población.
- La variable auxiliar "Unidad de tiempo" solo se incluye para lograr congruencia de unidades en todas las variables del modelo; no tiene ningún propósito funcional. El año se utilizará como unidad de tiempo en este caso particular, junto con la unidad de personas para la población inicial, las dos variables de estado y los dos flujos.

Figura 3.10. Seguimiento de Corte Cerrada Modelo Vensim



Las ecuaciones que han sido ingresadas en Vensim a través de las ventanas de edición correspondientes, describen el modelo:

$$\frac{d \text{Sanos}(t)}{dt} = -\text{Casos de enfermedad}(t) - \text{Casos censurados}(t)$$

$$\frac{d \text{Enfermos}(t)}{dt} = \text{Casos de enfermedad}(t)$$

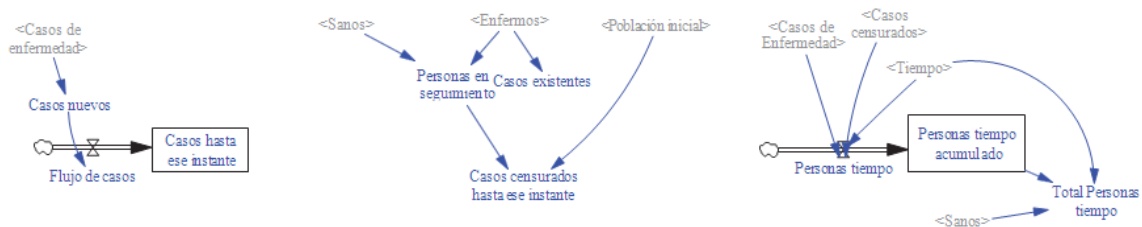
$$\text{Casos de enfermedad}(t) = F(t)$$

$$\text{Casos censurados}(t) = G(t)$$

3.3.8 Medida de Frecuencia (Modelo Ampliado)

Para incluir las mediciones de frecuencia del seguimiento de las 30 personas, se ampliará el modelo Vensim de cohorte cerrada presentado anteriormente. En la primera fase de la expansión se agregará un conjunto de variables intermedias, seguido de las variables reales que se agregarán para las mediciones de frecuencia en la segunda fase. De esta manera, podemos distinguir claramente entre el proceso que se está simulando (en este caso, una cohorte cerrada), las observaciones directas o casi directas de las variables del proceso y, finalmente, los cálculos sobre las observaciones, en este caso, la medición de la frecuencia. Para diseñar las mediciones de frecuencia, se han agregado nueve variables intermedias adicionales. Las cinco variables (Saludable, Enfermo, Población inicial, Casos de enfermedad y Casos censurados) de las que dependen estas variables están resaltadas en azul en la Figura 3.11, que también muestra que dependen de estas variables.

Figura 3.11. Seguimiento de Corte Cerrada Modelo Vensim (Variables Intermedias)



Dado que estamos interesados en conocer el número de casos de enfermedades que ocurren anualmente y el número de casos (enfermos) que persisten, dos variables intermedias, "Casos nuevos" y "Casos existentes", son meras réplicas de dos variables de proceso. Un registro anual de los participantes en el estudio se lleva en la variable "Personas en seguimiento", que es la suma de participantes sanos y enfermos. Las variables "Flujo de casos" y "Casos hasta ese momento" replican una estructura sencilla (flujo que alimenta una variable de estado con valor inicial nulo) que nos permite tener una contabilidad anual del total de casos registrados hasta ese momento. A través de una simple comparación de la población inicial y los participantes del estudio, la variable "Casos censurados hasta ese momento" nos dará información de cuántos participantes ya no están siendo rastreados.

Es posible tener una contabilidad anual de los años de seguimiento que suma todos los individuos que han participado en el estudio, los que presentaron algún tipo de evento y los que se mantienen sanos hasta ese año gracias a las variables "Personas tiempo", "Tiempo acumulado de personas" y "Tiempo total de personas". Al discutir los resultados de la simulación, se justificarán las particularidades de la estructura. Los resultados de la simulación se muestran en el Cuadro 3.3 para el tiempo, tres variables intermedias y las tres variables del modelo de las que dependen. En la columna "Tiempo de personas" se muestra el número de años de seguimiento, que suma las personas que han generado algún tipo de evento (enfermedad, abandono o seguimiento incompleto) en ese año. Como resultado, el número 12 aparece en el año 12, que corresponde a los 12 años que han pasado desde la enfermedad del paciente a la edad de 12 años. Se ve un valor de 57 en el año 19 porque los tres casos de la enfermedad que comenzaron en edad 19 total $3 \times 19 = 57$ años de seguimiento.

Al incluir la siguiente ecuación en el modelo, se obtienen estos resultados:

$$Personas\ tiempo(t) = (Casos\ de\ enfermedad(t) + Casos\ censurados(t))$$

Se puede visualizar los años de seguimiento acumulados por cada persona que ha generado eventos hasta ese año en la columna "Tiempo acumulado de personas". Así, el primer caso de enfermedad se manifiesta en el año 13 después de una acumulación de 12 años. Los 25 años transcurridos desde la aparición de la enfermedad aparecen en el año 14, que es un año sin incidentes. Los primeros cuatro casos de enfermedad han acumulado 60 años hasta el año 20 y los tres casos de enfermedad desde el año 19 han acumulado 57 años. Hasta el año 73, cuando la suma total es 929, el proceso continúa. La siguiente ecuación se agrega al modelo para producir estos resultados:

$$\frac{d\ Personas\ tiempo\ acumulado(t)}{dt} = Personas\ tiempo(t)$$

Cuadro 3.3. Simulación Variables Persona Tiempo

Time (año)	Casos de enfermeda	Casos censurados	Sano	Personas tiempo	Personas tiempo	Total Personas	Time (año)	Casos de enfermeda	Casos censurados	Sano	Personas tiempo	Personas tiempo	Total Personas tiempo
0	0	0	30	0	0	0	37	0	0	9	0	523	856
1	0	0	30	0	0	30	38	0	0	9	0	523	865
2	0	0	30	0	0	60	39	0	0	9	0	523	874
3	0	0	30	0	0	90	40	0	0	9	0	523	883
4	0	0	30	0	0	120	41	0	0	9	0	523	892
5	0	0	30	0	0	150	42	0	0	9	0	523	901
6	0	0	30	0	0	180	43	0	0	9	0	523	910
7	0	0	30	0	0	210	44	1	0	9	44	523	919
8	0	0	30	0	0	240	45	0	0	8	0	567	927
9	0	0	30	0	0	270	46	2	0	8	92	567	935
10	0	0	30	0	0	300	47	0	0	6	0	659	941
11	0	0	30	0	0	330	48	0	1	6	48	659	947
12	1	0	30	12	0	360	49	0	0	5	0	707	952
13	1	0	29	13	12	389	50	0	0	5	0	707	957
14	0	0	28	0	25	417	51	0	0	5	0	707	962
15	0	0	28	0	25	445	52	0	0	5	0	707	967
16	0	0	28	0	25	473	53	1	0	5	53	707	972
17	1	0	28	17	25	501	54	1	0	4	54	760	976
18	1	0	27	18	42	528	55	0	0	3	0	814	979
19	3	0	26	57	60	554	56	1	0	3	56	814	982
20	0	2	23	40	117	577	57	0	0	2	0	870	984
21	0	1	21	21	157	598	58	0	0	2	0	870	986
22	1	0	20	22	178	618	59	1	0	2	59	870	988
23	1	0	19	23	200	637	60	0	0	1	0	929	989
24	0	0	18	0	223	655	61	0	0	1	0	929	990
25	0	0	18	0	223	673	62	0	0	1	0	929	991
26	0	0	18	0	223	691	63	0	0	1	0	929	992
27	0	0	18	0	223	709	64	0	0	1	0	929	993
28	0	0	18	0	223	727	65	0	0	1	0	929	994
29	0	1	18	29	223	745	66	0	0	1	0	929	995
30	1	0	17	30	252	762	67	0	0	1	0	929	996
31	0	0	16	0	282	778	68	0	0	1	0	929	997
32	1	0	16	32	282	794	69	0	0	1	0	929	998
33	0	1	15	33	314	809	70	0	0	1	0	929	999

Cuadro 3.3. Simulación Variables Persona Tiempo (Continuación)

Time (año)	Casos de enfermeda	Casos censurados	Sano	Personas tiempo	Personas tiempo	Total Personas	Time (año)	Casos de enfermeda	Casos censurados	Sano	Personas tiempo	Personas tiempo	Total Personas tiempo
34	1	0	14	34	347	823	71	0	0	1	0	929	1000
35	1	1	13	70	381	836	72	0	0	1	0	929	1001
36	1	1	11	72	451	847	73	0	0	1	0	929	1002

En la columna "Tiempo total de personas" también se pueden ver los años de seguimiento que han acumulado todos los individuos, incluidos los que han presentado algún tipo de evento y los que se han mantenido sanos hasta ese momento. Como resultado, en el año 1 se muestra el número 30, que representa los 30 años que ha acumulado el primer año de seguimiento de los 30 individuos que se han mantenido sanos durante ese tiempo. Como se siguieron 30 personas durante 2 años, el valor 60 aparece en el año 2. Lógicamente, los años acumulados por los sanos hasta ese momento se pueden sumar al "Tiempo de Personas Acumulado" para determinar el valor del "Tiempo Total de Personas". Así, los 929 años acumulados por los individuos que presentaron algún tipo de evento se suman a los 73 años de la persona que permaneció sana durante todo el seguimiento para llegar al valor final de 1002. Sumando la ecuación posterior al modelo, se obtienen estos resultados:

$$Total\ Personas\ tiempo(t) = Personas\ tiempo\ acumulado(t) + t\ Sanos(t)$$

3.3.9 Medida de Frecuencia (Tasa de Incidencia)

Según Szklo y Nieto (2003), la tasa de incidencia o densidad describe la rapidez con la que una enfermedad puede transformar el estado de salud de una población en un estado de enfermedad. En nuestro caso, hemos incluido dos tipos de tasas de incidencia bajo los nombres "Tasa de incidencia específica" y "Tasa de incidencia", que se justifican a continuación. Podemos utilizar estas mediciones para ayudarnos a responder a una de las preguntas: ¿Cuántos casos de una enfermedad han aparecido en un período de tiempo determinado o con qué rapidez aparecen los casos por unidad de tiempo?

La relación (dividida por 1) entre el número de nuevos casos de enfermedad observados en ese momento particular y el tamaño de la población de donde se originaron estos casos se conoce como tasa de incidencia puntual o tasa de incidencia instantánea. Al no existir medidas adicionales durante el año, los nuevos casos de enfermedad se refieren a la población que hasta ese momento estaba sana. La siguiente expresión es la utilizada para

calcular la tasa de incidencia específica. El valor de la tasa de incidencia puntual siempre estará entre 0 y 1, y se expresará como 1/ año porque el tamaño de la población susceptible a enfermar limita el número de nuevos casos de enfermedad.

$$\textit{Tasa de incidencia puntual}(t) = \frac{\textit{Casos nuevos}(t)}{\textit{Sanos}(t)}$$

La progresión a corto plazo de la enfermedad en una población se puede predecir utilizando esta tasa de incidencia instantánea. Sin embargo, debido a las variaciones y errores que podrían afectar a esta medición, estas predicciones no son fiables. La tasa de incidencia observada durante períodos de tiempo más largos es más práctica de utilizar para predicciones a largo plazo. En estas situaciones, utilizamos los términos "tasa de incidencia" o "tasa de incidencia promedio durante el período de observación".

La tasa de incidencia se calcula como la relación entre la población total de la que se originaron estos casos y el número de casos de enfermedad que se han documentado durante ese tiempo. En nuestra ilustración, el período de observación va desde el inicio de la simulación hasta el momento actual, y el número de casos de enfermedad contabilizados durante ese tiempo corresponde a la variable "Casos hasta ese momento". Sin embargo, como cada uno de ellos estaba en riesgo de desarrollar la enfermedad antes de abandonarla o desarrollarla, los casos surgen de aquellos que fueron monitoreados durante ese tiempo. No olvidemos que para contabilizar los años de seguimiento en el ámbito de variables intermedias se utilizó la variable "Tiempo Total de Personas". Por lo tanto, para calcular la tasa de incidencia acumulada utilizamos la expresión:

$$\textit{Tasa de incidencia}(t) = \frac{\textit{Casos hasta ese instante}(t)}{\textit{Total Personas tiempo}(t)}$$

3.3.10 Medida de Frecuencia (Incidencia Acumulada)

La incidencia acumulada calcula el número de casos nuevos de una enfermedad que aparecen en una población determinada durante un período de tiempo predeterminado (Rothman et al. 2008). En nuestro ejemplo, primero incluimos dos tipos de incidencia con los nombres "Incidencia acumulativa específica" e "Incidencia acumulativa", que miden la gravedad de la enfermedad en relación con el tamaño de la población en un momento particular. Estas medidas nos ayudarán en abordar otras cuestiones planteadas en la

pregunta: ¿Cuál es el riesgo de contraer una enfermedad particular en un momento específico o durante un período de tiempo?

Por analogía con la tasa de incidencia puntual, la incidencia puntual acumulada es la relación (dividida por 1) entre el número de nuevos casos de enfermedad observados durante el año del estudio y el tamaño de la población al inicio del estudio. Como resultado, estamos utilizando la siguiente expresión para medir la incidencia acumulada particular. Debido a que el tamaño de la población inicial restringe el número de nuevos casos de enfermedad, el valor de la incidencia acumulada específica siempre estará entre 0 y 1, y se expresará en 1/año.

$$\text{Incidencia acumulada puntual}(t) = \frac{\text{Casos nuevos}(t)}{\text{Población inicial}}$$

Debido a sus fluctuaciones y potencial de error, esta incidencia acumulada específica tiene una utilidad limitada para extrapolarla a otros grupos de población. Para este tipo de extrapolaciones es más práctico utilizar la incidencia observada durante períodos de tiempo más largos. En estas situaciones nos referimos a la incidencia acumulada, también conocida como tasa de ataque cuando se aplica al estudio de brotes epidémicos. La relación entre el número de casos de enfermedades notificados durante ese tiempo y el tamaño de la población al inicio del estudio se conoce como incidencia acumulada. En nuestra ilustración, el período de observación va desde el inicio de la simulación hasta el presente, por lo que podemos medir la tasa de incidencia acumulada usando la siguiente expresión:

$$\text{Incidencia acumulada}(t) = \frac{\text{Casos hasta ese instante}(t)}{\text{Población inicial}}$$

Debido a que el tamaño inicial de la población limita el número de casos de enfermedad, es una variable adimensional que siempre estará entre 0 y 1. Sin embargo, la incidencia acumulada también parece ser una variable que aumenta a lo largo del tiempo, el porque el numerador es una cantidad que se desarrolla o se mantiene en el tiempo y el denominador es una constante. La incidencia máxima de la enfermedad en esa población normalmente se revelará mediante una cantidad infinita de tiempo de observación. Normalmente, la incidencia acumulada se utiliza para estimar la probabilidad de que un miembro determinado de la población contraiga la enfermedad. Como resultado, la probabilidad de supervivencia (SI) es el complemento de la incidencia acumulada, que se utiliza para calcular la probabilidad de no contraer la enfermedad.

Discutiremos las "Probabilidades de enfermar" en base a este cálculo de incidencia ya que la relación entre una probabilidad particular y su complementaria se conoce como término Probabilidades. Las medidas de incidencia acumulada del modelo van acompañadas de las correspondientes probabilidades de sobrevivir y de enfermarse. Las dos expresiones siguientes forman la base de ese componente del modelo:

$$\text{Probabilidad de supervivencia}(t) = 1 - \text{Incidencia acumulada}(t)$$

$$\text{Odds de enfermar}(t) = \frac{\text{Incidencia acumulada}(t)}{1 - \text{Incidencia acumulada}(t)}$$

3.3.11 El Método de Kaplan Meier

La probabilidad acumulada de enfermar o no se determina únicamente por el método de incidencia acumulada. El Método del Producto Límite (Kaplan-Meier), que cae dentro de la categoría de métodos para el análisis de Tablas de Vida, ofrece un análisis de supervivencia más completo (Szklo y Nieto, 2003). A diferencia del Método de Incidencia Acumulada, que se basa en acumular los eventos y calcular la probabilidad al finalizar el período de observación, se basa en sumar la probabilidad en el momento en que ocurre el evento (el inicio de la enfermedad).

Para utilizar el Método Kaplan-Meier en el cálculo de la probabilidad de supervivencia se han incluido tres variables. La siguiente expresión se utiliza para calcular la variable "Probabilidad condicional de supervivencia", que es el complemento del riesgo de enfermar en ese momento concreto. Es decir, como complemento a la tasa de incidencia instantánea. Para que el resultado sea adimensional al usar esta variable en el modelo Vensim, se debe sumar la unidad de tiempo al numerador del cociente.

$$\text{Probabilidad condicional de supervivencia}(t) = 1 - \frac{\text{Casos nuevos}(t)}{\text{Sanos}(t)}$$

Simplemente multiplicar durante el período de observación dará como resultado una acumulación de las probabilidades asociadas con eventos que no son enfermedades. Las otras dos variables, "probabilidad de supervivencia de Kaplan Meier" y "probabilidad de KM anterior", se han estructurado con este objetivo:

$$\begin{aligned} \text{Probabilidad KM anterior}(t) &= \text{Probabilidad de supervivencia Kaplan Meier}(t-1) \\ \text{Probabilidad de supervivencia Kaplan Meier}(t) &= \\ &= \text{Probabilidad KM anterior}(t) \text{ Probabilidad condicional de supervivencia}(t) \end{aligned}$$

3.3.12 La Medida de Prevalencia

Según Szklo y Nieto (2003), es una medida de la prevalencia de la enfermedad en la población. Es una medida adimensional con un rango de 0 a 1 porque su definición establece que es el porcentaje de personas de la población que se ven afectadas por la enfermedad. Es importante distinguir entre los siguientes tipos de prevalencia porque la medida puede ser instantánea o referirse a un período de observación específico.

- Prevalencia a largo plazo. Porcentaje de personas que padecen una condición o enfermedad durante toda o parte de su vida.
- Prevalencia estacional, durante un año calendario. Se consideran tanto las personas que contrajeron una enfermedad durante ese año como las que lo hicieron antes pero aún están enfermas.
- Ocurrencia en el tiempo. Lo mismo ocurre con un período de tiempo determinado. Es necesario especificar el plazo considerado.
- Punto de preponderancia. Dicho en un momento particular.

Dado que se seleccionó el año como intervalo de simulación y período mínimo de observación, en el ejemplo solo hemos incluido la prevalencia puntual, que siempre coincide con la prevalencia anual. La prevalencia se calcula mediante el modelo Vensim mediante la siguiente expresión, y se acompaña de la Odds correspondiente, o la proporción entre ese valor y su valor complementario.

$$Prevalencia\ puntual(t) = \frac{Casos\ existentes(t)}{Personas\ en\ seguimiento(t)}$$

Capítulo IV

Modelos Asociados a Enfermedades Transmisibles

El contagio es la característica más definitoria de las enfermedades transmisibles (ET). Un microorganismo (virus, bacteria, hongo o parásito) que puede causar una infección o enfermedad en una persona se conoce como agente infeccioso, y el término "contagio" se refiere a la forma en que ese agente se propaga. Por transmisión o contacto directo, como piel, mucosas, besos, mordeduras, manos, contacto sexual; de una fuente o reservorio, un animal, planta o sustancia en la que normalmente vive un agente infeccioso y cuya presencia puede constituir un riesgo para la salud pública (Martínez Navarro, 1997).

Según Anderson y May (2005), existen dos categorías diferentes de agentes infecciosos: macroparásitos y microparásitos. Pequeños virus, bacterias y protozoos son ejemplos de microparásitos que pueden crecer rápidamente y directamente dentro del huésped. Incluyen las causas de enfermedades como la hepatitis viral, el dengue, enfermedades transmitidas por el aire como la influenza y la legionelosis, enfermedades de transmisión sexual como el VIH y enfermedades infantiles como el sarampión, la polio y la rubéola, entre otras. También están los protozoos causantes de la leishmaniasis, la tripanosomiasis y la malaria, entre otras enfermedades.

Los macroparásitos son parásitos que no se reproducen directamente dentro del huésped elegido. Parásitos trematodos (como *Schistosoma* y *Fasciola*), cestodos (como *Taenia* y *Echinococcus*), nematodos (como *Ascaris*, *Trichuris*, *Necator* y *Onchocerca*) y ectoparásitos son algunos de ellos (Basaez, 2004). Los microparásitos suelen causar enfermedades muy leves, de las cuales el huésped se recupera rápidamente y, en ocasiones, desarrolla una inmunidad temporal o permanente. Los macroparásitos suelen causar enfermedades crónicas, de las cuales el huésped se recupera lentamente y desarrolla una inmunidad de corta duración.

Existen numerosas formas en que se puede contagiar una ET, lo que lleva a las clasificaciones que se enumeran a continuación:

- De Forma Directa, La piel, las mucosas, los besos, los mordiscos, las manos y el contacto sexual son ejemplos de contacto directo. El término "enfermedades contagiosas" se utiliza normalmente en situaciones como ésta. Estornudos, tos, secreciones de la conjuntiva, la boca y la garganta (gotitas de Pflugger), arrojado a más de un metro de distancia. Polvo, incluidas grandes partículas de suciedad que se encuentran en la ropa y el suelo.
- De forma Indirecta, los juguetes, pañuelos, ropa sucia, ropa de cama, utensilios de cocina y mesa, instrumentos quirúrgicos o vendajes contaminados son ejemplos de objetos o materiales contaminados que se transmiten a través de vehículos. Agua,

alimentos, leche, productos biológicos como sangre, suero, plasma, tejidos u órganos. cualquier material que actúa como conducto intermediario entre el agente infeccioso y un huésped susceptible antes de que el agente infeccioso se introduzca a través del portal de entrada adecuado. Antes de ser transmitido, el agente puede haberse multiplicado o desarrollado o no en el vehículo.

- Mediante un vector mecánico, también incluye la simple transmisión mecánica del agente infeccioso por un insecto en movimiento o volador, ya sea contaminando sus patas o tronco con tierra o al pisar su tracto digestivo. Para esta transmisión no es necesario el desarrollo de microorganismos ni su multiplicación.

- Mediante un vector biológico, cuando el artrópodo debe sufrir propagación (multiplicación), desarrollo cíclico o una combinación de ambos (ciclo-propagación), para poder transmitir la forma infecciosa del agente a los humanos. Se necesita un período de incubación (extrínseco) después de la infección para que el artrópodo se vuelva infeccioso. La transmisión transovárica se refiere a la transmisión vertical del agente infeccioso a las generaciones siguientes. La transmisión transestadial denota la transición de una etapa del ciclo biológico a la siguiente, como el paso de la crisálida a la forma adulta. La transmisión puede ocurrir como resultado de la saliva durante la picadura, regurgitación, depósito de heces u otro material en la piel que pueda atravesar la picadura o una zona traumatizada, o por roce o rascado. No se trata simplemente de un transporte mecánico mediante un vector que actúa como vehículo; más bien, es transmisión por un huésped invertebrado infectado. En ambas situaciones el artrópodo sigue siendo considerado un vector.

- Mediante el aire, es la dispersión de aerosoles microbianos transportados hacia una puerta de entrada adecuada, normalmente el tracto respiratorio. Los aerosoles microbianos son suspensiones de partículas en el aire compuestas total o parcialmente de microorganismos. Durante largos períodos de tiempo, las partículas pueden flotar en el aire; algunos pierden su virulencia o contagiosidad mientras que otros la conservan. Las partículas pueden entrar y permanecer fácilmente en los alvéolos pulmonares. Las gotitas y otras partículas grandes no se consideran transportadas por el aire cuando se depositan rápidamente.

- Núcleos de Wells, Por lo general, son pequeños trozos de escombros que quedan después de que se evapora el líquido de las gotitas emitidas por un huésped infectado. Los núcleos de gotitas también pueden formarse accidentalmente o intencionalmente utilizando una variedad de dispositivos atomizadores, como en laboratorios microbiológicos, mataderos, industrias extractivas o salas de necropsia. Por lo general, quedan suspendidos en el aire durante un tiempo considerable.

- Partículas de Polvo, de diferentes tamaños que pueden provenir del suelo (como esporas de hongos que han sido separadas mecánicamente o por el viento del suelo seco), la ropa de las personas, la ropa de cama o los pisos contaminados.

Se considerarán las siguientes categorías de medidas de las autoridades sanitarias en relación con la ET:

- Acciones tomadas con la intención de retrasar la aparición o limitar la propagación de la enfermedad, ya sea reduciendo el contagio (hospitalizando o aislando a los enfermos) o protegiendo a la población susceptible mediante campañas de vacunación. Ambas acciones entran dentro de la categoría de estrategias de prevención primaria.
- Tomaremos en consideración las pruebas de detección en el mismo contexto que las ENT, consideradas como medidas de prevención secundarias.
- Las medidas de prevención terciarias, son aquellas que se ha demostrado que curan definitivamente la enfermedad como aquellos que se ha demostrado que frenan las muertes en casos crónicos. El uso de antivirales en personas con VIH o hepatitis C es un ejemplo de estas medidas, que aumentan significativamente la esperanza de vida en comparación con las personas que no toman la medicación.

Podemos tener en cuenta grupos de población con el objetivo de dar cabida a casi todas las enfermedades transmisibles:

- Susceptible, Se considera susceptible cualquier individuo que carezca de defensas adecuadas frente al agente patógeno que causa la enfermedad. Como resultado, la muestra susceptible es la porción de la población que aún no está infectada pero que está en riesgo de contraer la enfermedad. Uno de los primeros problemas que enfrentaremos al intentar simular la transmisión de una enfermedad es la dificultad de estimar con precisión la proporción de individuos susceptibles en una población. Conocer la edad de aparición de la enfermedad y la distribución por edades de la población será útil para realizar esta estimación.
- Personas asintomáticos no contagiosas, es la población que tiene la enfermedad pero aún no tiene la capacidad de transmitirla y aún no presenta ningún síntoma que permita detectarla, estos individuos albergan el agente infeccioso específico de la enfermedad.
- Personas asintomáticos contagiosas, esa población es la que padece la enfermedad, que pueden propagar a pesar de no presentar ningún síntoma o signo que permita identificarlos. Habrá cuatro tipos diferentes de personas en este grupo. Personas con enfermedades que no saben que tienen, como las personas VIH positivas que no saben que están infectadas. personas enfermas que presentan síntomas y signos de

enfermedad, pero que generalmente optan por automedicarse en lugar de buscar atención médica. Personas que buscan atención médica para sus enfermedades pero son diagnosticadas erróneamente porque tienen síntomas vagos (como las primeras etapas de la gripe o el Ébola). personas que están enfermas pero se niegan a utilizar los servicios médicos porque carecen de tarjeta sanitaria. Sin embargo, lógicamente, esta situación se daría en aquellas enfermedades con síntomas leves que no interfieren en la vida diaria de las personas. El subgrupo mayoritario podría ser el grupo de personas que optan por automedicarse. En cualquier caso, la llamada “epidemia oculta” incluye todos los casos infecciosos asintomáticos”.

- Enfermos sintomáticos contagiosos, la población tiene la culpa del desarrollo de la enfermedad; somos conscientes de que existe y tiene potencial para propagarse. Este grupo se identifica cuando los síntomas comienzan a aparecer o cuando los resultados de las pruebas de detección son positivos. La infección por VIH se diagnostica mediante pruebas de laboratorio (serologías), como la prueba ELISA, Western blot e inmublot. También existen pruebas cutáneas específicas, como la prueba de Mantoux o de tuberculina, que se recomienda para cualquier persona que tenga un mayor riesgo de contraer tuberculosis y se beneficiaría de recibir una terapia de quimioprofilaxis. Y dado que la PCR se utilizó recientemente para detectar el Ébola, se puede mencionar como prueba de diagnóstico.

- Personas inmunes recuperadas, aunque el término "recuperado" tiene un significado ligeramente diferente en el contexto de las enfermedades transmisibles, lo usaremos para referirnos a la población de pacientes que tratan la enfermedad con éxito y, en la mayoría de los casos, desarrollan inmunidad. Esta inmunidad puede ser total o temporal. En la primera instancia, la persona no puede volver a contraer la enfermedad, mientras que en la segunda, vuelve a ser susceptible después de un cierto período de tiempo. La remisión de la enfermedad puede ocurrir de forma natural o como resultado de medicación o cirugía.

- Personas vacunadas, individuos sanos que han obtenido inmunidad mediante vacunación. Aunque no todas las enfermedades transmisibles se pueden prevenir mediante la vacunación, como todos sabemos, existen vacunas disponibles para un número importante de ellas. Se ha preferido incluir el estado de vacunado en lugar de recuperado para las personas vacunadas porque la inmunidad proporcionada por la vacuna puede ser diferente de la inmunidad adquirida después de haber pasado la enfermedad.

- Personas en estado crónico, aquellos con enfermedades que son crónicas y no se pueden curar. Esta condición generalmente se logra de forma natural y tendrá una carga viral alta. Tal es el caso, en el VIH y el virus de la hepatitis C, entre otros. La terapia antirretroviral es una opción para estos pacientes, y en esa situación, al igual

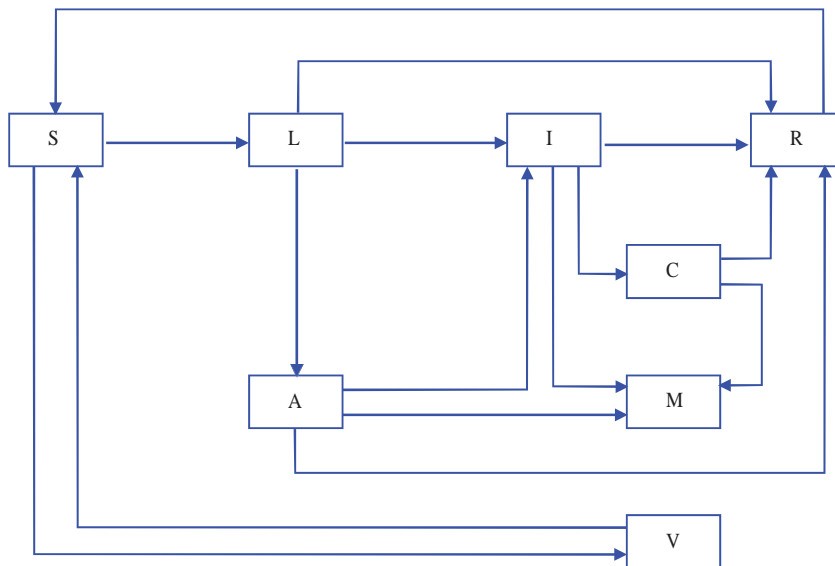
que con el VIH, la carga viral puede volverse indetectable. Además, parecería que quienes han recibido tratamiento propagan la enfermedad menos rápidamente que quienes no lo han recibido.

- Personas fallecidas, personas que han fallecido a causa de la enfermedad. Al igual que ocurre con las enfermedades no transmisibles, se trata de una condición terminal de la población cuya inclusión permitirá evaluar la gravedad de la enfermedad.

4.1 El Diagrama de Forrester Enfermedades Transmisibles

Los flujos de población resultan de las transiciones entre los diversos estados de enfermedad: susceptibles (S), latentes (L), asintomáticos (A), sintomáticos (S), recuperados (R), vacunados (V), crónicos (C); las transiciones produce el diagrama de la figura siguiente, que aún no se ajusta a la definición de un diagrama de Forrester, pero es muy útil para iluminar los procesos involucrados en los ET. En este esquema, cada uno de los siete estados está representado por un rectángulo con una letra (la primera letra del nombre del estado o su representante) escrita en su interior. Y una flecha sencilla para cada una de las catorce transiciones.

Figura 4.1. Diagrama de Forrester de Enfermedades Transmisibles



Comenzaremos explicando los siete nombres (o tantos estados receptores como flujos primarios existan) que se han utilizado para condicionar los nombres de algunas variables auxiliares:

- Casos incidentes, se refiere al flujo de pacientes que contraen la enfermedad de forma gradual y sin ningún síntoma. Cuenta las transiciones del estado susceptible al latente por unidad de tiempo.
- Casos no observados, asociado a los casos de enfermedades que han pasado desapercibidas. Como resultado, registra cambios del estado latente al estado asintomático por unidad de tiempo.
- Casos observados, casos de la enfermedad que se descubrieron mediante el desarrollo de síntomas o una prueba de detección positiva. Dado que el estado sintomático puede desarrollarse a partir del estado latente o del estado asintomático, también incluye los cambios que le ocurren en cada unidad de tiempo.
- Casos de curación, representan casos de superación de la enfermedad. Como resultado, tiene en cuenta todos los ajustes realizados por unidad de tiempo al estado recuperado, independientemente de cómo se hayan realizado: de forma natural (desde el estado latente), mediante tratamiento (desde el estado sintomático), o sin necesidad de ningún tipo de intervención.
- Vacunaciones, como las vacunas sólo tienen impacto en personas sanas, utilizamos este nombre para describir los cambios que se producen con el tiempo desde el estado susceptible al estado vacunado.
- Casos crónicos, se refiere al flujo que encapsula todos los casos de enfermedades crónicas.
- Muertes, son todos los casos de muertes relacionadas con enfermedades bajo este título. Por tanto, tiene en cuenta los cambios que se producen en el estado muerto a lo largo del tiempo, ya sea de forma voluntaria (desde el estado sintomático o crónico) o de forma natural (sin signos de haber padecido la enfermedad).
- Casos de regreso a la susceptibilidad, se refiere principalmente al flujo de personas que se han recuperado de la enfermedad pero que, al tomar mayor conciencia de ella, bajan la guardia y pueden volver a experimentarla. Sin embargo, cuando la vacuna no proporciona inmunidad de por vida, también tiene en cuenta los cambios por unidad de tiempo del estado susceptible al estado vacunado.

Ahora bien, los flujos secundarios nos permiten considerar en el modelo los fenómenos migratorios (inmigraciones y migraciones) que afectarían a todos los grupos de la población con flujos separados, aumentando y disminuyendo correspondientemente el tamaño del grupo. Los fenómenos relacionados con la migración son más significativos cuando se trata de ET porque tienen el potencial de traer de vuelta enfermedades que se creían extintas o alterar el estado actual de equilibrio de la población.

Según el valor actual del estado de origen, ciertos flujos y variables auxiliares relacionadas con las transiciones de enfermedades transmisibles están bien definidos. Otras variables del diagrama de Forrester, como vacunaciones, casos incidentes, casos observados mediante pruebas de detección en casos latentes, casos observados mediante pruebas de detección en pacientes asintomáticos, casos de curación por tratamiento en pacientes sintomáticos, casos de curación en casos crónicos y muertes, sin embargo, no sólo están influenciados por el estado en el que se originan, sino también por las medidas preventivas pertinentes.

Por el momento, el diagrama agrupa los aspectos cualitativos en subsistemas. Por tanto, las estrategias de prevención primaria conforman un subsistema que incide directamente en los casos incidentes y en las vacunaciones. Los casos detectados mediante pruebas de detección en casos latentes y asintomáticos están directamente influenciados por las medidas de prevención secundaria, que conforman un subsistema. Además, se compone de medidas de prevención terciaria un subsistema que incide directamente en los casos de muerte crónica, los casos de curación por tratamiento en los casos sintomáticos y los casos de curación en los casos crónicos.

Al desarrollar modelos específicos de enfermedades transmisibles, el diagrama de Forrester se puede utilizar como punto de partida o como punto de referencia porque se ha presentado con suficiente generalidad. Los tres modelos dinámicos que se utilizan con mayor frecuencia en el análisis de ET se derivan de una serie de simplificaciones, que discutiremos a continuación.

4.2 El Modelo SLIR

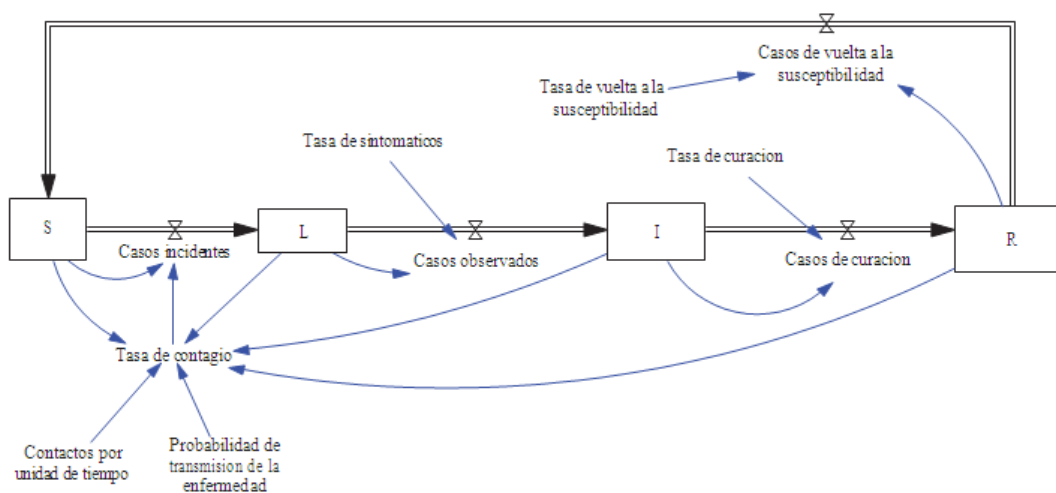
El término SLIR se refiere a los estados: susceptibles, latentes, infecciosos, y recuperados, el cual es una ampliación del modelo SIR: susceptibles, infecciosos y recuperados. Propuesto en 1927 por Kermack y McKendrick (Anderson y May, 2005). Para crear este primer modelo, renunciaremos en algunos estados y a todas las formas de intervención, y nos concentraremos únicamente en el fenómeno que sería coherente con la evolución natural de las ET y en el que se tienen en cuenta los elementos clave de estas enfermedades.

El modelo sería de ayuda para simular la evolución natural de cualquier ET en el que se evidencie los siguientes hechos:

- Toda persona que desarrolla la enfermedad lo hace presentando síntomas, aunque no de manera inmediata.
- Después de un período de enfermedad, todos mejoran.
- La recuperación de la enfermedad no da como resultado una inmunidad de por vida, lo que hace que quienes se han recuperado sean susceptibles una vez más.

El modelo Vensim demuestra cómo se ha hecho posible eliminar el estado asintomático y todas las transiciones asociadas, teniendo en cuenta el hecho de que todas las personas que contraen la enfermedad experimentan síntomas. Podemos prescindir de los estados crónico y muerto, así como de todas las transiciones relacionadas con ellos, porque creemos que todos se recuperan. Si bien eliminar las medidas de intervención nos ha permitido acabar con algunas transiciones y evitar tener en cuenta el estado de vacunación. Finalmente, la ausencia de muertes asegura una población global constante y permite acabar con el crecimiento vegetativo de la población susceptible.

Figura 4.2. Desarrollo de ET Modelo SLIR



En otras palabras, sólo quedan cuatro estados y cuatro flujos principales. Uno de ellos es la reaparición de la susceptibilidad porque la enfermedad no da lugar a una inmunidad de por vida. Cabe señalar también que hemos sustituido la variable auxiliar “Tasa de Infección” por el subsistema de “Medidas de Prevención Primaria”, que también se utilizaba en enfermedades no transmisibles, para reflejar la proporcionalidad de los casos incidentes con el grupo de susceptibles. Además, debido a que estamos simulando una enfermedad transmisible, hemos agregado dos nuevos parámetros, contactos por unidad de tiempo y probabilidad de transmisión, para tener en cuenta el hecho de que la tasa de contagio debe tener en cuenta tanto la enfermedad como los comportamientos sociales (de persona a persona) que favorecen la aparición de la enfermedad.

La consideración de la mortalidad natural, con la misma tasa en todos los grupos, es otra variación potencial de este modelo, una mortalidad relacionada con la enfermedad (muerte) en el grupo de aquellos con síntomas. La población susceptible experimentó un crecimiento vegetativo que compensó todas las muertes. Las siguientes ecuaciones proporcionan una descripción completa del modelo matemático SLIR:

$$\frac{dS(t)}{dt} = \text{Casos de vuelta a la susceptibilidad}(t) - \text{Casos incidentes}(t)$$

$$\frac{dL(t)}{dt} = \text{Casos incidentes}(t) - \text{Casos observados}(t)$$

$$\frac{dI(t)}{dt} = \text{Casos observados}(t) - \text{Casos de curación}(t)$$

$$\frac{dR(t)}{dt} = \text{Casos de curación}(t) - \text{Casos de vuelta a la susceptibilidad}(t)$$

$$\text{Casos incidentes}(t) = \text{Tasa de contagio}(t) \cdot S(t)$$

$$\text{Casos observados}(t) = \text{Tasa de sintomáticos} L(t)$$

$$\text{Casos de curación}(t) = \text{Tasa de curación} I(t)$$

$$\text{Casos de vuelta a la susceptibilidad}(t) = \text{Tasa de vuelta a la susceptibilidad} R(t)$$

$$\text{Tasa de contagio}(t) = \frac{\text{Contactos por unidad de tiempo}}{S(t) + L(t) + I(t) + R(t)}$$

La última ecuación es la más significativa en este modelo; intenta recopilar la tasa instantánea a la que se producirán casos incidentes en el grupo de susceptibles y merece alguna justificación. Como resultado, el parámetro contactos por unidad de tiempo se multiplica en el numerador porque esta tasa se deriva lógicamente del número promedio de contactos que una persona puede tener con otras personas por unidad de tiempo. Sin embargo, sólo las interacciones con individuos sintomáticos (infecciosos) habrán aumentado el riesgo de que una persona contraiga la enfermedad, por lo que $I(t)$ se incluye en el numerador y la población en su conjunto se incluye en el denominador ($S(t) + L(t) + I(t) + R(t)$).

Dado que no todas las enfermedades se propagan con la misma facilidad, el efecto multiplicador de la tasa de contagio sobre la probabilidad de transmisión de la enfermedad da como resultado la aparición del parámetro en el numerador. En esencia, la expresión significa que la probabilidad de que una persona se infecte es igual al producto del número de contactos que puede tener, la probabilidad de que esos contactos hayan involucrado a una persona sintomática y la probabilidad de que la enfermedad se transmita.

Algunos autores utilizan el término "probabilidad de contacto efectivo" para referirse a la probabilidad de que la enfermedad se propague, y utilizan los términos "probabilidad de transmisión" o "coeficiente de transmisión" y el símbolo β para referirse a la suma de los contactos y la probabilidad de que la enfermedad se propague. De la misma manera, los dos términos pueden usarse de forma independiente porque el primero depende principalmente del comportamiento social y el segundo se basa en las características de la enfermedad. A pesar de que ambos tendrán un impacto idéntico en la tasa de infección y, en consecuencia, en la propagación de la enfermedad. El siguiente conjunto de ecuaciones servirá como formulaciones alternativas para las expresiones ya que estos autores también utilizan los términos "Fuerza de la infección" y el símbolo λ para referirse a la tasa de contagio (Giesecke, 2002):

$$\text{Casos incidentes } (t) = \lambda (t) S (t)$$

$$\lambda (t) = \beta P(t)$$

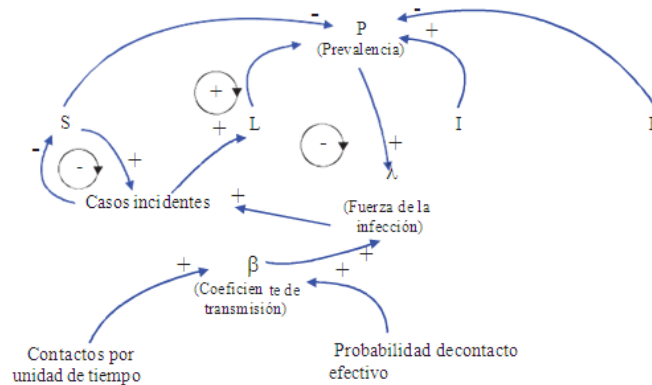
$$\beta = \text{Contactos por unidad de tiempo Probabilidad de contacto efectivo}$$

$$P (t) = \frac{I(t)}{S(t) + L(t) + I(t) + R(t)}$$

Las relaciones que produce este conjunto de ecuaciones se reúnen junto con los parámetros en el diagrama de influencia. Se ve que están presentes tres bucles. Dos retroalimentaciones negativas, una sobre la población susceptible y otra sobre la población latente, las cuales tendrían efectos estabilizadores. El tercero es una retroalimentación favorable sobre la población de susceptibles, que desestabilizaría las cosas. El propósito del primer bucle es explicar cualitativamente cómo a medida que aumentan las susceptibilidades, aumentan los casos incidentes. El segundo bucle explica cualitativamente que si aumentan las latentes, disminuyen la prevalencia, la fuerza de la infección, los casos incidentes y, por tanto, las latentes. El tercer bucle explica que a medida que aumentan los susceptibles, la prevalencia, la intensidad de la infección y los casos incidentes disminuyen.

Este diagrama de influencia también se puede utilizar para explicar cómo un aumento de los síntomas dará como resultado un aumento de la prevalencia, un aumento de la intensidad de la infección, un aumento de los casos incidentes, una disminución de la susceptibilidad y un aumento de los casos latentes, aunque solo sea una representación parcial del modelo SLIR. Con la misma lógica también se puede explicar el inicio de la transmisión de una enfermedad; una o más personas infectadas infectan a un grupo de personas que son más o menos susceptibles a la enfermedad en cuestión, lo que provoca que la enfermedad se propague por todo el grupo.

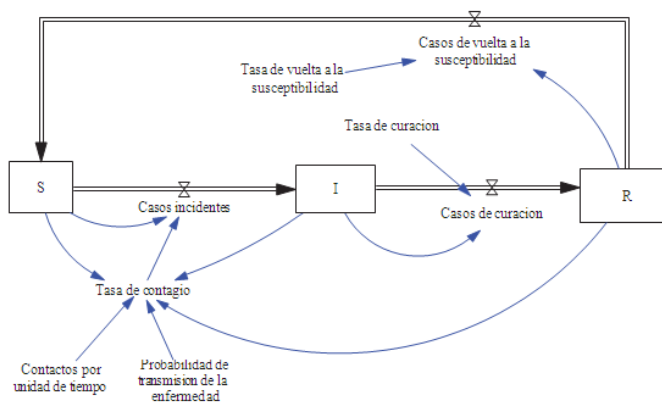
Figura 4.3. Modelo SLIR Diagrama de Influencias



4.3 El Modelo SIR

Para algunas enfermedades transmisibles puede existir evidencia de una falta de período de latencia o de un período de latencia muy corto en relación con el período infeccioso. Si es así, se puede eliminar el estado latente y se puede cambiar el modelo SLIR a un modelo SIR de tres estados, con el beneficio adicional de que el flujo de casos observado también sale del modelo porque siempre coincide con los casos incidentes. Dado que en el modelo original no hay pérdida de inmunidad, lo que hemos reflejado en el flujo de casos que regresan a la susceptibilidad y la tasa correspondiente, este segundo modelo continúa siendo una extensión del modelo SIR propuesto por Kermack y McKendrick en 1927 (Anderson & May, 2005).

Figura 4.4. Desarrollo de ET Modelo SIR



Con la ayuda de las siguientes siete ecuaciones, el modelo matemático SIR se puede explicar completamente:

$$\frac{dS(t)}{dt} = \text{Casos de vuelta a la susceptibilidad}(t) - \text{Casos incidentes}(t)$$

$$\frac{dI(t)}{dt} = \text{Casos incidentes}(t) - \text{Casos de curacion}(t)$$

$$\frac{dR(t)}{dt} = \text{Casos de curacion}(t) - \text{Casos de vuelta a la susceptibilidad}(t)$$

$$\text{Casos incidentes}(t) = \text{Tasa de contagio}(t) S(t)$$

$$\text{Casos de curacion}(t) = \text{Tasa de curacion} I(t)$$

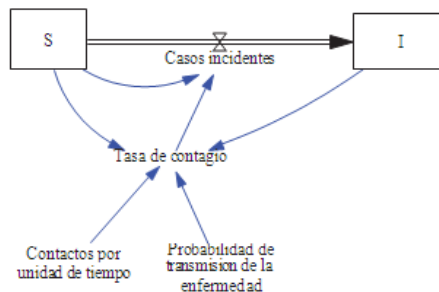
$$\text{Casos de vuelta a la susceptibilidad}(t) = \text{Tasa de vuelta a la susceptibilidad} R(t)$$

$$\text{Tasa de contagio}(t) = \frac{\text{Contactos por unidad de tiempo} \cdot I(t)}{S(t) + I(t) + R(t)}$$

4.4 El Modelo SI

El modelo SI, que tiene sólo dos estados y un flujo, es el modelo más básico para las enfermedades transmisibles. Debido a que sólo tiene dos estados y un flujo, puede usarse para estudiar el desarrollo de enfermedades que se propagan rápidamente, siempre que haya pruebas de que todas las personas susceptibles terminarán contrayendo la enfermedad.

Figura 4.5. Desarrollo de ET Modelo SI



Las siguientes ecuaciones proporcionan una descripción completa del modelo matemático SI:

$$\frac{dS(t)}{dt} = -\text{Casos incidentes}(t)$$

$$\frac{dI(t)}{dt} = \text{Casos incidentes}(t)$$

$$\text{Casos incidentes}(t) = \text{Tasa de contagio}(t) S(t)$$

$$\text{Tasa de contagio}(t) = \frac{\text{Contactos por unidad de tiempo}}{S(t) + I(t)}$$

$$\frac{I(t)}{S(t) + I(t)}$$

4.5 Las Epidemias y las Endemias

Las dos formas principales de enfermedades transmisibles en una población son epidémicas y endémicas. Ambos se identifican por la aparición de los casos incidentes iniciales, por lo que empiezan igual pero terminan de manera diferente. Como ya no hay transmisión de enfermedades, o más específicamente, ya no hay casos incidentes, la epidemia se puede distinguir de la endémica. Cuando la población susceptible se agote o cuando la infección haya sido erradicada, este hecho se producirá. Si bien la transmisión nunca se detiene en una condición endémica, se alcanza un estado estable cuando continúan ocurriendo casos de todo tipo al mismo tiempo (incidentes, observados, curas y retornos a la susceptibilidad). El hecho de que las poblaciones susceptibles y sintomáticas se renueven continuamente sin agotarse hace posible esta situación.

Dependiendo de la gravedad de la enfermedad, normalmente se distinguen dos tipos de epidemias. Una epidemia de alcance total es cuando la enfermedad afecta a toda la población susceptible, y una epidemia parcial es cuando solo una parte de la población susceptible se ve afectada. En cualquiera de estas situaciones, normalmente nos referimos a un brote o brote epidémico si la población en la que se transmite la enfermedad es pequeña, y normalmente nos referimos a una pandemia cuando la enfermedad afecta a varias regiones geográficas importantes, a varios continentes o al mundo entero. Confirmaremos que el modelo SIR se puede utilizar para reproducir epidemias y endémicas examinando los posibles estados estacionarios de los modelos SIR y SI, destacando que el modelo SI sólo es útil para simular epidemias a gran escala.

4.6 Epidemia de Alcance Total

Cuando la transmisión desaparece, o cuando los casos incidentes son el único flujo, el modelo SI alcanza su estado estable. Cuando se erradique por completo la población susceptible o se frene la tasa de contagio, este flujo será nulo. El modelo no tiene en cuenta la posibilidad de que la creciente población sintomática deje de interactuar con los

susceptibles, lo que anularía la tasa de contagio. Se debe añadir medidas de aislamiento preventivo para poder pensar en ello. Por lo tanto, la población susceptible debe haberse agotado para que el modelo SI alcance un estado estable y, si esto ha sucedido, toda la población ya ha sido infectada. Así, se demuestra que el modelo SI sólo es útil para simular una situación en la que una enfermedad que se propaga dentro de una población resulta en una epidemia a gran escala.

Los dos parámetros del modelo, contactos por unidad de tiempo y probabilidad de transmisión de enfermedades, intervienen ambos de la misma forma, multiplicándose en la expresión, por lo que basta analizar el efecto de uno de ellos para concluir que el otro tendrá un efecto similar. Sin embargo, dado que el modelo SI sólo es válido para recrear una epidemia a gran escala, ahora nos preguntamos: ¿qué papel juegan los dos parámetros del modelo? Se asumirá que el número de contactos cambia en esta sección como resultado de un cambio en el comportamiento social de las personas o de una decisión de las autoridades sanitarias. Cuantos más contactos, la enfermedad se propaga más rápidamente, lo que acorta el período de tiempo durante el cual la epidemia en su totalidad afecta a la población. Este hecho se puede ver mucho más claramente en la ola epidémica, que es estrecha y tiene un valor máximo más alto.

4.7 Epidemia de Alcance Parcial

Se estableció que el modelo SI sólo es confiable para simular epidemias a gran escala. Ahora se afirma que el modelo SIR con tasa de retorno a la susceptibilidad = 0 (es decir, sin retorno a la susceptibilidad) es válido para simular epidemias con alcance limitado. El estado estacionario del modelo SIR sin retorno a la susceptibilidad se alcanza cuando la transmisión desaparece, o más específicamente, cuando el flujo, en casos incidentes, toma el valor nulo, al igual que en el modelo SI. Pero si no hay casos incidentes, eventualmente tampoco habrá casos de cura, ya que la población sintomática eventualmente se agotará. Si no hay sintomáticos quiere decir que todos los que ya lo estuvieron se habrán recuperado y habrá población susceptible que no se haya visto afectada por la enfermedad.

Como ya hemos establecido que el modelo SIR sin retorno a la susceptibilidad es válido para simular una epidemia de alcance parcial, ahora nos preguntamos qué función desempeñan los tres parámetros del modelo: contactos por unidad de tiempo, probabilidad de transmisión de enfermedades y tasa de curación. Se puede demostrar que los tres influyen en la transmisión, haciéndola más o menos rápida, así como en la distribución final de la población entre el grupo susceptible y el grupo recuperado. Dado que la prueba analítica es difícil, la haremos cualitativamente. Las influencias examinadas también se pueden aplicar al modelo SIR con facilidad porque el modelo SIR sin retorno a la susceptibilidad toma el modelo SI como un caso especial donde la tasa de curación es igual a cero. Se ha descubierto que cuanto más rápido se propaga la enfermedad, menor es la tasa de curación. Esto se debe a que cuando las personas tardan más en recuperarse, siguen

siendo contagiosas durante más tiempo y transmiten la enfermedad a más personas. Como se ve en la ola epidémica, que se vuelve más estrecha y presenta un máximo de mayor valor, la epidemia se produce en un período de tiempo más corto.

4.8 Aplicación del Modelo SLIR Con Medidas de Frecuencias

Los escenarios de epidemia de rango completo, epidemia de rango parcial y endemia se pueden reproducir utilizando el modelo SLIR de cuatro estados, que es un poco más general que el modelo SIR. Los cinco parámetros del modelo tendrán un impacto en cada uno de estos escenarios de una manera muy similar a la observada en el modelo SIR. Además, se han recopilado las inversas de los parámetros alternativos de las tres tasas; estos representan los valores promedio de los períodos de transición entre los estados latente, sintomático y recuperado. Para una situación endémica se comprueba que existe una similar distribución en los llamados susceptibles y el resto de los estados: latentes, sintomáticos y recuperados; los anteriores para el modelo SIR, se habla de la variable R_0 (Número Reproductivo básico) dado por la expresión. En otro orden de ideas la distribución entre latentes, sintomáticos y recuperados está sujeto a los valores de: tasa de sintomáticos, tasa de curación y tasa de vuelta a la susceptibilidad.

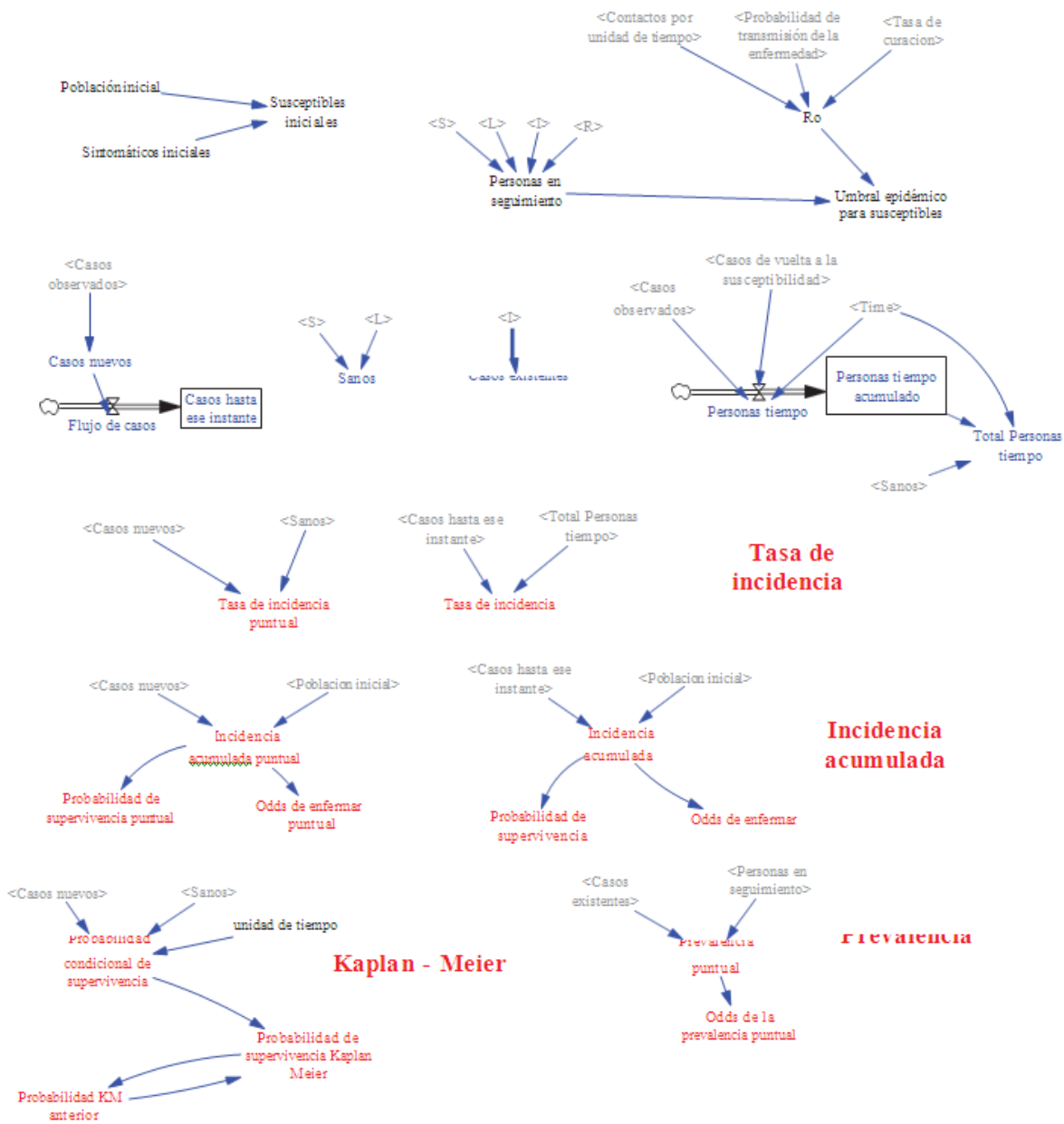
En la siguiente figura 4.6 se representa el modelo SLIR con las medidas de frecuencia, donde se han agregado otras variables en negro para permitir al usuario seleccionar la distribución inicial de la población entre susceptibles y sintomáticos además de las trece variables asociadas a las mediciones de frecuencia (resaltadas en rojo) y las ocho variables intermedias (resaltadas en azul). Al igual que el cálculo del número reproductivo básico (R_0) y el umbral epidémico para susceptibles referente al valor $S(t_e)$, en resumen, el número de personas susceptibles en la situación endémica. De la figura se concluye:

- Dado que no hay pruebas de que susceptible o latente estén enfermos, ambos se consideran sanos en este modelo.
- Para establecer el grupo de personas de seguimiento, se tomaran en consideración la muestra de personas vivas (S, L, I y R).
- En este modelo, sólo los casos sintomáticos se consideran casos existentes porque hay pruebas de que están enfermos.
- Al no existir casos censurados en la evolución natural de las ET, éstas no han sido incorporadas a la categoría de variables intermedias.
- Debido a la existencia de susceptibilidad, existen personas sanas que pueden provocar una variedad de enfermedades. Como resultado, nos vemos obligados a contabilizar este flujo deduciéndolo de los cálculos destinados a totalizar la cantidad

de tiempo (tiempo total de personas) dedicado a rastrear los eventos que conducen a la enfermedad.

- Debido a la falta de casos censurados, las medidas relacionadas con el método actuarial ya no se utilizan porque no añaden nada nuevo a las medidas de incidencia tradicionales.
- La tasa de ataque es una frase diferente para la incidencia acumulada de enfermedades transmisibles. Luego, la tasa de ataque se suma a la expansión de este modelo.

Figura 4.6. Modelo SLIR Con Medidas de Frecuencia



4.9 Modelos de Prevención de Enfermedades Transmisibles

4.9.1 Medidas de Prevención Primaria de Casos Incidentes

Las medidas de prevención primaria (MPP) sobre vacunaciones y casos incidentes han sido discutidas en las ET y tienen objetivos distintos. Los primeros buscan reducir el tamaño de la población susceptible dentro de un área donde ya hay o se prevén casos de enfermedades. Por el contrario, este último tiene como objetivo reducir el riesgo de que la población propague enfermedades infecciosas (Anderson y May, 1991). Al igual que con las enfermedades no transmisibles, los MPP que afectan los casos incidentes pueden verse influenciados a través de la variable tasa de contagio, que está influenciada por dos factores: contactos por unidad de tiempo, la probabilidad de transmisión de enfermedades y la prevalencia (el porcentaje de personas infecciosas en población), ambos bajo control directo de las autoridades sanitarias.

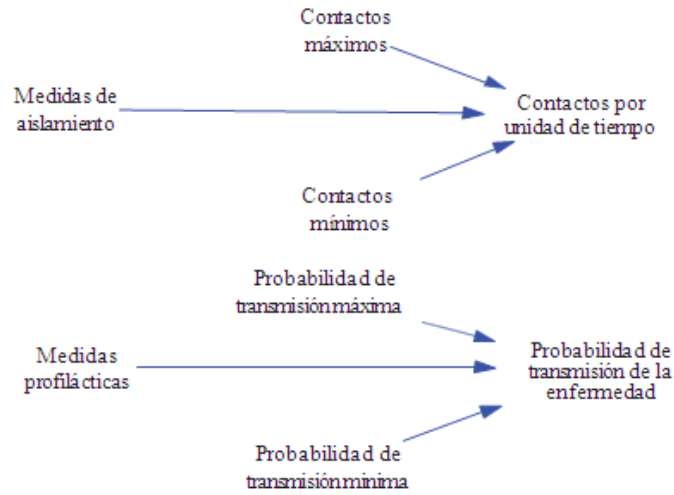
Los funcionarios de salud pueden reforzar la seguridad fronteriza en un esfuerzo por detener la inmigración de personas asintomáticas o sintomáticas para reducir la prevalencia. Sin embargo, para dirigir los efectos del MPP sobre los Casos incidentes, nos concentraremos en los otros dos caminos de esta sección, o los parámetros que convergen en la tasa de contagio. Una intensificación (aumento) del MPP correspondiente tendrá, en ambas situaciones, una influencia negativa (disminución de su valor) sobre la variable auxiliar correspondiente (antes parámetro), y en consecuencia, una influencia negativa sobre la tasa de contagio. Las medidas profilácticas, como usar mascarilla, usar condones, lavarse las manos; inciden directamente en la probabilidad de propagación de la enfermedad. A diferencia de los contactos por unidad de tiempo, se utilizan medidas de aislamiento, como el caso de aislamiento parcial de aquellos que han dado positivo en las pruebas de detección.

A continuación proporcionamos un conjunto potencial de ecuaciones para este apartado, junto con el modelo Vensim correspondiente. De esta manera, los dos factores que incidieron en la tasa de contagio se transforman en variables auxiliares, se incorporan como parámetros del subsistema el mínimo y máximo de contactos por unidad de tiempo y la probabilidad de propagación de la enfermedad, y las dos medidas preventivas funcionan como variables exógenas.

$$\text{Contactos por unidad de tiempo } (t) = \text{Contactos máximos} - \text{Medidas aislamiento}(t)(\text{Contactos máximos} - \text{Contactos mínimos})$$

$$\text{Probabilidad de transmisión de la enfermedad } (t) = \text{Probabilidad de transmisión máxima} - \text{Medidas profilácticas } (t)(\text{Probabilidad de transmisión máxima} - \text{Probabilidad de transmisión mínima})$$

Figura 4.7. Modelo Vensim Medidas de Prevención Primaria Caso Incidentes



El número reproductivo básico (R_0) puede alterarse y, en el mejor de los casos, reducirse significativamente por medidas de prevención primaria en casos incidentes, alterando potencialmente el curso de la transmisión de enfermedades. A modo de referencia se comentarán escenarios con medidas de prevención primaria ilustrados por el modelo SIR:

- Con 500 personas en el grupo susceptible, 70 en el grupo sintomático y 430 en el grupo recuperado, el escenario básico es una endemia en una población de 1.000 personas que se estabiliza en aproximadamente 300 días. Debido a que las medidas preventivas por defecto suponen que hay 5 contactos diarios y que la probabilidad de transmisión de la enfermedad es 0,05, y debido a que la tasa de curación es 0,125/día, resulta que el escenario fundamental está representado por $R_0 = 5 * 0,05 / 0,125 = 2$.
- Las medidas profilácticas se incrementaron en un escenario de MPP1 el día 30, lo que cambió el curso de los acontecimientos y redujo la probabilidad de transmisión de la enfermedad de 0,05 a 0,04 a partir de entonces. Está claro que a pesar de la intensificación, una situación endémica todavía es posible porque el número reproductivo básico ($R_0 = 1,6$) sigue siendo mayor que la unidad. El grupo susceptible, sin embargo, se estabiliza en un número mayor ($1000 / 1,6 = 625$ personas), mientras que los otros dos grupos (aproximadamente 52 personas sintomáticas y 323 personas recuperadas) se estabilizan en valores más bajos. Además, se observa una menor intensidad y un número significativamente menor de casos en los que la ola epidémica se estabiliza.

- El caso MPP2 incluye un cambio de escenario provocado por la misma intensificación de medidas profilácticas que en el caso anterior, junto con una intensificación de las medidas de aislamiento, lo que se traduce en una disminución del número de contactos diarios de 5 a 3 a partir del día 30. Dado que el número reproductivo básico es ahora ligeramente inferior a la unidad, específicamente $R_0=0,96$, se puede observar que esta intensificación evita que se desarrolle una situación endémica.

Debido a la intensificación, el crecimiento de la población sintomática se detuvo abruptamente y a partir de ese momento sólo se observó una disminución, que finalmente condujo a la completa erradicación de la enfermedad. Sin embargo, dado que todos los que se recuperan eventualmente vuelven a ser vulnerables, la población en su conjunto sirve como factor estabilizador. La ola epidémica, que cambia abruptamente de forma y comienza a disminuir desde el día en que se establecieron las nuevas medidas de prevención primaria, ilustra la importante desaceleración en la transmisión de enfermedades que ha provocado la intensificación de las medidas preventivas.

El momento en que se intensifican las medidas de prevención es tan crucial como su propia intensificación. Se considera que el objetivo de detener la transmisión de enfermedades se ha logrado a largo plazo. Sin embargo, lógicamente, existe una diferencia significativa entre los transitorios de todos los grupos. Esto es especialmente cierto porque se han intensificado las medidas preventivas. Por tanto, es evidente que es preferible que las medidas de las autoridades sanitarias se produzcan lo antes posible durante la fase de crecimiento de los casos incidentes.

4.9.2 Los Programas de Vacunación

Las campañas de vacunación de las autoridades sanitarias, que hemos considerado medidas de prevención primaria, están programadas, tienen un cierto nivel de cobertura poblacional y operan bajo el supuesto de que ninguna vacuna es 100 por ciento efectiva. Además, la vacuna sólo proporciona protección temporal (inmunidad) contra la enfermedad; no protege al receptor de la infección inmediatamente después de la vacunación. Se sugiere un posible conjunto de ecuaciones para este subsistema basándose en este conocimiento y bajo el supuesto de que las vacunas se distribuyen equitativamente a lo largo de la campaña:

$$\text{Total de vacunas} = \frac{\text{Cobertura vacunal}}{100 \text{ Población total inicial}}$$

$$\text{Vacunas diarias}(t) = \begin{cases} 0 & \text{si } t < \text{Inicio de la vacunación} \\ \frac{\text{Total de vacunas}}{\text{Fin de la vacunación} - \text{Inicio de la vacunación}} & \text{si } \text{Inicio de la vacunación} \leq t \leq \text{Fin de la vacunación} \\ 0 & \text{si } t > \text{Fin de la vacunación} \end{cases}$$

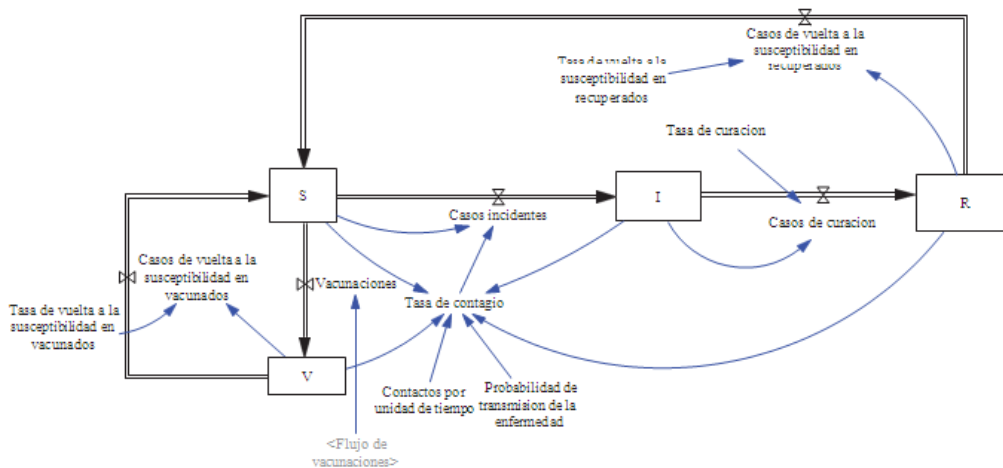
$$\text{Vacunaciones en susceptibles}(t) = \frac{\text{Vacunas diarias}(t) \cdot \text{Susceptibles}(t)}{\text{Poblacion sin vacunar}(t)}$$

$$\text{Vacunaciones efectivas}(t) = \text{Tasa de efectividad de la vacuna} \cdot \text{Vacunaciones en susceptibles}(t)$$

$$\text{Flujo de vacunaciones}(t) = \text{Vacunaciones efectivas}(t) - \text{Retraso en la adquisicion de inmunidad}$$

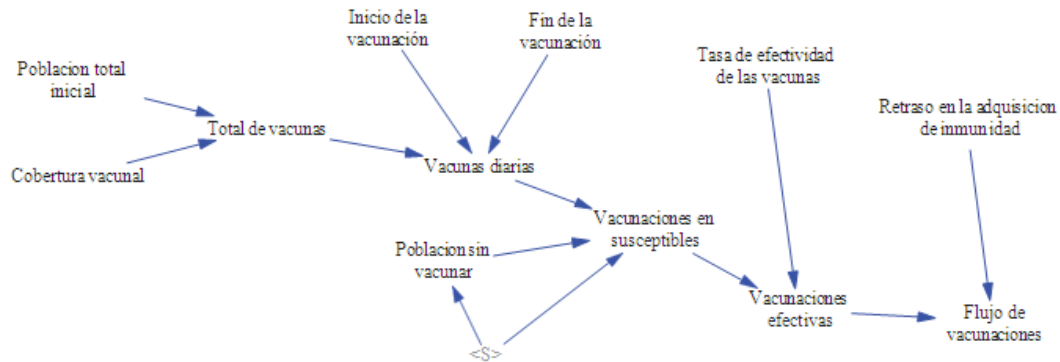
Los parámetros que inciden en el flujo de vacunaciones, según este conjunto de ecuaciones, son la Cobertura de Vacunación, expresada en porcentaje, el Inicio y Fin de la vacunación, expresados en unidades de tiempo, la Tasa de Efectividad de la Vacuna, con un valor cercano a la unidad, y el Retraso en la adquisición de la inmunidad, expresado en unidades de tiempo. La población total inicial, el valor instantáneo de la población susceptible y el valor instantáneo de la población no vacunada son variables del modelo que afectan al subsistema. El modelo que estemos utilizando (SI, SIR, SLIR), tendrá un impacto en esta variable final, donde se deberá tener en cuenta el estado de Vacunado (V). A modo ilustrativo, en la Figura 4.8 se muestra un modelo SIRV que incluye el subsistema Campaña de Vacunación, el cual genera el Flujo de Vacunación. Una adición útil a este estado es la ventana de edición de la variable Vacunas Diarias, donde se puede observar que para lograr la misma funcionalidad aparece multiplicada por la cantidad de vacunas que corresponden a cada día de la campaña de vacunación (las mismas para cada día).

Figura 4.8. Modelo SIRV



Se puede observar que bajo el supuesto de que existe un conocimiento completo de las personas que han sido vacunadas (V) y de las que no necesitan vacunarse porque ya están infectadas (I) o porque han adquirido inmunidad después de recuperarse de la enfermedad (R), se ha supuesto que la población no vacunada es igual a la población susceptible.

Figura 4.9. Modelo Vensim Programas de Vacunación



El escenario fundamental del modelo SIR y dos campañas de vacunación, tiene $R_0=2$ y puede reproducirse utilizando el modelo SIR o el modelo SIRV sin cobertura de vacuna. Las dos campañas de vacunación tienen la misma ventana de tiempo, con inicio el día 10 y fin el día 30, la misma tasa de efectividad, 0,95, pero diferente cobertura, 40 % y 60 %, respectivamente. Se asume que la vacuna eficaz siempre produce inmunidad permanente dos días después de la vacunación, lo que significa que no hay retorno a la susceptibilidad en las personas que han recibido la vacuna (lo que equivale a considerar una tasa de retorno a la susceptibilidad en personas que han recibido la vacuna igual a cero) y que el retraso en la adquisición de la inmunidad es igual a dos días.

Está claro que tener una tasa de cobertura vacunal del 40% no garantiza la ausencia de una situación endémica. Esto se debe a que, a pesar de la campaña de vacunación, que finalizó el día 40, no fue posible reducir la población susceptible por debajo de 500, cuyo umbral epidémico es de 1.000 para un $R_0=2$. A pesar de esto, la tasa de vacunación del 60 % ha logrado mantener a la población susceptible por debajo del umbral epidémico, deteniendo el aumento de la población sintomática y provocando que la enfermedad desaparezca de la población. Además, dado que todos los que se recuperan eventualmente vuelven al estado susceptible, esto se estabiliza en el valor combinado de la población no vacunada y la proporción de vacunados que no responden a esta medida.

Se puede demostrar que la situación endémica en el modelo SIRV causada por cualquier cobertura vacunal que no supere el umbral da lugar a la siguiente distribución de

la población inicial entre los cuatro grupos de población cuando la vacuna produce inmunidad permanente:

$$V(t) = \frac{\text{Tasa de efectividad de las vacunas} \cdot \text{Cobertura vacunal}}{100} \cdot \text{Poblacion inicial}$$

$$S(t) = \frac{\text{Poblacion inicial}}{R_0}$$

$$I(t) = \frac{\text{Tasa de vuelta a la susceptibilidad}}{\text{Tasa de curacion} + \text{Tasa de vuelta a la susceptibilidad}} \left(\frac{R_0 - 1}{R_0} \cdot \text{Poblacion inicial} \cdot e^{-\lambda t} \right)$$

$$R(t) = \frac{\text{Tasa de curacion}}{\text{Tasa de curacion} + \text{Tasa de vuelta a la susceptibilidad}} \left(\frac{R_0 - 1}{R_0} \cdot \text{Poblacion inicial} - V(t) \right) e^{-\lambda t}$$

Un patrón claro en la evolución de la población vacunada apoya la hipótesis de que las vacunas se distribuyen de manera uniforme a lo largo de la campaña, que no son 100% efectivas y que hay un ligero retraso en el desarrollo de la inmunidad. Esto muestra un crecimiento lineal constante desde el día de inicio de la campaña hasta el día final de la campaña, retrasado por los días necesarios para desarrollar inmunidad. Cualquier otro método de distribución de vacunas tendría un pequeño impacto en la evolución de la población vacunada y en la transición de los otros grupos, pero la situación general seguiría siendo la misma si se alcanza el nivel de cobertura planificado por las autoridades sanitarias.

No sólo son cruciales las estrategias de prevención, sino también el momento en que se implementan. Para evitar la fase de crecimiento de la ola epidémica hubiera bastado con realizar la campaña de vacunación con cobertura suficiente y antes de que se incorporara el infectado. Sin embargo, las campañas de vacunación también son eficaces cuando una enfermedad es endémica porque pueden cambiar la forma en que se propaga. Se habría administrado entre los días 240 y 270, cuando casi se había alcanzado la situación endémica, en el caso de una vacunación con una tasa de cobertura del 60%, se observa que la enfermedad ha sido eliminada.

4.9.3 Medidas de Prevención Secundaria

Las estrategias de prevención secundaria (exámenes de detección) para la ET pueden tener en cuenta los mismos factores que para las enfermedades no transmisibles (ENT). La principal distinción es que estas medidas deben tener tres grupos de población como población objetivo, en lugar de solo dos (susceptibles, latentes y asintomáticos) y que las pruebas positivas pueden ocurrir tanto en individuos latentes como en asintomáticos. A continuación proporcionamos un conjunto potencial de ecuaciones para este subsistema;

tenga en cuenta que asumimos que las pruebas son igualmente efectivas en estados latentes y asintomáticos; alternativamente, se pueden utilizar diferentes eficiencias.

$$Pruebas\ de\ cribado\ a\ realizar(t) = Medidas\ de\ prevención\ secundaria(t) (Susceptibles(t) + Latentes(t) + Asintomáticos(t))$$

$$Pruebas\ de\ cribado\ realizadas(t) = MIN (Pruebas\ de\ cribado\ a\ realizar(t), Cota\ máxima\ a\ las\ pruebas\ de\ cribado)$$

$$Pruebas\ de\ cribado\ en\ latentes(t) = Pruebas\ de\ cribado\ realizadas(t) \frac{Latentes(t)}{Susceptibles(t) + Latentes(t) + Asintomáticos(t)}$$

$$Pruebas\ de\ cribado\ en\ asintomáticos(t) = Pruebas\ de\ cribado\ realizadas(t) \frac{Asintomáticos(t)}{Susceptibles(t) + Latentes(t) + Asintomáticos(t)}$$

$$Positivos\ en\ pruebas\ de\ cribado\ en\ latentes(t) = Eficacia\ de\ las\ pruebas\ de\ cribado Pruebas\ de\ cribado\ en\ latentes(t)$$

$$Positivos\ en\ pruebas\ de\ cribado\ en\ asintomáticos(t) = Eficacia\ de\ las\ pruebas\ de\ cribado Pruebas\ de\ cribado\ en\ asintomáticos(t)$$

$$Diagnósticos\ erróneos\ en\ pruebas\ de\ cribado(t) = Pruebas\ de\ cribado\ realizadas(t) - \\ - Positivos\ en\ pruebas\ de\ cribado\ en\ latentes(t) - Positivos\ en\ pruebas\ de\ cribado\ en\ asintomáticos(t)$$

$$Casos\ observados\ por\ pruebas\ de\ cribado\ en\ latentes(t) = Positivos\ en\ pruebas\ de\ cribado\ en\ latentes(t)$$

$$Casos\ observados\ por\ pruebas\ de\ cribado\ en\ asintomáticos(t) = Positivos\ en\ pruebas\ de\ cribado\ en\ asintomáticos(t)$$

El modelo SLIR debe ampliarse para incluir el estado asintomático a fin de probar completamente las medidas de prevención secundaria. Esto sería útil para simular epidemias de SIDA (síndrome de inmunodeficiencia adquirida). El modelo predice una transmisión algo acelerada, lo que no parece muy lógico. Sin embargo, habría que hacerlo con cuidado porque la inclusión de pruebas de detección nos haría aumentar la población en el estado I a expensas de reducir la población en el estado L. Dado que la detección temprana de casos no resultó en un mayor número de recuperaciones en el modelo, también estaba claro que las medidas de prevención secundaria debían ir acompañadas de medidas terciarias.

En el caso de la ET, las medidas de prevención secundaria deben ir acompañadas no sólo de medidas de prevención terciaria sino también de medidas de prevención primaria. Por ejemplo, favorecer el aislamiento de las personas que han dado positivo en las pruebas de detección es una de esas medidas, ya que el aislamiento total sólo sería práctico o necesario en el caso de enfermedades muy graves como la provocada por el virus del Ébola. Como resultado, el virus del Ébola es un ejemplo perfecto de cuán fuertemente interactúan entre sí todas las medidas preventivas.

4.9.4 Medidas de Prevención Terciaria

Las estrategias de prevención terciaria (tratamientos) para la ET pueden tener en cuenta factores similares a los de las enfermedades no transmisibles. Con los matices que los tratamientos estarán destinados tanto a curar a pacientes sintomáticos y crónicos como a prevenir muertes en pacientes crónicos. Proporcionamos un conjunto de ecuaciones potenciales para esta medida que no requieren ninguna explicación adicional. Es crucial enfatizar el impacto de las medidas de prevención terciaria que se incorporan a las ecuaciones de manera similar a como se recogieron las medidas de prevención primaria sobre el número de contactos, a través de una relación lineal, tal que con valores de medición entre 0 y 1 podemos cubrir todo el rango (mínimo a máximo) de la variable.

$$\text{Tratamientos a realizar en sintomáticos}(t) = \text{Medidas de prevención terciaria}(t) \text{ sintomáticos}(t)$$

$$\text{Tratamientos a realizar en crónicos}(t) = \text{Medidas de prevención terciaria}(t) \text{ Crónicos}(t)$$

$$\text{Tratamientos realizados en sintomáticos}(t) = \text{MIN}(\text{Tratamientos a realizar en sintomáticos}(t), \text{Cota máxima a los tratamientos en sintomáticos})$$

$$\text{Tratamientos realizados en crónicos}(t) = \text{MIN}(\text{Tratamientos a realizar en crónicos}(t), \text{Cota máxima a los tratamientos en crónicos})$$

$$\text{Casos de curacion por tratamiento en sintomáticos}(t) = \text{Eficacia de los tratamientos en sintomáticos} \text{ Tratamientos realizados en sintomáticos}(t)$$

$$\text{Casos de curacion por tratamiento en cronicos}(t) = \text{Eficacia de los tratamientos en cronicos} \text{ Tratamientos realizados en cronicos}(t)$$

$$\text{Tratamientos fallidos}(t) = \text{Tratamientos realizados en sintomáticos}(t) + \text{Tratamientos realizados en cronicos}(t) - \text{Casos de curacion por tratamiento en sintomáticos}(t) - \text{Casos de curacion por tratamiento en cronicos}(t)$$

$$\text{Tasa de mortalidad en cronicos}(t) = \text{Tasa máxima} - \text{Medidas de prevención terciaria}(t)(\text{Tasa máxima} - \text{Tasa mínima})$$

Es recomendable agregar los estados Asintomático, Crónico y Muerto al modelo SLIR para probar el subsistema de Medidas de Prevención Terciaria en su totalidad y en combinación con las Medidas de Prevención Secundaria. Esto nos permitiría simular la propagación del virus del SIDA y el futuro actual y potencial del virus de la hepatitis C.

4.9.5 El Modelo SIR de Varias Poblaciones

Este modelo presenta un modelo SIR en cuatro poblaciones, para ilustrar cómo se propaga una enfermedad entre múltiples poblaciones. Esto nos permitirá comprobar el gran número de casos que se pueden abordar con un modelo de estas características y determinar

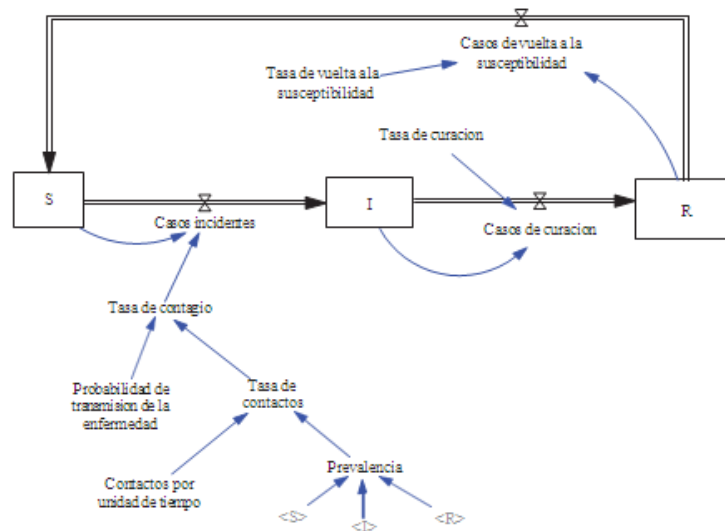
dónde está el reto de hacerlo extensible a más poblaciones. Se ofrece una reformulación del modelo SIR que toma en cuenta explícitamente la prevalencia de la enfermedad en la población y la tasa de contacto entre los susceptibles y los sintomáticos. El nuevo modelo está diseñado para que sea más sencillo de aplicar a diferentes poblaciones o grupos de población. Con esta reformulación del modelo SIR se presenta las tres ecuaciones siguientes:

$$\text{Tasa de contagio } (t) = \text{Contactos con sintomáticos } (t) \cdot \text{Probabilidad de transmisión de la enfermedad}$$

$$\text{Tasa de contactos } (t) = \text{Contactos por unidad de tiempo} \cdot \text{Prevalencia } (t)$$

$$\text{Prevalencia}(t) = \frac{I(t)}{S(t) + I(t) + R(t)}$$

Figura 4.10. Modelo SIR Reformulación



Imaginemos que ahora entra en escena una segunda población, con los correspondientes subgrupos S, I y R, y que no hay restricción en las interacciones entre los miembros de las dos poblaciones. Según la lógica, los casos incidentes en individuos susceptibles de la primera población que fueron provocados únicamente por contactos con individuos sintomáticos (infecciosos) de la misma población aumentarán junto con los casos provocados por contactos con individuos sintomáticos de la segunda población. Sin embargo, eso no es todo, ya que también necesitaremos tener en cuenta cualquier contacto potencial con miembros sintomáticos de otras poblaciones en cada nueva población que agreguemos.

Como resultado, es importante considerar los contactos con individuos de otras poblaciones en un modelo SIR de múltiples poblaciones además de los contactos dentro de

la misma población por unidad de tiempo. Estaríamos hablando de una matriz de contactos con 16 elementos en el caso de cuatro poblaciones. Está claro que no necesitamos información de todos los elementos de la matriz, sólo de los elementos diagonales (contactos entre miembros de un mismo grupo) y de los elementos superiores (contactos entre miembros de diferentes grupos), hasta un máximo de 10 elementos, como persona. El contacto entre personas es una relación recíproca, lo que significa que al mismo tiempo que Mario contacta a Pedro, Pedro contacta a Mario.

Con su definición actual, la matriz de contacto es lo suficientemente general como para permitir la consideración de varios patrones de contacto:

- Aleatorio y homogéneo, donde la probabilidad de contactos entre la población es uniformemente igual. En este caso, los componentes de la matriz de contactos serán todos iguales.
- Heterogéneos pero no distribuidos aleatoriamente, donde los contactos entre poblaciones ocurren con probabilidades variables y no son aleatorios. Esto se debe a diferencias sociales, geográficas o de comportamiento que hacen que algunas poblaciones tengan, en promedio, una mayor tasa de contacto con otras. Los elementos de la matriz de contactos con varios valores se utilizarán para recopilar la heterogeneidad.

Sugerimos las siguientes ecuaciones para representar la tasa de contacto (TC) de la población susceptible i extendiendo la notación de subíndice a los subgrupos (S, I y R), así como las prevalencias (P), de cada una de las cuatro poblaciones:

$$TC_i(t) = C_{i1} P_1(t) + C_{i2} P_2(t) + C_{i3} P_3(t) + C_{i4} P_4(t) = \sum_{j=1}^4 C_{ij} P_j(t)$$

$$P_i(t) = \frac{I_i(t)}{S_i(t) + I_i(t) + R_i(t)}$$

$$\frac{d S_i(t)}{dt} = \text{Casos de vuelta a la susceptibilidad}_i(t) - \text{Casos incidentes}_i(t)$$

$$\frac{d I_i(t)}{dt} = \text{Casos incidentes}_i(t) - \text{Casos de curación}_i(t)$$

$$\frac{d R_i(t)}{dt} = \text{Casos de curación}_i(t) - \text{Casos de vuelta a la susceptibilidad}_i(t)$$

$$\text{Casos incidentes}_i(t) = \text{Tasa de contagio}_i(t) S_i(t)$$

$$\text{Casos de curación}_i(t) = \text{Tasa de curación}_i I_i(t)$$

$$\text{Casos de vuelta a la susceptibilidad}_i(t) = \text{Tasa de vuelta a la susceptibilidad}_i R_i(t)$$

$$\text{Tasa de contagio}_i(t) = TC_i(t) \text{ Probabilidad de transmisión de la enfermedad}_i$$

Con el fin de darle más generalidad al modelo, también hemos supuesto que los tres parámetros relacionados con la enfermedad (tasa de curación, tasa de retorno a la susceptibilidad y probabilidad de transmisión de la enfermedad) pueden variar según la población. Los 12 parámetros de la enfermedad y los 10 elementos de la matriz de contactos tendrían entonces un impacto en el modelo para cuatro poblaciones. Al echar un vistazo rápido a la vista SIR1, podemos confirmar que las cuatro tasas de contacto se han calculado explícitamente como resultados de las prevalencias y los elementos correspondientes de la matriz de contactos. Mientras que un vistazo rápido a la vista SIR2 nos permite confirmar que en esta ocasión se han tenido en cuenta los mismos tres parámetros relacionados con la enfermedad en las cuatro poblaciones.

Cabe señalar que el diseño del modelo para cuatro poblaciones supone que los individuos permanecen dentro de la misma población durante toda la simulación. Esta teoría se basa en la idea de que hay muy pocos o ningún flujo migratorio entre poblaciones. Sin embargo, el modelo también sería útil para simular la propagación de una enfermedad que evoluciona rápidamente en una población dividida en los cuatro grupos de edad típicos porque la propagación se produciría en días, en lugar de semanas o meses, lo que no daría tiempo a los individuos para moverse entre ellos.

Figura 4.11. Modelo SIR de Cuatro Grupos (SIR1)

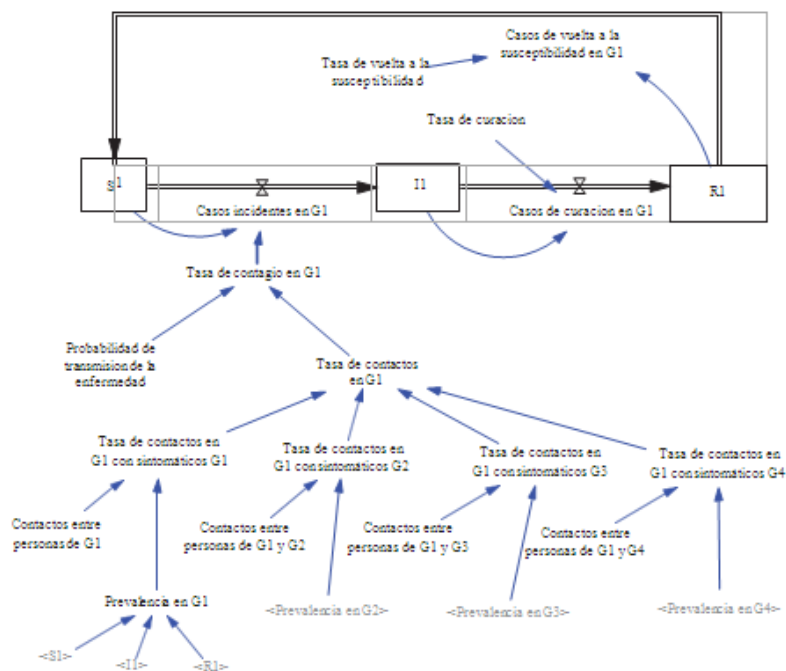
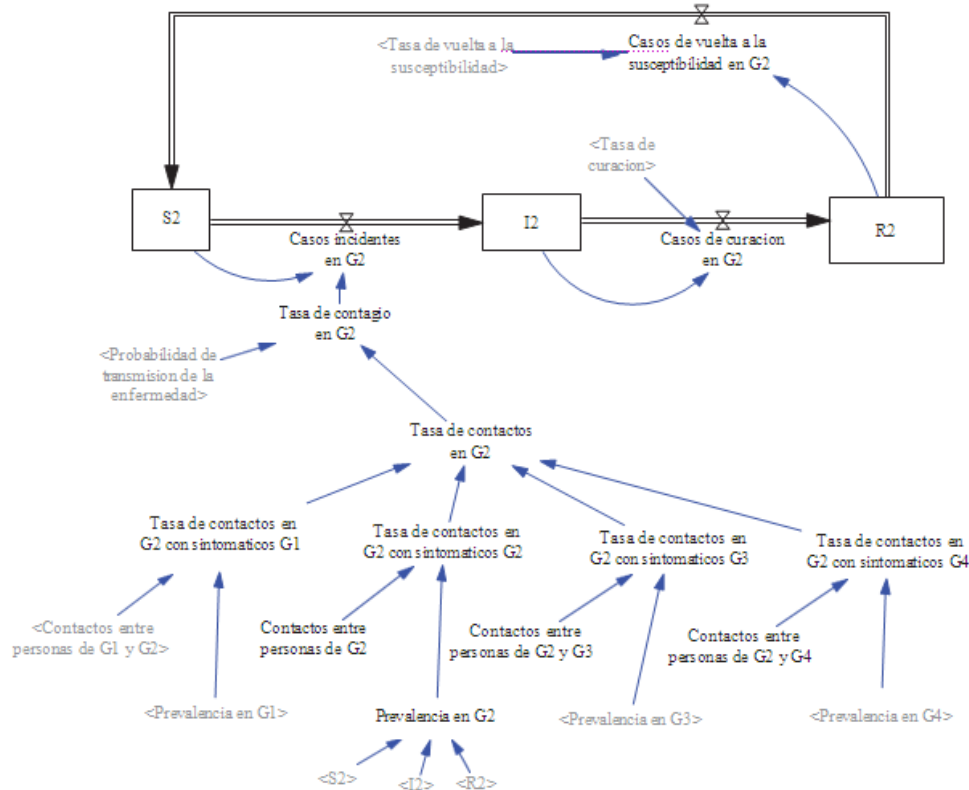


Figura 4.12. Modelo SIR de Cuatro Grupos (SIR2)

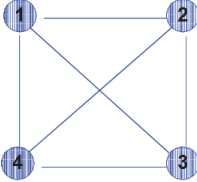
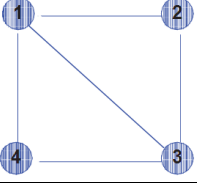
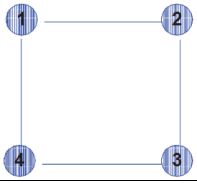
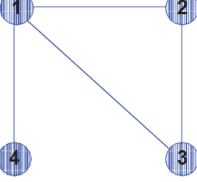
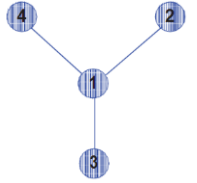



4.9.6 Los Medios de contactos

La teoría de grafos se puede utilizar para representar visualmente los contactos entre poblaciones o grupos de población que hemos reunido en la sección anterior utilizando los elementos en la parte superior de la matriz de contactos. Los seis casos potenciales para las cuatro poblaciones se muestran en el Cuadro 4.1. Tenga en cuenta que cada población está representada en el gráfico por su ordinal, que va del 1 al 4, contándolos en el sentido de las agujas del reloj, y que cada conexión está representada por una línea bidireccional.

Dado que muestra las seis conexiones potenciales entre todas las poblaciones, el primer gráfico se denomina completo o totalmente conectado. Sería apropiado reunir contactos de los cuatro grupos de edad estándar (0 a 14, 15 a 44, 45 a 64 y 65 años y mayores) enumerados en orden cronológico descendente. También se deben tener en cuenta los posibles contactos que realicen los pasajeros de una aerolínea cuya ruta sea Ciudad1 - Ciudad2 - Ciudad3 - Ciudad4. Podríamos utilizar el mismo orden para el recorrido, yendo del 1 al 4, sirviendo cada ciudad como representación de un grupo de población concreto.

Cuadro 4.1. Grafos de Conexiones de Cuatro Poblaciones

Tipo de Conexión	Numero de Conexiones	Grafo
Completo o totalmente conectado	6	
Cordal	5	
Anillo	4	
Árbol	4	
Estrella	3	
Lineal	3	

Una situación en la que se mantienen cinco de las seis conexiones se puede representar mediante el segundo grafo, que es de tipo cordal. Las poblaciones 1 y 3 son las únicas que continúan en contacto con las otras tres poblaciones debido a la pérdida del vínculo entre las poblaciones 2 y 4, mientras que las poblaciones 2 y 4 continúan en contacto con dos poblaciones adicionales. Cuando se conservan cuatro de las seis conexiones potenciales, los gráficos tercero y cuarto muestran las dos configuraciones posibles. Cualquier población está conectada a otras dos en la primera configuración, que

se caracteriza por su conexión tipo anillo. La segunda configuración, conocida como conexión de tipo árbol, se distingue por el hecho de que una población está conectada solo con una de las otras poblaciones, y las demás forman un subanillo. No hay interacciones entre miembros de las poblaciones 2 y 4 u otras poblaciones.

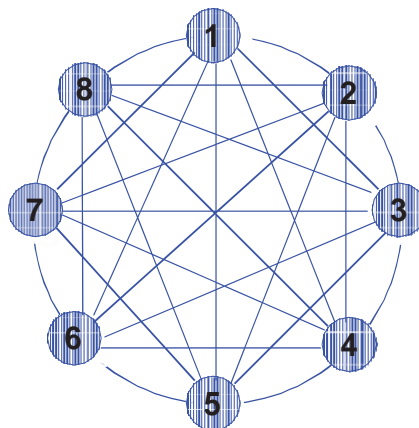
Cuando se conservan tres de las seis conexiones potenciales, los gráficos quinto y sexto muestran las dos configuraciones posibles. La primera configuración, a la que llamamos conexión en estrella, se caracteriza por el hecho de que sólo los individuos de la población a la que asignamos el número 1 permanecen en contacto con las otras tres poblaciones. Esta vez, la ciudad está en el medio del grafo y las otras tres ciudades están ordenadas con números consecutivos en el sentido de las agujas del reloj. Los miembros de cada población en la segunda configuración, conocida como conexión lineal, continúan comunicándose solo con una de las otras poblaciones. En esta ocasión, la población 1 se coloca muy a la izquierda, seguida por las poblaciones restantes, numeradas consecutivamente a la derecha.

La conexión en estrella podría usarse para mostrar las interacciones entre un grupo selecto de personas (personal del hospital) y otros grupos de personas (pacientes en los distintos pisos del hospital). También sería útil reflejar las conexiones entre una provincia o un centro de población. Era fundamental que sirviera de centro de atracción para los demás núcleos circundantes (tres en este caso). En el Cuadro 4.1 no tiene sentido tener en cuenta más casos porque, si se eliminan 4 conexiones, al menos una población quedaría completamente aislada y nos quedaríamos con un caso de tres poblaciones. Sin embargo, a medida que se tienen en cuenta más poblaciones, la proporción de contactos (o conexiones gráficas) entre individuos de varias poblaciones aumenta de la siguiente manera:

$$\frac{n(n-1)}{2} = \frac{n(n-1)}{2}$$

El grafo completamente conectado para el caso de ocho poblaciones se muestra en la siguiente figura, donde se muestra un total contable de 28 conexiones.

Figura 4.13. Grafo de Ocho Poblaciones



4.9.7 Modelo de Vectores de Enfermedades Transmisibles

El contagio, que puede propagarse entre personas directamente (mediante contacto directo) o indirectamente (mediante un vector), fue la característica más distintiva de las enfermedades transmisibles. Pero la teoría de la transmisión directa ha sido la base de todos los modelos ET presentados hasta ahora. En esta sección se tratarán las características generales de la población de vectores, junto con un modelo específico de transmisión indirecta. A pesar de no estar diseñado para cubrir la amplia variedad que se esconde detrás de la transmisión indirecta de enfermedades, el modelo se presentará con suficiente generalidad.

Un virus (dengue, fiebre amarilla, fiebre hemorrágica de Crimea-Congo, enfermedad de chikungunya y enfermedad de zika) o un protozoo (paludismo, enfermedad de Chagas, tripanosomiasis, filariasis linfática) pueden ser el microorganismo que causa la enfermedad; también un nematodo que causa la filariasis, un platelminto que causa la esquistomosis y una bacteria que causa la peste bubónica y se transmite por pulgas. En el modelo de transmisión indirecta hay que tener en cuenta la evolución de dos poblaciones: la población vectorial, que es el organismo que transmitirá la enfermedad, y la población humana, que presentará los síntomas de la enfermedad. En la evolución de la población humana se pueden distinguir tantos estados y transiciones como requiera la historia natural de la enfermedad.

En la población de vectores, por analogía con la población humana, se pueden tomar en consideración varios estados, pero para mantener el modelo simple nos limitaremos al caso más simple, una población con dos estados; el primer estado es cuando el vector aún no es portador del microorganismo que causa la enfermedad, y el segundo estado es cuando el vector ya es portador. Nos centraremos en dos grupos de población porque sus nombres son similares a los utilizados para la población humana:

- Vectores susceptibles (VS), estos vectores (seres vivos) no albergan en sí mismos el microorganismo que causa la enfermedad en los humanos, pero debido a su contacto con los humanos, corren el riesgo de contraer la enfermedad y transmitirla a otros.
- Vectores infecciosos (VI), los vectores son una clase de seres vivos que transportan el microorganismo que causa enfermedades en los humanos y pueden transmitirlo a personas susceptibles mediante contacto.

Este es el caso de la malaria, que es una infección (o enfermedad para nosotros) provocada por parásitos protozoarios del género *Plasmodium* y que se transmite de persona a persona a través de la picadura de mosquitos hembra del género *Anopheles*. Los gametocitos de personas infectadas circulan por la zona periférica y los mosquitos infectados tienen esporozoitos en sus glándulas salivales.

Para que se transmita la malaria, deben estar presentes una persona susceptible o una persona infectada y un mosquito susceptible. El primer método de transmisión implica la picadura de mosquitos infectados, que infectan a personas susceptibles. Además, el segundo método de transmisión implica que mosquitos susceptibles se infecten al picar a personas enfermas. En todo momento durante la transmisión coexistirán individuos susceptibles, individuos infectados y mosquitos susceptibles. Y cuando ambas vías de transmisión se agoten, es decir, cuando no haya más mosquitos infectados ni seres humanos a quienes infectar, la transmisión cesará.

Se cree ampliamente que los vectores infectados no se recuperan sino que continúan propagando la infección hasta que mueren. Por tanto, el único paso de VS a VI que debe tenerse en cuenta es el provocado por la infección con personas infecciosas, que se conectará con el correspondiente flujo de casos incidentes en vectores. Dado que los mosquitos tienen ciclos de vida increíblemente cortos, esta teoría es particularmente relevante para la malaria. Dependiendo del entorno, las fases adultas suelen durar entre dos y cuatro semanas.

Otra característica distintiva de la población de vectores es que normalmente experimenta un crecimiento o disminución vegetativo mucho más rápido que la población humana, lo que da como resultado que la población de vectores esté en mayor o menor proporción con respecto a la población humana, que normalmente no cambia. En este sentido, es típico asumir que todas las incorporaciones (por nacimientos) se producen en el grupo VS y que las muertes ocurrirán por causas naturales o como consecuencia de las acciones planificadas por las autoridades sanitarias, afectando a los dos grupos de vectores por igual. Por tanto, sería necesario tener en cuenta el flujo de nacimientos en VS, el flujo de defunciones en VS y el flujo de defunciones en VI.

Debido a que fueron menos significativos cuando la transmisión de enfermedades se produjo a través del contacto humano, los factores climatológicos pueden afectar la forma en que se propagan las enfermedades. Sin embargo, cuando los vectores están involucrados en la transmisión, estos factores se vuelven aún más importantes porque algunos vectores sólo pueden sobrevivir en condiciones climáticas específicas, como las condiciones tropicales de humedad y temperatura, o en las estaciones con las condiciones climáticas (primavera o verano).

4.9.8 Modelo SIR Interacción Con Modelo SI de Vectores

Basado en la investigación de Ross y Macdonald sobre la malaria (Anderson y May, 1991), se desarrolló el modelo dinámico más fundamental para representar la transmisión de ET a través de vectores. En este modelo, se tienen en cuenta dos estados (susceptible e infeccioso) para cada una de las poblaciones: la humana y el vector (mosquitos hembra), que se supone que ambos permanecen constantes durante la transmisión. Dado que hemos

tenido en cuenta la posibilidad de que la población de vectores muestre un crecimiento vegetativo o una disminución, la población humana se divide en tres grupos de población general. Las 23 variables que componen el modelo ET con vectores se distribuyen de la siguiente manera:

- Variables de estado, Las poblaciones humanas se clasifican en (susceptibles, sintomáticas y recuperadas), mientras que la población de vectores se clasifica en (vectores susceptibles y vectores infecciosos).
- Los Flujos, para la población humana existen (casos incidentes en personas, casos de curación, casos de retorno a la susceptibilidad), y para la población de vectores, existen (nacimientos, casos incidentes en vectores, Muertes VS, Muertes VI).
- Variables auxiliares, la población humana, la tasa de contacto con vectores infecciosos, la tasa de infección en personas, la tasa de contacto con personas asintomáticas y la tasa de infección en vectores son factores que se tienen en cuenta al calcular los dos flujos más cruciales del modelo. La primera variable auxiliar es útil para conocer la población humana al instante, pero no es estrictamente necesaria ya que la población humana permanecerá en un valor constante durante toda la simulación. Sin embargo, nos permitirán tener medidas potenciales de transmisión en la población humana y en la población de vectores.
- Los parámetros, tasa de recuperación de susceptibilidad, contactos por unidad de tiempo, tasa de mortalidad, probabilidad de transmisión de enfermedades, probabilidad de contagio por vectores. Todos estos parámetros serán útiles para influir en la velocidad y el tipo de transmisión. Sin dejar de lado las distinciones entre contacto de persona a persona y contacto de vector a persona, que son responsables de la transmisión indirecta. Por tanto, cuando hablamos de contactos por unidad de tiempo, hablamos de la media de encuentros diarios que tendrán los vectores con humanos, o la media de picaduras. La probabilidad de contagio en vectores se refiere a la probabilidad de que algunas picaduras entre individuos infecciosos y vectores susceptibles provoquen infección en los vectores. Además, tenemos en cuenta la probabilidad de que algunos contactos (picaduras) entre individuos susceptibles y vectores infecciosos den lugar a una infección humana.

La estructura del modelo SIR se reutilizó para describir la dinámica de la población humana, y la estructura del modelo SI se reutilizó para describir la dinámica de la población de vectores. El nuevo modelo matemático contiene ecuaciones que son esencialmente una imagen especular de las utilizadas en esas secciones. A estas ecuaciones se añaden otras adicionales que no suponen un desafío para describir la expansión vegetativa de la población de vectores. Las ecuaciones son las siguientes:

$$\frac{dS(t)}{dt} = \text{Casos de vuelta a la susceptibilidad}(t) - \text{Casos incidentes en personas}(t)$$

$$\frac{dI(t)}{dt} = \text{Casos incidentes en personas}(t) - \text{Casos de curacion}(t)$$

$$\frac{dR(t)}{dt} = \text{Casos de curacion}(t) - \text{Casos de vuelta a la susceptibilidad}(t)$$

$$\text{Casos incidentes en personas}(t) = \text{Tasa de contagio en personas}(t) S(t)$$

$$\text{Casos de curacion}(t) = \text{Tasa de curacion } I(t)$$

$$\text{Casos de vuelta a la susceptibilidad}(t) = \text{Tasa de vuelta a la susceptibilidad } R(t)$$

$$\text{Tasa de contagio en personas}(t) = \text{Probabilidad de transmision de la enfermedad} \\ \text{Tasa de contacto con vectores infecciosos}(t)$$

$$\text{Tasa de contacto con vectores infecciosos}(t) = \frac{\text{Contactos por unidad de tiempo } VI(t)}{\text{Poblacion humana}(t)}$$

$$\text{Poblacion humana}(t) = S(t) + I(t) + R(t)$$

$$\frac{dVS(t)}{dt} = \text{Nacimientos}(t) - \text{Casos incidentes en vectores}(t) - \text{Muertes de } VS(t)$$

$$\frac{dVI(t)}{dt} = \text{Casos incidentes en vectores}(t) - \text{Muertes de } VI(t)$$

$$\text{Muertes de } VS(t) = \text{Tasa de mortalidad } VS(t)$$

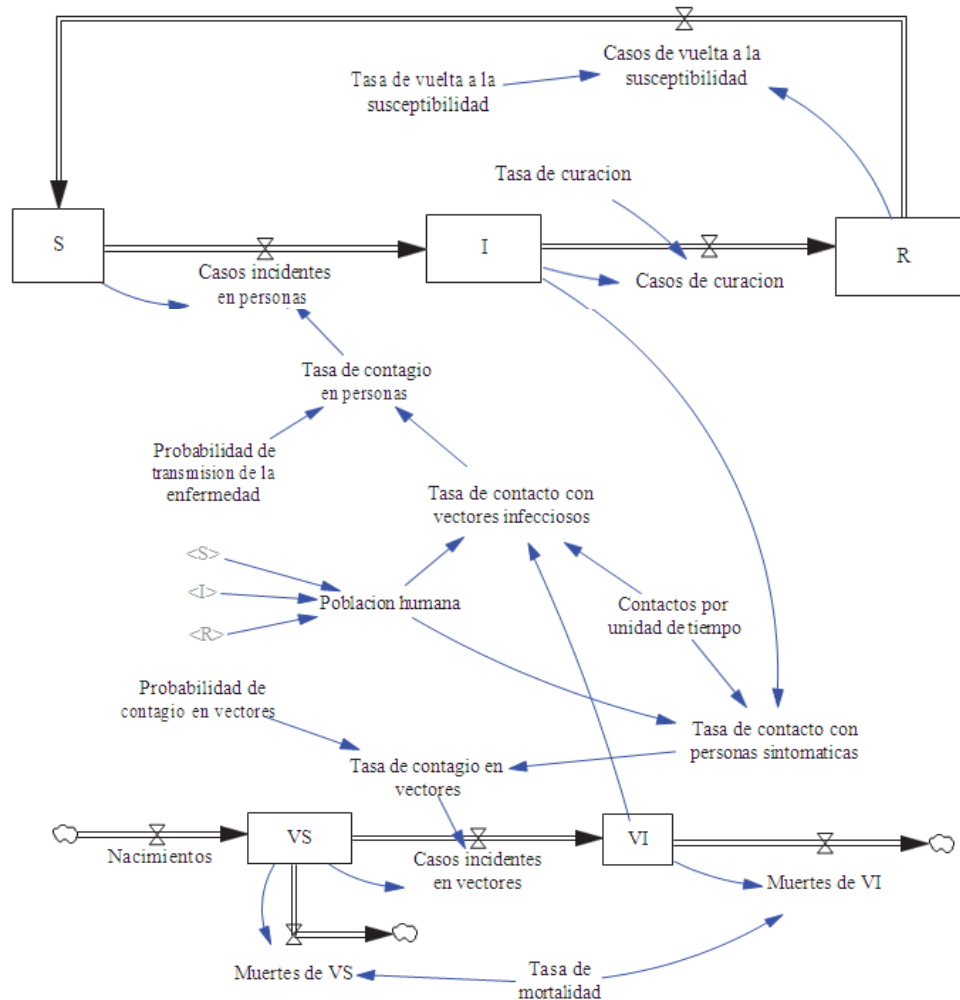
$$\text{Muertes de } VI(t) = \text{Tasa de mortalidad } VI(t)$$

$$\text{Casos incidentes en vectores}(t) = \text{Tasa de contagio en vectores}(t) VS(t)$$

$$\text{Tasa de contagio en vectores}(t) = \text{Probabilidad de contagio en vectores} \\ \text{Tasa de contacto con personas sintomaticas}(t)$$

$$\text{Tasa de contacto con personas sintomaticas}(t) = \frac{\text{Contactos por unidad de tiempo } I(t)}{\text{Poblacion humana}(t)}$$

Figura 4.14. Modelo SIR / SI Con Vectores



La figura anterior muestra todas las relaciones entre la población humana y la población de vectores, así como cualquier relación exclusiva de los diversos grupos de población susceptibles. Estas conexiones permiten la posibilidad de transmisión indirecta de enfermedades (a través de vectores). Se ve que están presentes siete bucles. Cuatro con retroalimentación negativa, que tendría efectos estabilizadores, y tres con retroalimentación positiva, que tendría efectos desestabilizadores. Los bucles 1 y 2 impactan a los susceptibles, el bucle 3 impacta a los sintomáticos y el bucle 4 impacta a los vectores susceptibles, a lo largo de los respectivos Casos Incidentes, en personas y en vectores, sin tomar en cuenta la interrelación. Mientras que los bucles 6 y 7 sólo afectan a los sintomáticos, el bucle 5 sólo afecta a los susceptibles. Esto se debe a la estrecha asociación entre los vectores infecciosos y la población humana en estos tres casos.

Con la ayuda de este análisis podemos ofrecer una explicación cualitativa de los fenómenos relacionados con la transmisión de enfermedades a través de vectores. Por

ejemplo el bucle 5 explica cualitativamente que si aumentan los susceptibles, aumenta la población humana, disminuye la tasa de contacto con personas sintomáticas, disminuye la tasa de contagio en vectores, disminuyen los casos incidentes en vectores, disminuyen los vectores infecciosos, disminuye la tasa de contacto con vectores infecciosos, disminuye la tasa de contagio en personas, disminuyen los casos incidentes en personas, y por tanto se produce un aumento de los susceptibles.

En resumen, los modelos discutidos son ejemplos ilustrativos que pueden usarse en un sistema de vigilancia basado. Sin embargo, lógicamente hablando, no son los únicos planes de acción que podrían tomarse, y existen numerosos factores adicionales, no mencionados, que tienen un impacto significativo en el resultado de la acción. La regularidad en la toma de decisiones es un primer factor crucial. Mientras que la simulación debe utilizar un intervalo de simulación adecuado a los parámetros del modelo y al fenómeno (enfermedad) que se simula. Al utilizar una periodicidad múltiplo del intervalo de simulación, el subsistema de mediciones de frecuencia puede registrar y procesar los datos producidos por el modelo de enfermedad a una frecuencia más baja.

La toma de decisiones y la adopción de medidas pueden ocurrir con una frecuencia igual o menor que la del registro de datos. En este caso, a diferencia de los dos ejemplos anteriores, que eran acciones continuas, estaríamos hablando de una acción discreta. Probar actuaciones discretas no es el mejor uso del entorno Vensim porque requiere una programación mucho más compleja.

El tiempo que puede transcurrir entre tomar una decisión y actuar es otro factor a considerar. No hay ningún problema si el retraso es insignificante en comparación con la frecuencia de registro de la información. El resultado de la simulación no será muy diferente de la realidad si no se tiene en cuenta este retraso. Sin embargo, si hay un retraso significativo, tomar medidas inoportunas (retrasadas) puede tener efectos muy diferentes a los previstos. En esas situaciones, es preferible añadir un retraso a la acción, y Vensim ofrece una serie de facilidades para ello.

Es importante considerar el tipo de objetivo; debe ser específico, tener un valor fijo o cambiar con el tiempo y basarse en una única variable. Sin embargo, hay otro tipo de metas que se pueden considerar, como aquellas que combinan diversas variables o metas que resultan en un tipo específico de planificación temporal, como en el caso de las vacunas, esto se hace sencillo gracias a la potencia informática de Vensim. Aunque puedan parecer insuficientes, las acciones de control fundamentales P (proporcional) e I (integral), cuando se combinan adecuadamente, pueden conducir a esquemas de control muy efectivos. Incluso el simple emparejamiento de controladores con uno o más objetivos de control es una opción muy viable y sencilla de implementar en Vensim. Un puede implementar medidas de prevención primaria basadas en uno de los objetivos, medidas de

prevención secundaria basadas en un objetivo diferente al primero y medidas de prevención terciaria basadas también en un tercer objetivo.

Por último, cabe destacar que el Sistema de Vigilancia tomaría automáticamente determinadas decisiones para alcanzar el objetivo que se le ha fijado si de esta forma se integrase en él un esquema de actuación. Por lo tanto, es fundamental que el modelo represente con precisión lo que se está monitoreando. Pero también es crucial que el objetivo sea realista y esté bien elegido. Si no es así, el plan de acción puede intentar acercarse más al objetivo, pero no hay garantías de que así sea. Otra función sería la capacidad del Sistema de Vigilancia para confirmar si se han alcanzado los objetivos o si la tendencia es la prevista. De no ser así, sería necesario implementar un proceso de toma de decisiones diferente que cambiaría los objetivos.

Conclusiones

La actual crisis sistémica global muestra que las sociedades globalizadas no están preparadas para afrontar una pandemia. Además de la enorme pérdida de vidas, la pandemia de Covid-19 también ha causado perturbaciones generalizadas en los sistemas sanitarios, sociales, económicos, ambientales y de gobernanza en muchos países del mundo. La resiliencia describe la capacidad de los sistemas naturales y humanos para prevenir, responder y recuperarse de las crisis.

La resiliencia social a la actual pandemia de COVID-19 se refiere a la capacidad de la sociedad para mantener funciones esenciales y mitigar el impacto de la pandemia y otras consecuencias sociales. Aprovechando la evidencia emergente de recuperación en los sistemas de salud, social, económico, ambiental y administrativo, este trabajo muestra un enfoque para reflexionar sobre los modelos de prevención de enfermedades. La infecciosidad, la comprensión de este tema proporcionan la base para la integración para desarrollar la recuperación social en las situaciones actuales y Pandemia futura. Debido al gran impacto y a la naturaleza diversa y multidireccional de la crisis de salud mundial relacionada con la pandemia CIVI-19, su resolución requiere fortalecer a todas las partes involucradas; El sector de la salud es un campo sobresaliente con la mayor fuerza, sin embargo, también somos conscientes de la importante importancia de proporcionar acceso a servicios básicos como alimentos, educación, agua potable e instalaciones de saneamiento, así como en la igualdad de género, la batalla de la batalla.

Contra la violencia de género, el crecimiento económico y el apoyo a las mujeres. Instituciones cuya fragilidad ante las crisis puede amenazar la estabilidad política de los países. Al considerar el debate sobre la salud mundial desde la perspectiva de la gobernanza sanitaria institucionalizada en todos los niveles, las coaliciones de múltiples partes interesadas y los enfoques intersectoriales brindan lecciones sobre cómo responder a esta crisis, teniendo en cuenta su impacto y alcance a escala global. Como se establece en la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible, la multidimensionalidad requiere una reorientación de todos los esfuerzos de colaboración para garantizar que respondamos a los desafíos globales, sin dejar a nadie atrás. Sin suficientes recursos físicos y humanos para identificar, diagnosticar e informar a la población, la pandemia ha expuesto la fragilidad de muchos sistemas de salud fragmentados en América Latina y el Caribe.

Además de los problemas sociales y estructurales, la escasez de especialistas o los problemas que enfrentan los grupos más vulnerables para acceder a los servicios de salud, también hay escasez de insumos médicos y de capacidad de detección de casos. La pandemia no se puede detener en todo el mundo mientras haya un país en el mundo que no pueda combatirla y derrotarla de manera efectiva. Por lo tanto, más que nunca, es necesario

fortalecer la cooperación internacional para responder, especialmente teniendo en cuenta que la cooperación y la visión regionales serán muy importantes para encontrar soluciones a este desafío. Los avances científicos, la tecnología y la innovación crean oportunidades en este campo. Sabemos que nos enfrentamos a un escenario nuevo e inesperado y aprender de diferentes países, regiones y comunidades es esencial para comprender cómo los sistemas de salud pueden adaptarse eficazmente a los próximos desafíos que enfrentamos. Creemos que la atención debe centrarse en las lecciones acumulativas del día a día, en consonancia con la idea del aprendizaje colectivo y el objetivo común de encontrar las mejores respuestas a futuras pandemias y sus diversos impactos.

Referencias bibliográficas

- Anderson, R.M. y May, R.M. (1991) Infectious diseases of humans. Dynamics and control. Oxford University Press. New York.
- Aracil, J. (1986). Introducción a la dinámica de sistemas. Alianza Editorial, S. A.
- Aracil, J. y Gordillo, F. (1997). Dinámica de Sistemas. Alianza Editorial, S. A.
- Albertos, P. y Mareels, I. (2010). Feedback and Control for Everyone. Springer.
- Basañez, M.G. y Rodríguez, D.J. (2004). Dinámica de transmisión y modelos matemáticos en enfermedades transmitidas por vectores. Entomotropica.
- Coyle, R. G. (1996). System Dynamics Modelling. A practical approach. Chapman & Hall.
- Elant-Johnson, R. C. (1975). Definitions of rates: some remarks on their use and misuse, Am. J. Epidemiol.
- Freeman, J. y Hutchison, G. B. (1980). Prevalence, incidence and duration. Am. J. Epidemiol.
- Forrester, J. W. (1972). Dinámica Industrial. Editorial El Ateneo, Buenos Aires.
- Giesecke, J. (2002). Modern Infectious Disease Epidemiology. Arnold.
- Gregg, M. B. (2002). Field Epidemiology. Oxford University Press.
- Halloran, M.E (1998). Concept of Infectious Disease Epidemiology. Philadelphia: Lippincott-Raven.
- Kleinbaum, D. G. y Kupper L. L. (1982). Epidemiologic research. Principles and quantitative methods. New York. Van Nostrand Reinhold company.
- Leavell, H.R. y Clark, E.G. (1965). Preventive medicine for the Doctor in His Community: An Epidemiologic Approach. Blakiston Division, McGraw-Hill.
- Lilienfeld, A. M. y Lilienfeld, E. (1987). Fundamentos de Epidemiología. Addison- Wesley Iberoamericana.
- Longini, I.M y Koopman, J.S. (1982). Household and Community Transmission Parameters from Final Distributions of Infections in Households. Biometrics.
- Martínez Navarro, F. (1997). Epidemiología de las enfermedades transmisibles. McGraw-Hill Interamericana.
- Morilla, F. y Dormido, S. (2012). Ingeniería de Sistemas, Sanz y Torres.

- Porta M. (2008). A dictionary of epidemiology, 5th Edition. New York. Oxford University Press.
- Rosner, B. (2006). Fundamentals of Biostatistics, Duxbury: Belmont, 6th edition.
- Rothman, K. J. y Greenland, S. (2008). Modern epidemiology, Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 3rd edition.
- Szklo, M. y Nieto J. (2003). Epidemiología intermedia: Conceptos y aplicaciones. Ediciones Díaz de Santos.
- Skolnik, R. (2008). Essentials of Global Health. Boston: Jones and Bartlett Publishers.
- Sterman, J. D. (2000). Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World. NY: McGraw-Hill Higher Education.
- Victora, C. G. (1993). What's the denominator? The Lancet.
- Vynnick, E. y White, R.G. (2010). An introduction to infectious disease modelling. Oxford University Press.





MAR CARIBE

EDITORIAL

Depósito Legal Nro.: 202310600

+51 932 604 538

contacto@editorialmarcaribe.es

MODELOS DINÁMICOS DIFERENCIALES APLICADOS EN SALUD PÚBLICA

