

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE CIENCIAS

CÁLCULO DE LA PRIMA DE UN SEGURO DE ENFERMEDAD CRÍTICA MEDIANTE EL MODELO DE CADENA DE MARKOV CONTINUA DE MÚLTIPLES ESTADOS.

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERA MATEMÁTICA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

GABRIELA ELIZABETH REVELO BETANCOURT
gabyliz_89@hotmail.com

Director: MSC. DIEGO PAÚL HUARACA SHAGÑAY
diego.huaracas@epn.edu.ec

Codirector: MSC. MENTHOR OSWALDO URVINA MAYORGA
menthor.urvina@epn.edu.ec

QUITO, SEPTIEMBRE 2023

DECLARACIÓN

Yo GABRIELA ELIZABETH REVELO BETANCOURT, declaro bajo juramento que el trabajo aquí escrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual, correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Gabriela Elizabeth Revelo Betancourt

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por GABRIELA ELIZABETH REVELO BETANCOURT, bajo nuestra supervisión.

MSc. Diego Paúl Huaraca Shagñay
Director del Proyecto

MSc. Menthor Oswaldo Urvina Mayorga
Codirector del Proyecto

AGRADECIMIENTOS

A MSc. Diego Huaraca, quien estuvo presto a desarrollar el tema presentado, por compartir sus conocimientos y por guiarme en la realización de este proyecto.

Gracias por la confianza y la paciencia.

DEDICATORIA

A Dios quien ha sido mi guía y fortaleza.

A mi hija Amelia. Su nacimiento ha sido sin duda lo mejor que me ha pasado, y ha llegado en el momento justo para darme el último empujón que me faltaba para terminar con este sueño.

A mis padres Cecilia y Gonzalo quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir con esta meta.

A mis hermanos Edison, Johana y Christian por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias.

A toda mi familia porque con su apoyo, oraciones y consejos me acompañaron en este arduo camino.

Índice general

Resumen	XI
Abstract	XII
1. Introducción	1
1.1. Planteamiento del Problema	1
1.2. Justificación	3
1.2.1. Justificación teórica	3
1.2.2. Justificación Práctica	4
1.2.3. Justificación metodológica	6
1.3. Objetivos	6
1.3.1. Objetivo General	6
1.3.2. Objetivo específico	6
2. Marco teórico	8
2.1. Antecedentes	8
2.2. Contingencia de enfermedades	9
2.2.1. Sector salud del Ecuador	9
2.2.2. Enfermedades críticas	12
2.2.3. Prima del seguro	14
2.2.4. Prima del seguro de enfermedad crítica	15
2.3. Información financiera	16
2.3.1. Activo	16
2.3.2. Pasivo	17

2.3.3.	Patrimonio	18
2.3.4.	Egresos hospitalarios	18
2.4.	Contexto económico	20
2.4.1.	Inflación en el Ecuador	20
2.4.2.	Salario básico unificado	20
2.4.3.	Crecimiento real del PIB	21
2.4.4.	Normas, políticas y acciones de Ecuador contra la prevención y control de ENT	22
2.5.	Modelo Actuarial	26
2.5.1.	Procesos Estocásticos	26
2.5.2.	Cadenas de Markov	26
2.5.3.	Procesos semi-Markov	27
2.5.4.	Transición de la cadena de Markov continua	30
2.5.5.	Ecuación de Chapman-Kolmogorov	31
2.5.6.	Probabilidad de transición	32
2.6.	Parámetros y datos públicos para el modelo	32
2.6.1.	Tasa de mortalidad	32
2.6.2.	Fuentes de información	33
3.	Marco metodológico	35
3.1.	Probabilidad de transición	36
3.1.1.	Intensidad de Transición	37
3.1.2.	Ecuaciones de Chapman-Kolmogorov	37
3.2.	Prima por enfermedad crítica	39
4.	Análisis de resultados	41
4.1.	Información recopilada	41
4.2.	Estimación de las probabilidades de transición	42
4.2.1.	Duración del seguro	44
4.2.2.	Cálculo de las intensidades	45
4.3.	Cálculo de la Prima	46

5. Conclusiones y recomendaciones	52
A. Tablas de Datos	55
A.1. Datos sobre Población y Fallecimientos	55
A.2. Total de muertes por enfermedad	57
B. Código en R	61

Índice de figuras

2.1. Prestadores de servicios de salud	9
2.2. Establecimientos de salud a nivel Ecuador	10
2.3. Actividades de salud	11
2.4. Consultas	12
2.5. Enfermedades crónicas no transmisibles	12
2.6. Egresos hospitalarios (en miles) por sectores	19
2.7. Defunciones hospitalarias	19
3.1. Conjunto de estados de transición para alguna Enfermedad Crítica. .	36
4.1. Probabilidades de transición a t años para personas de 20 años y considerando Cáncer como CI.	46
4.2. Evolución de la Prima Pura para un individuo de 20 años respecto a la duración del seguro.	48
4.3. Evolución de la Prima Pura para un individuo de 50 años respecto a la duración del seguro.	49
4.4. Evolución de la Prima Pura respecto a la edad de individuos.	50
4.5. Evolución de la Prima Pura respecto a la tasa de interés.	50

Índice de tablas

2.1. Causas de mortalidad	14
2.2. Defunciones por tipo de causa	15
2.3. Activo del Fondo de Salud	17
2.4. Pasivo del Fondo de Salud	17
2.5. Patrimonio del Fondo de Salud	18
2.6. Egresos hospitalarios 2019-2020	20
2.7. Inflación e Índice de Precios al Consumidor	21
2.8. Salario Básico Unificado	22
2.9. Inflación acumulada anual	23
2.11. Simbología del modelo	28
2.12. Tasa de mortalidad por 1.000 habitantes	33
4.1. Indicador de muertes por enfermedad	42
4.2. Primas Puras del primer seguro para individuos de 20 años	47
4.3. Primas Puras del segundo seguro para individuos de 20 años	47
4.4. Primas Puras del primer seguro para individuos de 50 años	48
4.5. Primas Puras del segundo seguro para individuos de 50 años	49

Resumen

El Cáncer, el Tumor Cerebral y la Insuficiencia Renal Crónica (IRC) son consideradas como enfermedades críticas ya que requieren de un tratamiento y cuidado especial por parte de quienes la padecen. Hoy en día existen seguros para este tipo de enfermedades que proveen al asegurado una protección financiera en el evento que sufra de alguna enfermedad crítica; no obstante, es indispensable establecer las primas que definan el pago de este seguro, según la edad del individuo, el tiempo de cobertura, la tasa de interés y el tipo de enfermedad. Por tanto, se determinan estas primas a partir de modelos multiestados, en particular, mediante un modelo de cadenas de Markov continua de cuatro estados. Adicionalmente, se definen dos tipos de seguros para el cálculo de la prima, uno en el que se proporcione un solo pago sobre la suma asegurada de una póliza y otro en el que también se proporcione una cobertura por la enfermedad crítica (tratamiento).

Palabras clave: enfermedad crítica, seguros, modelos multiestados, primas.

Abstract

Cancer, Brain Tumor and Chronic Renal Failure are considered critical illnesses (CI) since they require special treatment and care by those who suffer from them. Today there are insurances for this type of illness that provide the insured with financial protection in the event that they suffer from a critical illness; however, it is essential to establish the premiums that define the payment of this insurance, according to the age of the individual, the time of coverage, the interest rate and the type of disease. Therefore, these premiums are determined from multistate models, in particular, by means of a continuous Markov chain model of four states. Additionally, two types of insurance are defined for calculating the premium, one in which a single payment is provided on the insured sum of a policy and another in which coverage for critical illness (treatment) is also provided.

Keywords: *critical illness, insurance, multi-state models, premiums.*

Capítulo 1

Introducción

1.1. Planteamiento del Problema

La Organización Mundial de la Salud se refiere a las enfermedades críticas como afecciones o dolencias que tienen una progresión lenta, permanente y pueden dejar discapacidades residuales. Los cuatro tipos principales son enfermedades cardiovasculares (como los infartos de miocardio y los accidentes cerebrovasculares), todo tipo de cáncer, enfermedades respiratorias crónicas (como la enfermedad pulmonar obstructiva crónica y el asma) y diabetes. El tratamiento de este tipo de enfermedades, por su duración y la necesidad de periódicos estados de supervisión, pueden llegar a tener un alto costo económico que impacta tanto al individuo, pues puede afectar su calidad de vida reduciendo la capacidad de cumplir con necesidades básicas, como al sector social; este último por el aumento de carga financiera que puede incurrir sobre el sistema de salud y gobierno, así como sobre las empresas y los empleadores que brindan seguros de salud a sus empleados.

La prevalencia de las enfermedades críticas en los países industrializados aumenta constantemente; en la actualidad, al menos 30 millones de adultos en Estados Unidos padecen una o más enfermedades críticas que limitan su actividad, y esta cifra probablemente crecerá de forma constante a medida que la edad media de la población aumente en las próximas décadas [4]; en vista de esto, surgió la necesidad de crear seguros para estas enfermedades. Desde la creación de los primeros productos de seguros de enfermedades críticas en Sudáfrica en 1983, este concepto, relativamente simple en sus orígenes, se ha extendido en todo el mundo y ha derivado en un amplio espectro de variaciones, ya que las atenciones de enfermedades críticas difieren de un mercado a otro en función de las necesidades del cliente, del

entorno de los seguros privados y la cobertura por enfermedad e invalidez de los servicios públicos que estipule cada país [16].

Históricamente, los seguros se dividen en tres grandes grupos, dependiendo de la clase de riesgos que asumen: seguros de vida y de salud, seguros contra daños materiales o accidentes y seguros de servicios. En este trabajo nos centraremos en el seguro de vida y salud; este tipo de seguro es aquel que cubre todo tipo de accidentes ocurridos directamente al asegurado, es decir, aquellos que lo afectan en su integridad física o psicológica. Se cubren riesgos como el fallecimiento (o, en ocasiones, permite generar ahorro para la supervivencia), accidentes (mortales, médicos o quirúrgicos, por legítima defensa, invalidez permanente y total, entre otros) y enfermedad (asistencia sanitaria en caso de problemas de salud o dependencia).

El seguro de enfermedad crítica es un tipo de seguro que ofrece una cobertura financiera única o fraccionada a los asegurados en caso de que sean diagnosticados con la enfermedad crítica contemplada en la póliza; este tipo de seguros se diseñaron para ayudar a las personas a hacer frente a gastos médicos y otros costos que surgen cuando se enfrentan a una enfermedad. Las prestaciones proporcionadas por la aseguradora se dan en forma de cobertura médica [24].

Países con tradición de cobertura universal y financiamiento estatal, como Gran Bretaña o Canadá, tienden a diseñar coberturas para enfermedades críticas usando los mismos mecanismos que los aplicados para enfermedades agudas. Por otro lado, países en donde se maneja principalmente el seguro privado, como EE. UU. o los países más industrializados del sudeste asiático, se usan seguros especiales de naturaleza privada. Además, prácticamente en todos los países desarrollados han aparecido seguros privados de carácter voluntario destinados a brindar coberturas faltantes o complementarias a las que emergen de los seguros sociales. El auge de este tipo de instrumento asegurador entre la población con capacidad de pago y en países desarrollados demuestra el nivel de conciencia que existe sobre las fallas que todos los sistemas, de una u otra forma, presentan a la hora de cubrir enfermedades críticas.

En Ecuador, las enfermedades críticas no han sido tratadas con ningún mecanismo especial, lo que ha traído serios problemas de falta de cobertura, cobertura insuficiente y/o de muy baja calidad. El país parte de una declaración básica que establece que la salud es un derecho fundamental y que el Estado debe velar por su provisión integral. A partir de esta premisa, los seguros sociales existentes y los hospitales públicos deben cubrir todas las intervenciones imaginables, con muy pocas

excepciones que se circunscriben a tratamientos en fase experimental o ligadas a la estética.

En el país, las enfermedades críticas configuran un problema serio, complejo y creciente para la sociedad. En el año 2019, según el Ministerio de Salud Pública, alrededor de 150.000 personas fueron diagnosticadas con algún tipo de enfermedad crítica, que representa el 3 % de los casos atendidos por el Seguro General de Salud Individual y Familiar (SGSIF) [28]. Esta cifra equivale a más del 15 % del presupuesto global considerado para la atención médica de todos los asegurados. A pesar del gran riesgo financiero que representa la cobertura de enfermedades críticas, el Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social (IESS) brinda la cobertura de salud a aquellas personas que presentan este tipo de enfermedades, pero no cuenta con un fondo para cubrir estos gastos y tampoco ha logrado establecer el monto de las prestaciones para un seguro de enfermedad crítica.

Las compañías de seguros trabajan con probabilidades que determinan las posibilidades que existen de que un determinado hecho se produzca, además se tiene en cuenta determinadas variables para que el cálculo sea lo más preciso posible. La modelización actuarial del seguro de enfermedad crítica (Critical Illness), conocido como CI, se realiza mediante un enfoque probabilístico que utiliza un modelo multiestado que permite representar la evolución de una determinada póliza de seguro como una trayectoria muestral de una cadena de Markov no homogénea y continua en el tiempo (o discreta en el tiempo) [3]. En las próximas secciones se presentarán las definiciones del modelo.

En el Plan estratégico del IESS 2018-2028 [11], se establece incrementar la sostenibilidad de los fondos de los seguros especializados, con esta consideración es preciso contar con modelos actuariales que determinen el valor de las primas destinadas a financiar las enfermedades críticas, de tal manera que se garantice la sostenibilidad económica financiera de la Institución y con ello buscar garantizar las prestaciones suficientes, oportunas y apropiadas para el tratamiento de enfermedades críticas.

1.2. Justificación

1.2.1. Justificación teórica

La sociedad ecuatoriana no tiene suficientes referencias sobre la ciencia actuarial, así como sus aportes y aplicaciones en la vida cotidiana. A excepción de los expertos,

pocas personas saben que los cálculos actuariales están vinculados a los seguros de personas, bienes o servicios, y que con base en ellos se establecen las primas necesarias, cuantificación de riesgos, los tiempos de vida o la utilidad, etc., por citar algunas situaciones.

Precisamente, la forma actual de analizar estas situaciones olvida ciertos momentos importantes de las mismas, en el periodo de tiempo que va desde su origen hasta su final. El Análisis Markoviano destaca las virtudes de un método moderno que explora exhaustivamente las situaciones mencionadas [5].

La estabilidad del sistema de salud respecto a su financiamiento depende de un eficiente proceso de mitigación de costos asignados para la atención de enfermedades críticas; por lo cual, la fijación de primas para un seguro de enfermedad crítica tiene como objetivo establecer un punto de equilibrio entre la aseguradora y el asegurado, pues dado el considerable incremento de dichas enfermedades se pretende evitar futuras pérdidas económicas para el IESS. El uso de modelos actuariales por parte de las empresas aseguradoras y entidades públicas, proporcionan una base sólida para la tarificación y valoración de contratos de seguros complejos como son los seguros de enfermedad crítica. Por tal motivo, la investigación realizada con base en los argumentos precedentes muestra que el enfoque propuesto por el modelo actuarial markoviano a tiempo continuo tiene aplicación directa para estimar los flujos de caja (primas y prestaciones) para una persona que padece alguna enfermedad crítica [24]. Para llevar a cabo este proyecto se propone analizar los diferentes modelos y métodos que nos guíen en la modelización y así estimar las primas para que el IESS cubra este tipo de prestaciones.

Es aquí donde se recalca la importancia de contar con un seguro que permita al paciente gozar de una atención prioritaria y enfocada en mejorar su condición de salud, consecuentemente se recalca la importancia que representa para los familiares el contar con un aseguramiento para la atención y tener como proveedor de insumos de acuerdo a las necesidades del paciente, es decir, que el seguro contemple todas las necesidades en aspecto de salud para cada uno de los usuarios del seguro.

1.2.2. Justificación Práctica

Un análisis actuarial de fijación de primas para un seguro de enfermedad crítica le permitirá al Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social actuar de forma preventiva mitigando costos por cobertura de salud, lo cual ayudará al IESS a evitar una falta de presupuesto y afectaciones económicas por parte de sus afiliados. Por otro

lado, el estudio podrá contribuir a más procesos de investigación en el sistema de financiamiento en salud o a la implementación de técnicas para que el Ministerio de Salud Pública (MSP), quien actúa en el sistema como Autoridad Sanitaria, regulador y proveedor de servicios de salud, pueda gestionar y comprar bienes y servicios de salud para este tipo de enfermedades

Un seguro de enfermedad crítica es necesario debido a que proporciona al titular del seguro una cobertura médica en caso de contraer una enfermedad crítica, dicha enfermedad debe estar incluida en un conjunto de enfermedades especificadas por las condiciones de la póliza [3].

El tratamiento asociado a las enfermedades críticas tiende a ser excesivamente costoso, lo que provoca que un porcentaje considerable de familias ecuatorianas no cuenten con las condiciones para cubrir estos valores. Es por ello que se genera una responsabilidad financiera del IESS para medicamentos destinados a enfermedades críticas; dentro de la legislación ecuatoriana se prevé un fondo solidario con el aporte obligatorio de afiliados, empleadores y del Estado [28]. Precisamente, estos problemas son los que el seguro de enfermedad crítica pretende resolver. Por lo cual, desarrollar un modelo multiestado que facilite la fijación de las primas del seguro de enfermedad crítica favorece tanto a las empresas que ofertan estos productos actuariales como al IESS, pues pueden optimizar recursos y tiempo en sus procesos, y a los contratantes debido a que reciben un precio más justo y fundamentado en técnicas actuariales. De esta manera, se incentivarán las afiliaciones de los aportantes que para que contraten un seguro de salud de esta clase y así evitar afectar la economía de los contratantes o del IESS.

En [28], un estudio actuarial realizado por el IESS, se basó en establecer la prima de aportes en términos relativos aplicada a los ingresos de los afiliados; esto para formar el fondo destinado a financiar el tratamiento de enfermedades críticas, y sus consecuencias en el corto y mediano plazo. La información estadística parte de las bases de datos del Seguro General de Salud Individual y Familiar del IESS, debido a que las Unidades Médicas del IESS atienden al mayor número de pacientes con enfermedades raras y críticas. Así también, por ejemplo en [30], se aplica una nueva metodología de un modelo estocástico básico de Cadenas de Markov relacionado con la invalidez, que se utiliza para realizar una valoración actuarial de esa enfermedad.

1.2.3. Justificación metodológica

El primer trabajo que estudia los problemas actuariales que se presentan en el desarrollo de un seguro de enfermedad crítica, es el de Haberman y Pitacco, este trabajo describe los modelos de múltiples estados basados en los procesos estocásticos de Markov [27].

La necesidad de utilizar modelos de múltiples estados en las ciencias actuariales es debido a que ofrecen una forma conveniente de representar los cambios de estado en la salud de las personas. Los cálculos se desarrollan si se asume que el modelo es una cadena de Markov; sin embargo, la propiedad de ausencia de memoria de una cadena de Markov hace que esta sea aplicada de manera juiciosa [31].

En las situaciones de riesgo con múltiples estados, que pueden ser asimiladas a procesos y semiprocesos estocásticos de Markov, basándose en las limitaciones de los datos estadísticos de enfermedad, los actuarios pueden establecer las probabilidades de que el asegurado efectúe una transición de un estado de salud a otro en un determinado momento. En la modelización actuarial, la teoría de las cadenas de Markov proporcionan herramientas matemáticas para resolver problemas en modelos de varios estados aplicados al cálculo de primas para un seguro de enfermedad crítica [3].

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Desarrollar un modelo actuarial de Cadena de Markov Continua de Múltiples Estados para la fijación de Primas del Seguro de Enfermedad Crítica que cubra la contingencia de enfermedad.

1.3.2. Objetivo específico

- Procesar la información base que definirá los criterios conceptuales y prácticos para el modelamiento.
- Desarrollar metodológicamente un modelo actuarial de múltiples estados para el análisis de transiciones entre estados de salud, para individuos con enfermedades críticas.

- Estimar la intensidad de transición para utilizarla en una ecuación diferencial de probabilidad de transición.
- Calcular las primas en modelos de prestaciones del seguro de enfermedad crítica, mediante la aplicación del modelo de cadena de Markov.

Capítulo 2

Marco teórico

2.1. Antecedentes

Dentro de la investigación desarrollada en [7], se revisa la importancia de los seguros de salud y cobertura de enfermedades críticas, este documento explica las experiencias de varios países en la implementación y diseño de políticas de cobertura de estas enfermedades, analizando sus ventajas y limitaciones. Se trata de incorporar aprendizajes y enseñanzas que puedan ser utilizadas para el diseño del Fondo Nacional de enfermedades críticas dentro del Programa Sumar, que tiene como objetivo mejorar la cobertura y calidad del servicio de salud a la población no asegurada en Argentina.

La investigación encontró que la cobertura de este tipo de enfermedades se caracteriza por los problemas de selección adversa y la ausencia de riesgo moral, aunque este último empieza a ganar importancia cuando la política sanitaria amplía la cobertura más allá de las enfermedades críticas. Esto sugiere la posibilidad de asegurar estos eventos: cuanto mayor sea la cobertura (obligatoria) y la diversificación del riesgo de las enfermedades críticas, menor será el coste global de su financiación (de la gestión de estos riesgos en un fondo común, evitando la fragmentación de la población y la duplicación de costes administrativos) [7].

En el artículo escrito por [18], se revisa que la administración moderna requiere el apoyo de herramientas de diferentes ramas de la ciencia que ayuden al proceso de toma de decisiones, como la Matemática Aplicada. En este contexto, aparecen variables aleatorias que cambian en el tiempo y que pueden ser representadas a través de modelos cuantitativos. Cuando en estos modelos el estado presente de estas variables resume toda la información anterior para describir cómo se comportarán

en el futuro, se dice que estamos en presencia de una cadena de Markov.

Con la investigación se concluye que el análisis de la ejecución de proyectos de investigación en Salud podría considerarse como una cadena de Markov, definiendo los diferentes estados por los que puede pasar un proyecto y las probabilidades de que se encuentre en un determinado estado a partir del estado en el que se encontraba [18].

2.2. Contingencia de enfermedades

2.2.1. Sector salud del Ecuador

El sector salud del Ecuador se encuentra compuesto por una serie de instituciones que tienen como objetivo principal el de prevenir y curar las enfermedades a través de la prestación de servicios de salud, principalmente dentro de un hospital; dicho de otra manera, este sector se direcciona a la preservación y protección de la salud de las personas. Algunas de estas instituciones que componen este sector se detallan en la figura 2.1.

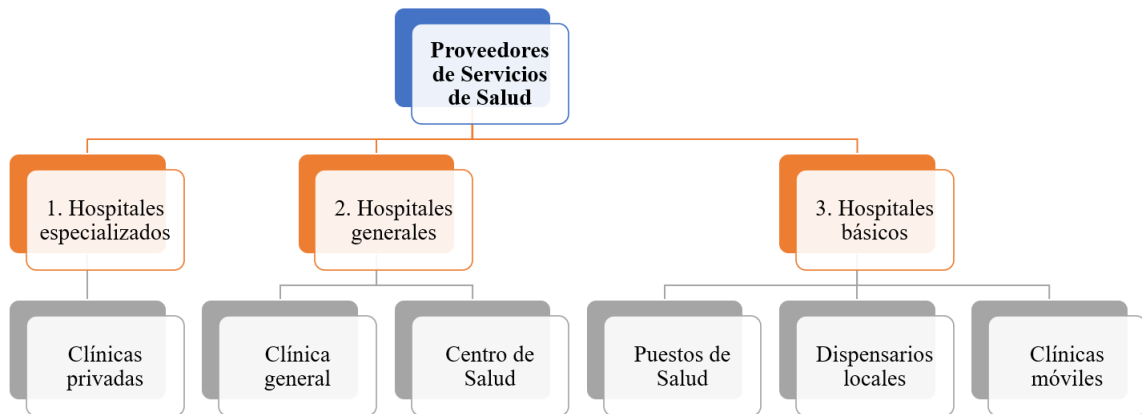


Figura 2.1: Prestadores de servicios de salud

Esta clasificación se basa en la capacidad de los proveedores para ofrecer servicios de atención médica.

1. **Hospitales especializados:** son instituciones de alta complejidad, equipadas con tecnología avanzada y personal especializado para atender casos complejos y críticos.
2. **Hospitales generales:** brindan atención de menor complejidad con personal y recursos para tratar enfermedades y lesiones graves.

3. **Hospitales básicos:** ofrecen atención médica básica y preventiva, como consultas de medicina general, vacunaciones y tratamiento de enfermedades comunes.

Establecimientos de salud

La figura 2.2 refleja que el total de los establecimientos al término del año 2019 fueron 4.148, teniendo en cuenta esta cantidad como variación del año anterior, es decir, de acuerdo a la información antes evidenciada, la provincia con mayor número de establecimientos fue Guayas complementando un 16,20% en la cual se encuentran tanto entidades públicas como privadas. De otro lado, las provincias con menor número de establecimientos fueron en su mayoría provincias del Oriente tales como: Pastaza (67), Sucumbíos (67), Orellana (63) y Napo (55) y, como última provincia es Galápagos con 14 establecimientos.

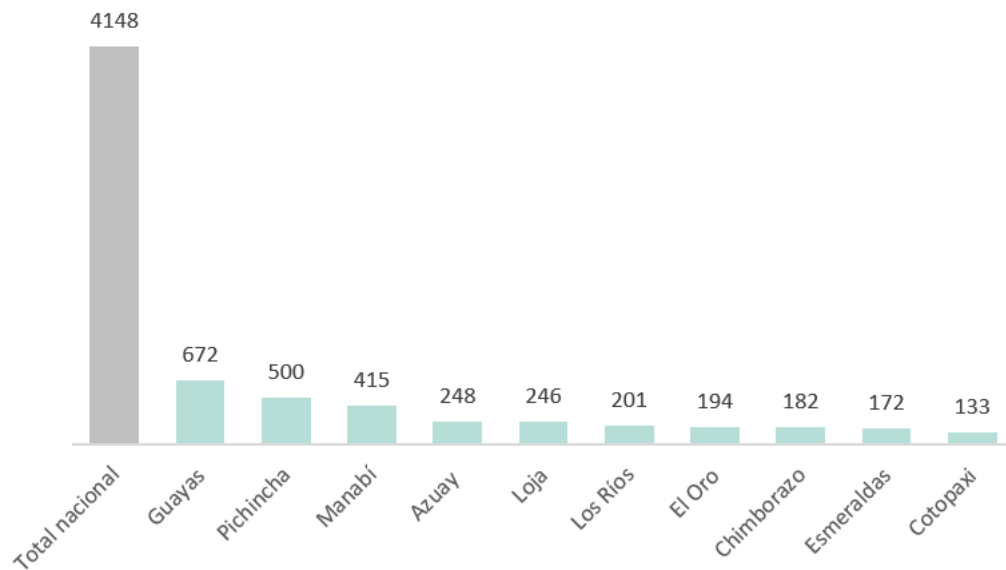


Figura 2.2: Establecimientos de salud a nivel Ecuador (INEC, 2022)

Esta información pública se la puede disponer en el siguiente link: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/establecimientos-de-salud/> correspondiente a la página oficial del INEC.

Actividades de salud

Por otra parte, es importante reconocer el tipo de actividades con que un establecimiento de salud cuenta y que puede ofertar al mercado al que se encuentra

direccionado sus servicios; es así que, en la figura 2.3 se observa que las radiografías son los exámenes que más predominan dentro del año 2019, seguidos de las Ecografías por los índices de aumento de nacidos vivos, consecuentemente se ubican las tomografías y posteriormente las mamografías para concluir como valores mínimos a las resonancias magnéticas nucleares y las dosimetrías óseas.

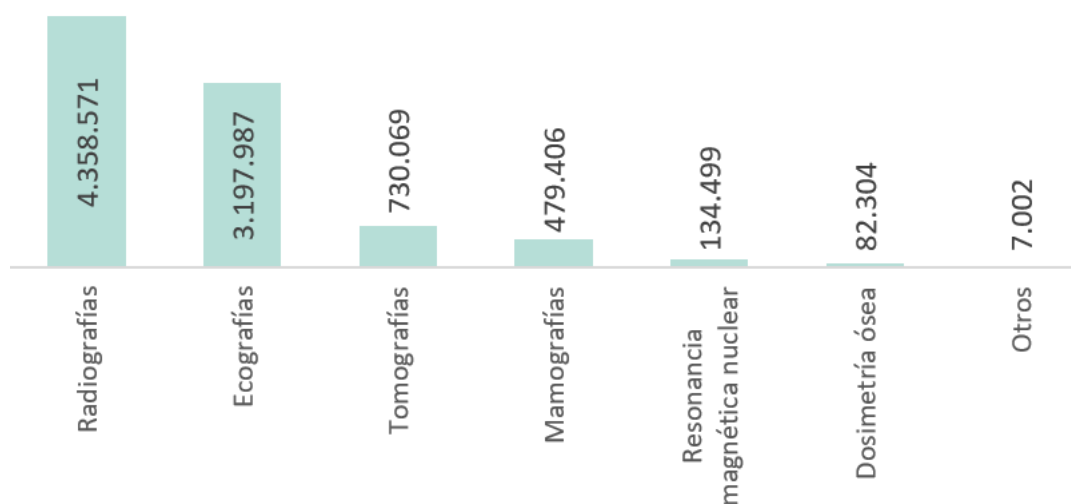


Figura 2.3: Actividades de salud
Fuente: [13]

Consultas Médicas

Las consultas son uno de los servicios más eficientes y eficaces que denotan el compromiso de los establecimientos de salud con enfoque en la contribución a la sociedad, de tal manera que cada una de las ofertas en servicios de consulta se enmarquen en brindar una solución óptima a los pacientes y generar un aporte de ayuda al cuidado y mejoramiento de la calidad de vida de los usuarios de este servicio.

Las principales directrices con enfoque en la información implementada en las consultas más importantes realizadas en algunos de los establecimientos de salud son: la morbilidad, prevención, estomatología y de emergencia. Adicionalmente, las consultas para morbilidad en el año 2019 completan un total de 38,8 millones, de los cuales el 83,28 % se direccionan al sector público y el 16,72 % para el sector privado, donde se encuentra la catalogación con y sin fines de lucro.

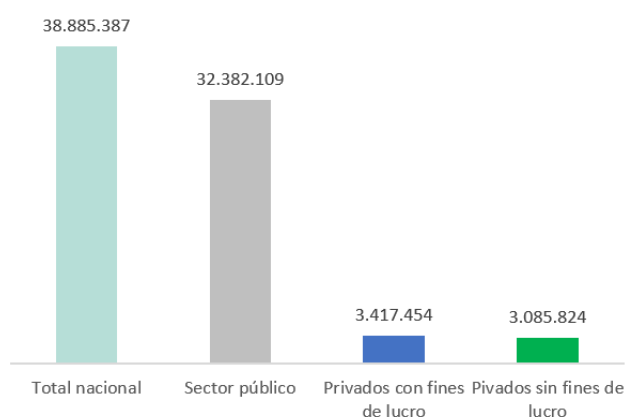


Figura 2.4: Consultas
Fuente: [13]

2.2.2. Enfermedades críticas

Las enfermedades críticas son enfermedades que se caracterizan por su alto grado de complejidad y el elevado coste que supone su tratamiento, además, provocan un deterioro grave e incapacitante en la salud de los pacientes. No obstante, se considera que una enfermedad es rara o huérfana cuando su frecuencia, incidencia o prevalencia es baja, según el límite establecido de acuerdo a los criterios de cada país, pudiendo modificarse en el tiempo [29].



Figura 2.5: Enfermedades crónicas no transmisibles
Fuente: [21]

La enfermedad crítica se refiere a un amplio espectro de condiciones médicas o quirúrgicas que amenazan la vida y que generalmente requieren cuidados intensivos; entre algunos de estos cuidados se puede mencionar el soporte nutricional especial como aminoácidos y calorías y, si está prescrito, agentes inmunomoduladores. La enfermedad crítica puede prolongarse si no se cumplen los requisitos nutri-

cionales. Asimismo, los pacientes que padecen enfermedades críticas suelen sufrir un deterioro de las funciones inmunitarias, lo que puede agravar su condición de salud [15].

Según informes de la Organización Mundial de la Salud (OMS), existen alrededor de 7.000 enfermedades raras, que afectan aproximadamente al 7% de la población mundial; estimando que el número de pacientes afectados por una enfermedad rara es de aproximadamente 30 millones en Europa y 25 millones en Norteamérica.

Las enfermedades críticas son enfermedades agudas o prolongadas, consideradas potencialmente mortales o con riesgo de dejar una discapacidad residual importante. La enfermedad crítica suele conllevar trastornos psicosociales que afectan de forma significativa a su evolución porque altera el proceso de rehabilitación, los hábitos saludables, la calidad de vida y limita la adherencia a los tratamientos [2].

Asimismo, las enfermedades raras son aquellas crónicamente debilitantes, graves, que ponen en peligro la vida y con una prevalencia inferior a 1 de cada 2.000 personas, incluyendo las enfermedades desatendidas. Las enfermedades desatendidas son propias de los países en vías de desarrollo y afectan ordinariamente a la población más pobre y no tienen tratamientos eficaces o adecuados, accesibles para la población afectada [2].

Algunas de las enfermedades críticas definidas por el Ministerio de Salud Pública son:

1. Todo tipo de malformaciones congénitas de corazón y todo tipo de valvulopatías cardíacas.
2. Todo tipo de cáncer.
3. Tumor cerebral en cualquier estado y de cualquier tipo.
4. Insuficiencia renal crónica.
5. Trasplante de órganos: riñón, hígado, médula ósea.
6. Secuelas de quemaduras graves.
7. Malformaciones arterio venosas cerebrales.
8. Síndrome de Klippel Trenaunay.
9. Aneurisma tóraco-abdominal [20].

Principales causas de morbilidad año 2019-2020

Las principales causas de morbilidad con más incidencia durante el año 2019-2020 se presentan a continuación, teniendo en cuenta que para el 2020, 55.076 pacientes fueron internados en establecimientos de salud públicos y privados por la COVID-19, esto representa el 6,1 % del total de egresos hospitalarios.

Causas de mortalidad	Año 2019	Año 2020
COVID-19 virus identificado y no identificado (U07)		55.076
Colelitiasis (K80)	43.673	29.700
Apendicitis aguda (K35)	35.546	29.135
Neumonía, organismo no especificado (J18)	29.066	15.490
Otros trastornos del sistema urinario (N39)	21.053	11.622
Otras enfermedades maternas clasificables en otra parte, pero que complican el embarazo, el parto y el puerperio (O99)	15.277	10.994
Infección de las vías genitourinarias en el embarazo (O23)	16.010	10.522
Atención materna por anomalías conocidas o presuntas de los órganos pelvianos de la madre (O34)	12.608	10.488
Preeclampsia (O14)	11.388	9.947
Otras gastroenteritis y colitis de origen infeccioso y no especificado (A09)	23.574	9.873
Resto de causas de morbilidad	987.116	714.668
TOTAL	1.195.311	907.515

Tabla 2.1: Causas de mortalidad

Fuente: [14]

Principales defunciones por tipo de causa

Como indicador principal se recalca que en el año 2020 existieron un total de 10.854 pacientes que fallecieron dentro de establecimientos tanto públicos como privados, de tal manera que en la tabla 2.2 se enuncian las principales causas.

2.2.3. Prima del seguro

El contrato de seguro frente a los derechos del consumidor es un tema que cobró importancia a partir de que el contratante, ya sea asegurado o beneficiario, fue visto como la parte débil del contrato frente a las compañías de seguros (parte económicamente fuerte), lo que derivó en la necesidad de que tales derechos sean elevados a rango constitucional y regulados a través de las leyes pertinentes.

De tal manera, que la Constitución de la República del Ecuador, en su Capítulo Tercero relativo a los Derechos de las Personas y Grupos de Atención Prioritaria, Sección IX ubicó a los usuarios consumidores como parte de este grupo, destacando

CAUSAS	Año 2019	Año 2020
COVID-19 virus identificado y no identificado (U07)		10.854
Insuficiencia respiratoria, no clasificada en otra parte (J96)	1.199	1.1569
Neumonía, organismo no especificado (J18)	991	1.011
Otras sepsis (A41)	887	714
Neumonía viral, no clasificada en otra parte (J12)	27	625
Choque, no clasificado en otra parte (R57)	581	415
Traumatismo intracraneal (S06)	394	388
Neumonía bacteriana, no clasificada en otra parte (J15)	584	381
Enfermedad renal crónica (N18)	516	358
Trastornos relacionados con duración corta de la gestación y con bajo peso al nacer, no clasificados en otra parte (P07)	413	348
Resto de causas de morbilidad	413	348
TOTAL	19.634	28.397

Tabla 2.2: Defunciones por tipo de causa

Fuente: [14]

lo establecido en el artículo 52 que señala: "Las personas tienen derecho a disponer de bienes y servicios de la mejor calidad y a elegirlos libremente, así como a una información veraz y no engañosa sobre su contenido y características".

El contrato de seguro es oneroso porque el asegurado está obligado a pagar la prima o el precio, mientras que la compañía de seguros está sujeta a dar cobertura y pagar la indemnización si se produce el siniestro previsto en el contrato. Es decir, si el siniestro no se produce, como consecuencia del acontecimiento incierto (aleatorio), durante la vigencia del contrato, supondrá una ganancia para la aseguradora porque ha recibido el pago de la prima por parte del asegurado sin tener que aportar una contraprestación. Por otro lado, si se produce el siniestro, el asegurador pagará la indemnización, entonces habrá onerosidad porque ambas partes contractuales sufrirán gravámenes en virtud de la ocurrencia (siniestro) del riesgo asumido por el asegurador.

Hay que entender que la prima, es la contraprestación económica que el asegurador recibe del contratante o asegurado, dentro del contrato de seguro, que incluye varios conceptos, entre los que se encuentran los impuestos, tasas y otros cargos establecidos por la normativa legal vigente [19].

2.2.4. Prima del seguro de enfermedad crítica

Los principales factores a tener en cuenta en el diseño de un seguro (en particular, de salud) son la probabilidad de ocurrencia del evento a asegurar, la magnitud de la pérdida, el precio del seguro (que depende del funcionamiento del mercado

de seguros correspondiente) y el interés de las partes a asegurar (nivel de riqueza, preferencias por el riesgo, etc.).

Una de las cuestiones que se plantean es qué cantidades de pérdidas y qué eventos debe cubrir el asegurador. Se considera que no debe convertirse en un seguro contra todas las cantidades y probabilidades de pérdida posibles, ya que su coste superaría los beneficios. Sin embargo, esta cobertura total puede ser el resultado de una evaluación social de estos eventos. En cualquier caso, la baja probabilidad de ocurrencia y los altos costes asociados a este tipo de afecciones desequilibran los cálculos actuariales de las aseguradoras, dificultando la diversificación del riesgo. Esto es válido incluso en los casos en los que pueden identificar y discriminar a los pacientes de riesgo, exponiéndolos a afrontar estas contingencias con pagos directos [7].

Dentro del contexto de las enfermedades críticas, se pueden mencionar los ataques cardíacos, derrames cerebrales, trasplantes de órganos o parálisis. A menudo, una enfermedad crítica tiene un impacto poderoso en la vida de las personas, afectando su sustento y sus finanzas.

Un plan de enfermedades críticas puede ayudar con los costos de tratamiento de las enfermedades cubiertas. Los beneficios se suelen pagar directamente a la persona afectada, a menos que se le asigne otra cosa, lo que le da la opción de cómo gastar el dinero. Además, hay planes disponibles para proporcionar cobertura a otros miembros de la familia [8].

2.3. Información financiera

Para realizar el análisis de esta sección, se consideró los Estados Financieros al 31 de diciembre de cada año del periodo 2010-2018, proporcionados por la Dirección Nacional de Gestión Financiera.

2.3.1. Activo

Se presenta la evolución del activo del fondo de Salud en la Tabla 2.3.

Entre los años 2010 y 2015, el activo creció en USD. 2.965 millones, lo que significa un crecimiento promedio anual del 21,03 %. En el año 2016, el activo sufre un decremento de USD. 893 millones representando una caída del 18,31 %, debido a la no consideración de la deuda del Gobierno en el activo.

Año	Activo	Incremento Anual	Incremento Porcentual
2010	1.912.263.985		
2011	2.671.407.860	759.143.875	39,70
2012	3.084.933.110	413.525.250	15,48
2013	3.593.447.130	508.514.020	16,48
2014	3.932.395.454	338.948.324	9,43
2015	4.878.224.849	945.829.394	24,05
2016	3.985.123.608	-893.101.240	-18,31
2017	8.610.949.748	4.625.826.140	116,08
2018	10.137.210.481	1.526.260.733	17,72

Tabla 2.3: Activo del Fondo de Salud

Fuente: Balance General Consolidado por Fondos Administrados de los Seguros Especializados - DNGF.

Elaboración: Autora

2.3.2. Pasivo

Se presenta la evolución del pasivo del fondo de Salud en la Tabla 2.4.

Año	Activo	Incremento Anual	Incremento Porcentual
2010	272.018.498		
2011	819.599.004	547.580.505	201,30
2012	1.157.250.833	337.651.829	41,20
2013	1.537.356.171	380.105.338	32,85
2014	2.236.108.995	698.752.824	45,45
2015	2.656.107.864	419.998.869	18,78
2016	2.001.665.473	-654.442.391	-24,64
2017	3.812.693.535	1.811.028.062	90,48
2018	3.229.084.599	-583.608.936	-15,31

Tabla 2.4: Pasivo del Fondo de Salud

Fuente: Balance General Consolidado por Fondos Administrados de los Seguros Especializados - DNGF.

Elaboración: Autora

El pasivo pasó de USD. 272.018.498,20 a USD. 3.229.084.599,06 entre el 2010-2018, siendo el año 2017 donde existió un mayor crecimiento con alrededor de USD. 1.800 millones. En el 2016 y 2018 el pasivo sufrió un decrecimiento del 24,64 % y 15,31 % respectivamente.

En el año 2016, debido a la no consideración de la Deuda del Gobierno en los balances no constan valores en dichas cuentas. Previo al 2015 tampoco se registra valores en las mencionadas cuentas debido a la dinámica contable del registro de la Deuda del Gobierno de aquella época.

2.3.3. Patrimonio

Se presenta la evolución del patrimonio del fondo de Salud en la Tabla 2.5.

Año	Activo	Incremento Anual	Incremento Porcentual
2010	1.640.245.487		
2011	1.851.808.856	211.563.369	12,90
2012	1.927.682.277	75.873.421	4,10
2013	2.056.090.959	128.408.682	6,66
2014	1.696.286.459	-359.804.500	-17,50
2015	2.222.116.984	525.830.525	31,00
2016	1.983.458.135	-238.658.849	-10,74
2017	4.798.256.212	2.814.798.077	141,91
2018	6.908.125.882	2.109.869.669	43,97

Tabla 2.5: Patrimonio del Fondo de Salud

Fuente: Balance General Consolidado por Fondos Administrados de los Seguros Especializados - DNGF.

Elaboración: Autora

El Patrimonio es constituido por la parte residual de los activos y una vez deducidos todos sus pasivos. Observamos que el patrimonio de este fondo aumentó en 3,22 veces, incrementándose en USD. 5.267,88 millones en el período 2010 al 2018; en el año 2016 disminuyó 10,74 % por la no consideración de la deuda del Gobierno para el pago de las prestaciones.

El patrimonio creció de forma importante en los años 2017 y 2018 con un incremento anual de USD. 2.814.798.077 y USD. 2.109.869.669 respectivamente.

2.3.4. Egresos hospitalarios

Egresos hospitalarios por establecimiento

De acuerdo con [14], se presentan los principales rubros con enfoque en los egresos hospitalarios para el año 2020, que denotan los servicios que esta área brinda a la población en general en beneficio de mejorar la calidad de vida.

Se recalca que, de acuerdo a la información que se muestra en la figura 2.6, entre los años 2019 y 2020 los egresos hospitalarios dentro del sector público han disminuido, dando cabida a la contratación de más seguros de vida privados, lo que recalca la importancia de contratar los servicios adecuados de acuerdo a la seguridad del usuario y atención prioritaria en caso de enfermedades crónicas.

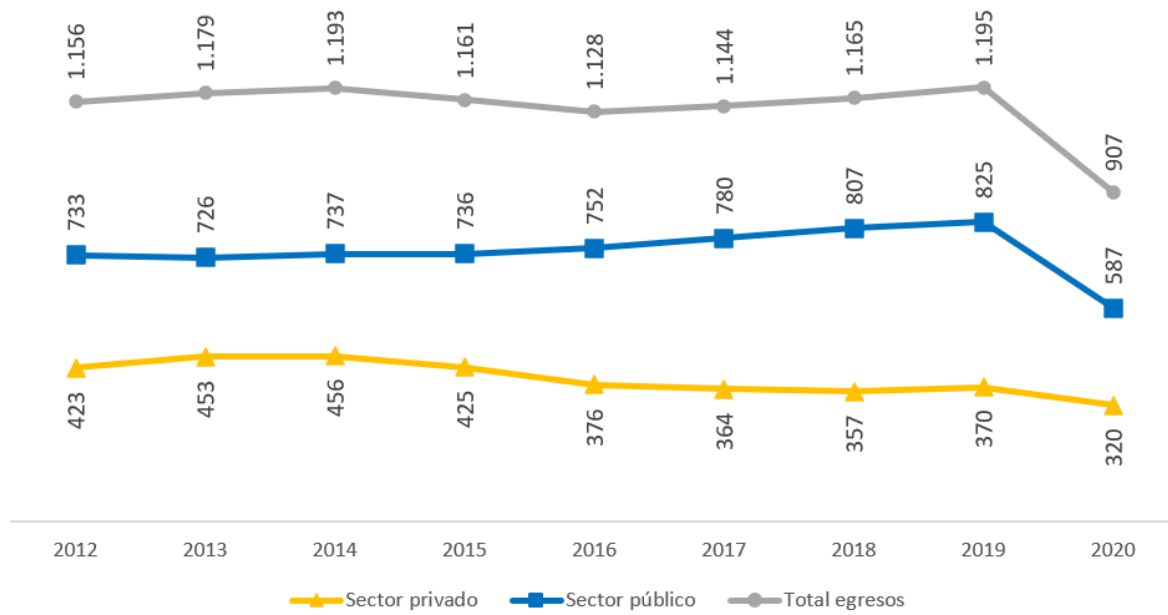


Figura 2.6: Egresos hospitalarios (en miles) por sectores
Fuente: [14]

Defunciones hospitalarias

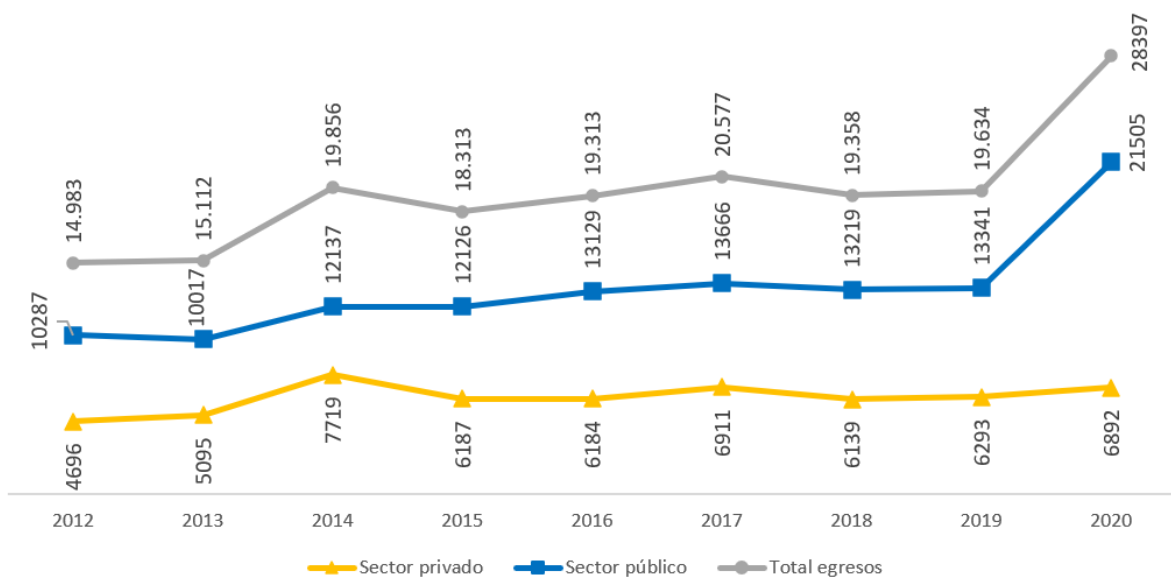


Figura 2.7: Defunciones hospitalarias
Fuente: [14]

De acuerdo a la información presentada en la figura 2.7, en el año 2020 se presentaron 28.397 defunciones hospitalarias a nivel nacional, un incremento de 8.763 defunciones respecto al año 2019. Las defunciones hospitalarias no incluyen los decesos en emergencias. Lo mencionado refleja que existen un total de 1,6 defunciones hospitalarias por cada 1000 habitantes y que representa un incremento de 0,52 con

enfoque en los años anteriores.

Entidad	AÑO 2019	AÑO 2020
Ministerio de Salud Pública	566.034	420.806
Privados con fines de lucro	274.249	250.224
Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social	227.223	145.628
Junta Beneficencia de Guayaquil	36.368	24.637
Privados sin fines de lucro	30.376	23.864
Sociedad de lucha contra el Cáncer	28.859	21.295
Ministerio de Defensa Nacional	14.842	9.827
Otros públicos	8.843	6.099
Municipios	5.295	4.492
Fiscomisionales	3.222	643
TOTAL	1.195.311	907.515

Tabla 2.6: Egresos hospitalarios 2019-2020

Fuente: [14]

2.4. Contexto económico

2.4.1. Inflación en el Ecuador

Una de las hipótesis importantes a considerar en los modelos matemático-actuariales es la inflación, que mide el aumento generalizado y sostenido de los precios de los bienes y servicios en un país, cuya medición consiste en calcular los incrementos que presenta el Índice de Precios al Consumidor (IPC).

Ecuador registró la inflación más alta de su historia en el año 2000 (91 %). Con la implementación de la dolarización, la inflación disminuyó paulatinamente, pasando del 22,4 % en 2001 al -0,2 % en 2017, siendo el registro más bajo desde la adopción del sistema monetario de dolarización. Los años con mayor inflación interanual fueron 2001, 2002 y 2008, con valores superiores al 8 %. Por el contrario, los años con menor inflación fueron estos últimos tres años, 2016, 2017 y 2018, con valores inferiores al 1,2 % [11].

2.4.2. Salario básico unificado

Otra de las hipótesis a considerarse en los modelos matemáticos - actuariales es el comportamiento del salario básico unificado (SBU) y su crecimiento a futuro. El SBU está directamente influenciado por el comportamiento de la inflación. Se presenta

Año	IPC (diciembre)	Inflación acumulada anual (%)
2000	46,25	91,00
2001	56,62	22,44
2002	61,92	9,36
2003	65,68	6,07
2004	66,96	1,95
2005	69,06	3,13
2006	71,04	2,87
2007	73,40	3,32
2008	79,88	8,83
2009	83,32	4,31
2010	86,09	3,33
2011	90,75	5,41
2012	94,53	4,16
2013	97,08	2,70
2014	100,64	3,67
2015	104,05	3,38
2016	105,21	1,12
2017	105,00	-0,20
2018	105,28	0,27

Tabla 2.7: Inflación e Índice de Precios al Consumidor
Fuente: [11]. **Elaboración:** Autora

la evolución histórica del SBU en dólares desde el año 2002 hasta 2018. Como se observa, el SBU hasta diciembre de 2018 fue de USD 386, para el 2019 se fijó en USD 394, lo que significó un incremento del 2,07 %. Se destaca una desaceleración paulatina de los crecimientos del SBU en los últimos cinco años en sus tasas de crecimiento.

2.4.3. Crecimiento real del PIB

Las mayores tasas de crecimiento del PIB se registraron durante la bonanza petrolera de los años setenta y los mayores decrecimientos se registraron en el año 1999 (4,74 %) y en el año 2016 (1,23 %). La evolución histórica de la tasa de crecimiento real del PIB, la cual se obtuvo de la página del Banco Mundial, se encuentran en la Tabla 2.9.

Año	Salario Básico Unificado	Incremento porcentual
2002	105	
2003	122	16,19
2004	136	11,48
2005	150	10,29
2006	160	6,67
2007	170	6,25
2008	200	17,65
2009	218	9,00
2010	240	10,09
2011	264	10,00
2012	292	10,61
2013	318	8,90
2014	340	6,92
2015	354	4,12
2016	366	3,39
2017	375	2,46
2018	386	2,93
2019	394	2,07
2020	400	1,52

Tabla 2.8: Salario Básico Unificado
Fuente: Ministerio del trabajo. **Elaboración:** Autora

2.4.4. Normas, políticas y acciones de Ecuador contra la prevención y control de ENT

Se hace mención las principales normas aplicables de acuerdo a los avances y requerimientos por parte de la población ecuatoriana para la prevención y control de las enfermedades crónicas que aumentan la tasa de mortalidad del país.

Año	Inflación acumulada anual (%)
2000	1,09
2001	4,02
2002	4,10
2003	2,72
2004	8,21
2005	5,29
2006	4,40
2007	2,19
2008	6,36
2009	0,57
2010	3,53
2011	7,87
2012	5,64
2013	4,95
2014	3,79
2015	0,10
2016	-1,23
2017	2,37
2018	1,38

Tabla 2.9: Inflación acumulada anual
Fuente: Banco Mundial. **Elaboración:** Autora

ATENCIÓN INTEGRAL A PACIENTES	
2012	Manual del Modelo de Atención Integral de Salud – MAIS
2016	Manual de Seguridad del Paciente
CONTROL DEL TABACO	
2006	Ratificación del Convenio Marco de la OMS para el Control de Tabaco (CMCT). Su objetivo es la protección contra las consecuencias negativas sanitarias, sociales, ambientales y económicas del consumo de tabaco y de la exposición al humo de tabaco
2007	Incrementos significativos de impuestos a los cigarrillos, como medida para la disminución de su compra y consumo, en especial en niños y adolescentes y grupos sociales de menores recursos. Actualización en los años 2011, 2014 y 2016

2011	Aprobación de la Ley Orgánica para la Regulación y Control de Tabaco (LORCT). Establece las responsabilidades del Estado en restricciones para la venta, disposiciones del empaquetado, etiquetado, advertencias y presentación, disposiciones de la publicidad, promoción y patrocinio, restricciones al consumo, disposiciones de la participación ciudadana y acción pública, y medidas fiscales
2012	Aprobación del Reglamento de la LORCT
2015	Ratificación del Protocolo para la eliminación del comercio ilícito de productos de tabaco. Su objetivo es el control de la cadena de suministro
Acciones	
2007	Incrementos significativos de impuestos a los cigarrillos, como medida para la disminución de su compra y consumo, en especial en niños y adolescentes y grupos sociales de menores recursos. Actualización en los años 2011, 2014 y 2016
2012	Inicio de la elaboración de las rondas de advertencias sanitarias para envases de productos de tabaco. Actualización anual
2015	Asesoría sobre el abandono del consumo de tabaco a través de la línea telefónica 171.
2016	Creación del Sistema de Identificación, Marcación, Autenticación, Rastreo y Trazabilidad Fiscal para cigarrillos y bebidas alcohólicas (SIMAR).
2017	Evaluación del estado de cumplimiento de Ecuador del CMCT. Ejecutado por la Secretaría del CMCT, OPS/OMS, PNUD Regional, y la Unión Internacional Contra la Tuberculosis y Enfermedades Respiratorias. Cooperación sur – sur a 8 países de América Latina y El Caribe sobre los artículos 6 y 15 del CMCT de medidas fiscales y mecanismos para contrarrestar la interferencia de la industria tabacalera
2018	Reactivación del Comité Interinstitucional de Lucha Antitabáquica (CILA). Fue creado en 1989 con el objetivo de realizar acciones intersectoriales para el control del tabaco. Declaración de todos los establecimientos de salud del Ministerio de Salud Pública (2.087) y 723 instituciones públicas como espacios 100 % libres de humo de tabaco. Implementación de talleres de entrenamiento a médicos y TAPS y del proyecto para cesación del consumo de tabaco en el primer nivel de atención.
CONTROL DE ALCOHOL	

2017	Estrategia nacional multisectorial para la prevención y reducción del consumo nocivo de alcohol. Actualmente, se encuentra en proceso de validación por parte de las autoridades del MSP. Incluye 8 de las 10 esferas de la Estrategia mundial para reducir el uso nocivo de alcohol de la OMS: i) liderazgo, concienciación y compromiso; ii) respuesta de los servicios de salud; iii) acción comunitaria; iv) políticas y medidas contra la conducción bajo los efectos del alcohol; v) disponibilidad de alcohol; vi) marketing de las bebidas alcohólicas; vii) políticas de precios; y, viii) seguimiento y vigilancia.
2018	Ley para el Equilibrio de las Finanzas Públicas. Incluye impuestos a las bebidas alcohólicas
DIETA SALUDABLE	
2013	Ley Orgánica de Comunicación, Art. 94 sobre protección de derechos en publicidad y propaganda -2014, Reglamento de etiquetado de alimentos procesados para consumo humano. Se apoya en la estrategia de semáforo
2014	Reglamento de bares escolares del Sistema Nacional de Educación. Se basa en el acuerdo entre el MSP y el Ministerio de Educación sobre control de higiene, indicadores nutricionales y funcionamiento de bares escolares.
2016	Normativa sanitaria de certificación como establecimientos de salud amigos de la madre y el niño
2017	Acuerdo del MSP para el reconocimiento de la responsabilidad nutricional a restaurantes y cafeterías a nivel nacional
2018	Plan intersectorial de alimentación y nutrición Ecuador,2018-2025. Guías Alimentarias Basadas en Alimentos
2018	Acuerdo Ministerial 266 destinado a las instituciones y establecimientos de Salud que forman parte del Sistema de Salud para que de forma obligatoria brinden las facilidades y establezcan las medidas para dar cumplimiento irrestricto a los derechos que asisten a las servidoras y trabajadoras que se encuentren en período de lactancia.
2019	Acuerdo Interministerial 003 que expide la Norma técnica de adecuación y uso de salas de apoyo a la lactancia materna en el sector privado.
2019	Acuerdo Interministerial 00003-20202 que emite el Instructivo de adecuación y uso de salas de apoyo a la lactancia materna en empresas del sector privado
DIABETES, HTA, CÁNCER	
2017	Guía de práctica clínica de diabetes mellitus tipo 2.

2018	Estrategia nacional para la atención integral de cáncer. Adhesión de la Iniciativa mundial HEARTS (OPS/OMS, CDC), para la prevención y control de ECV. Guía de práctica clínica de prevención, diagnóstico y tratamiento de la enfermedad renal crónica.
2019	Guía de práctica clínica de hipertensión arterial Guía de práctica clínica de nódulo tiroideo y cáncer diferenciado de tiroides: diagnóstico, tratamiento y seguimiento
2020	Protocolo de diagnóstico y manejo de pacientes con diabetes mellitus tipo 1

2.5. Modelo Actuarial

2.5.1. Procesos Estocásticos

Dentro de los métodos cuantitativos para la toma de decisiones, el enfoque estocástico propone el estudio de una variable aleatoria que evoluciona en el tiempo. Por tal razón, es importante conocer ciertas definiciones que servirán de ayuda para el desarrollo del trabajo.

DEFINICIÓN 2.1. *Un proceso estocástico es una colección de variables aleatorias $\{X_t : t \in T\}$ indexadas por un conjunto T , llamado espacio parametral, en donde las variables aleatorias toman valores en un conjunto S llamado espacio de estados.*

2.5.2. Cadenas de Markov

Un proceso estocástico se denomina específicamente cadena de Markov cuando en este modelo aparece una sucesión de variables aleatorias tal que el "siguiente" estado del proceso es independiente de los estados anteriores, siempre que se conozca el estado actual. Estas variables aleatorias, que constituyen los llamados "estados de transición", aparecen de forma bastante definitiva y regular en el ámbito de la administración [18].

Los modelos que aplican las cadenas de Markov son una elegante e ingeniosa herramienta conceptual para describir y analizar la naturaleza de los cambios generados por el movimiento humano; en algunos casos, el modelo de Markov puede ser utilizado, también para predecir cambios futuros. En este sentido, son muy similares a los modelos de líneas de espera. En un modelo de líneas de espera, los diferentes

parámetros no se conocen con certeza, por lo que estos modelos son estocásticos como los markovianos.

Estos parámetros, como las tasas de llegada y de servicio, se describen mediante distribuciones de probabilidad. Los modelos markovianos son valiosos, tanto para los estudios de migración, en los que el objetivo puede ser calcular la dirección o tasa de migración predominante; como en los estudios de crecimiento o desarrollo de un sistema urbano, en los que el objetivo podría ser determinar qué tipos de ciudades tienden a aumentar de tamaño y qué ciudades tienden a disminuir.

En el ámbito empresarial, las cadenas de Markov se han utilizado para analizar las pautas de compra de los deudores morosos, para planificar las necesidades de personal y para analizar la sustitución de equipos. Asimismo, en el ámbito médico, las cadenas de Markov se han aplicado para predecir la evolución de una determinada enfermedad en un grupo de pacientes [26].

Los procesos de Markov se dividen en tres tipos según si sus parámetros de estado y tiempo son continuos o discretos:

1. Si el tiempo y el estado son discretos se denominan cadenas de Markov,
2. Si el tiempo y el estado son continuos se denominan procesos de Markov,
3. Si el tiempo es continuo y los estados discretos se denominan cadenas de Markov de tiempo continuo.

El proceso de Markov se caracteriza porque cuando se conoce el estado del proceso en el momento T_0 , el estado del proceso en el momento T_1 solo está relacionado con el tiempo T_0 , es decir, con el proceso anterior.

Además, se recalca que en la caracterización inicial para la validación actuarial se debe tener en cuenta la notación, la cual se la detallará más adelante a lo largo del presente documento de investigación, de acuerdo a las especificaciones dadas en la tabla 2.11.

2.5.3. Procesos semi-Markov

Un Modelo de Control Semi-Markoviano, representa un sistema dinámico que evoluciona de la siguiente manera. En el tiempo de la n -ésima época de decisión T_n , el sistema se encuentra en el estado $x_n = x$ y el controlador elige una acción $a_n = a$; generándose con ello lo que se describe a continuación:

Parámetro	Significado
$\sum_{i=1}^n$	Sumatoria de los objetos x_i indexados por i desde 1 hasta n .
X, Y	VARIABLES aleatorias a valores reales.
$E[X]$	Esperanza matemática de la variable aleatoria X .
$E[X Y]$	Esperanza matemática condicional de X dado Y .
$1_A(u)$	Función indicatriz que toma el valor 1 cuando $u \in A$ y 0 cuando $u \notin A$.
x	Edad de una persona.
e	Tipo de enfermedad para el cálculo de la prima
ω	Edad máxima que puede alcanzar cualquier persona considerada en el análisis
t	Variable que representa el tiempo, usualmente medido en años.
T	Horizonte de proyección, usualmente medido en años.
${}_{ij}p_x^j$	Probabilidad de transición del estado i al estado j en un tiempo t para un individuo de edad x .
${}_{ij}q_x^j$	Fuerza de transición inmediata desde el estado i hacia el estado j , en el tiempo t .
t_a	Tasa actuarial utilizada para el cálculo de los factores de actualización financiera-actuarial, considerando la ley de interés compuesto.
i_m	Tasa de inflación del sector salud.
v	Factor anual de actualización financiera $\frac{1}{1+i_a}$
A_t	Total de ingresos por aportes en el tiempo t .
B_t	Total de egresos por pago de beneficios en el tiempo t .
G_t	Total de egresos por gastos administrativos en el tiempo t .
V_t	Balance actuarial hasta el horizonte t .

Tabla 2.11: Simbología del modelo

1. Se incurre en un costo inmediato $D(x; a)$.
2. El sistema permanece en dicho estado $x_n = x$ durante un tiempo aleatorio no-negativo δ_{n+1} con distribución $H(\bullet|x; a)$.
3. Luego, en el tiempo $T_{n+1} := T_n + \delta_{n+1}$ ($n \in \mathbb{N}, T_0 := 0$); el sistema transita a

un nuevo estado $x_{n+1} = y$ de acuerdo a la distribución $Q(\bullet|x;a)$.

4. Se produce un costo debido al tiempo de permanencia en el estado x , cuya razón de costo es $d(x;a)$:
5. Finalmente, una vez en el estado y el proceso se repite.

Algunas aplicaciones de procesos semi-Markov son:

- *Modelos de supervivencia:* en este tipo de modelos, se estudia el tiempo hasta que ocurre un evento (por ejemplo, la muerte de un paciente) y se considera que el tiempo que se pasa en cada estado (vivo/muerto) sigue una distribución diferente.
- *Procesos de renovación:* son procesos donde los tiempos entre eventos consecutivos no son necesariamente exponenciales. Por ejemplo, si se estudia el tiempo entre visitas a una tienda, este tiempo puede depender de factores como la época del año o el día de la semana.

Ahora, la aplicación de este tipo de procesos tiene sus ventajas y desventajas las cuales se pueden mencionar las siguientes:

Ventajas

- Permiten modelar eventos recurrentes, es decir, eventos que pueden ocurrir varias veces en un estado antes de pasar al siguiente.
- Permiten modelar sistemas en los que el tiempo entre eventos no sigue una distribución específica como la exponencial.
- Pueden ser más precisos en la modelización de sistemas complejos que requieren tiempos de espera más largos.

Desventajas

- Pueden requerir más datos para su estimación, ya que la distribución del tiempo de espera debe ser estimada a partir de los datos.
- Pueden ser más complicados de modelar que los procesos Markov clásicos, ya que requieren la especificación de la distribución del tiempo de espera.
- Requieren un mayor número de parámetros que los procesos Markov clásicos, lo que puede dificultar su ajuste y estimación.

2.5.4. Transición de la cadena de Markov continua

En ocasiones, los cambios de estado de una variable pueden producirse en cualquier momento, no solo en tiempos discretos, de manera que el proceso estocástico queda representado por una sucesión de valores $X(t)$ que representan el valor de la variable X en cualquier instante de tiempo t .

De forma análoga a las cadenas de Markov discretas, si el proceso es markoviano las probabilidades de transición de un estado a otro quedan ahora definidas por:

$${}_h p_t^{ij} = P[X(t+h) = j | X(t) = i] \quad i, j = 1, 2, \dots, m.$$

Por tanto, si en el momento t la variable está en el estado i , ${}_h p_t^{ij}$ es la probabilidad de que entre t y $t+h$ se produzca un cambio al estado j , siendo h un incremento de tiempo muy pequeño y cercano a 0. En definitiva, se tratan de probabilidades de transición instantáneas.

Con esto, si las probabilidades de transición entre estados son constantes y no dependen del tiempo se habla de un proceso homogéneo; mientras que si las probabilidades de transición varía con el tiempo al pasar de un estado a otro, es un proceso no homogéneo. Ambos tipos de modelos se han aplicado en estudios genéticos, investigaciones sobre la carga viral de pacientes con VIH o variaciones de estado de personas asmáticas, entre otros. Sin embargo, la estimación de las probabilidades de transición y los gráficos de la evolución del proceso a lo largo del tiempo no son tan fáciles de obtener como en las cadenas de Markov discretas, especialmente para modelos no homogéneos.

En las últimas décadas, varios autores como en [3] o [18] han propuesto diferentes técnicas de análisis para este tipo de procesos estocásticos, entre las que destacan la resolución de ecuaciones diferenciales, algoritmos basados en datos de panel, métodos paramétricos y aproximaciones no paramétricas. Muchos de estos métodos se basan en complejas ecuaciones matemáticas que no se incorporan a los programas informáticos habituales para el análisis de datos biomédicos, por lo que en los últimos años se han desarrollado varias metodologías o funciones en distintos programas que permiten la aplicación de algunos de estos modelos con menor esfuerzo. Actualmente, tanto las cadenas de Markov en tiempo continuo como los procesos de Markov con espacio de estados continuos constituyen importantes líneas de investigación, siendo de especial interés el desarrollo de nuevos métodos de estimación y la implementación de software específico que facilite el análisis de la información.

2.5.5. Ecuación de Chapman-Kolmogorov

La ecuación de Chapman-Kolmogorov es una identidad que deben satisfacer las probabilidades de transición para cualquier proceso de Markov de r estados $(i_1, i_2, \dots, i_{r-2}, i, j)$. En el caso discreto la integral se sustituye por suma.

El proceso de Markov está determinado completamente por dos funciones:

- $P(X(t_1) = i) = {}_{t_1}p^i$: función de probabilidad o de densidad inicial sobre el espacio de estados.
- $P(X(t_n) = j | X(t_1) = i_1, X(t_2) = i_2, \dots, X(t_{n-1}) = i) = {}_{t_n}p_{t_{n-1}}^{ij}$: probabilidad o función de transición,

ya que a partir de estas dos funciones se puede obtener toda la jerarquía de probabilidad utilizando la Ley de Probabilidad Total, por ejemplo, para $t_1 < t_2 < t_3$ se tiene:

$$\begin{aligned} P(X(t_1) = i, X(t_2) = j, X(t_3) = k) &= P(X(t_3)=k | X(t_1)=i, X(t_2)=j) \cdot P(X(t_1)=i, X(t_2)=j) \\ &= P(X(t_3)=k | X(t_2)=j) \cdot [P(X(t_2)=j | X(t_1)=i) \cdot P(X(t_1)=i)] \\ &= {}_{t_1}p^i \cdot {}_{t_2}p_{t_1}^{ij} \cdot {}_{t_3}p_{t_2}^{jk} \end{aligned}$$

Cabe notar que por la definición de tiempo t_1, t_2, \dots, t_n la probabilidad ${}_{t_n}p_{t_{n-1}}^{ij}$ corresponde a $P(X(t_{n-1+1}) = j | X(t_{n-1}) = i)$.

Así, dado que las dos probabilidades vistas determinan completamente un proceso de Markov, estas no pueden ser seleccionadas arbitrariamente sino que deben verificar las siguientes identidades:

1. La ecuación de Chapman-Kolmogorov, la cual permite calcular la probabilidad de pasar de un estado a otro en cualquier momento dado, utilizando las probabilidades de transición de estados intermedios. Por ejemplo, para $t_1 < t_2 < t_3$ se tiene la siguiente forma:

$${}_{t_3}p_{t_1}^{ik} = \int {}_{t_2}p_{t_1}^{ij} \cdot {}_{t_3}p_{t_2}^{jk} dj$$

2. La relación trivial (Bayes y propiedad jerárquica).

2.5.6. Probabilidad de transición

Se trata de calcular la probabilidad de transición de un estado i a un estado j en un tiempo de t unidades, la cual la denotaremos por $P(X(t) = j | X(0) = i) = {}_t p^{ij}$, a partir de las tasas de transición μ . Para ello se usa la ecuación de Chapman-Kolmogorov de donde se calcula el siguiente límite:

$$\lim_{h \rightarrow 0} \frac{{}_h p_t^{ij} - {}_t p^{ij}}{h} = \left({}_t p^{ij} \right)'$$

donde

$${}_h p_t^{ij} = \sum_k {}_h p^{ik} {}_t p^{kj}$$

Por definición de las tasas de transición:

$$\mu^{ij} = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{{}_h p^{ij}}{h}$$

para $i = j$ y operando se obtiene la siguiente relación:

$$\left({}_t p^{ij} \right)' = \sum_{k \neq i} \mu^{ik} {}_t p^{kj} - \lambda_i {}_t p^{ij}$$

Con esto, se define la matriz Q con los elementos μ^{ij} a la cual se la denomina generador infinitesimal de la cadena. La suma de las filas de Q es 0, ya que $\lambda_i = \sum_{j \neq i} \mu^{ik}$.

Los elementos fuera de la diagonal son no negativos y los de la diagonal son no positivos.

2.6. Parámetros y datos públicos para el modelo

2.6.1. Tasa de mortalidad

La tasa de mortalidad es la proporción de muertes registradas, con respecto al número total de individuos que habitan una población. También se conoce como tasa de mortalidad, generalmente se expresa en términos porcentuales, pero también puede expresarse como el número de muertes por cada mil habitantes de una población, ciudad o país en un año determinado. La tasa de mortalidad es un indicador demográfico, ya que gracias a su cálculo se puede razonar sobre las causas de las muertes, como el estado de salud de las personas, fenómenos sociales violentos e incluso cuestiones de riesgo ambiental; ya que las personas mueren por causas

naturales, accidentes, homicidios, fenómenos climáticos, etc. [1]. Los datos sobre las tasas por 1.000 habitantes se encuentran en la Tabla 2.12

Años	General	Masculina	Femenina
2000	4,502	5,090	3,912
2001	4,309	4,868	3,747
2002	4,242	4,693	3,768
2003	4,018	4,452	3,563
2004	4,038	4,514	3,541
2005	4,141	4,768	3,518
2006	4,149	4,712	3,590
2007	4,081	4,681	3,488
2008	4,147	4,798	3,504
2009	4,052	4,629	3,482
2010	4,109	4,688	3,539
2011	4,081	4,660	3,512
2012	4,092	4,591	3,602
2013	4,070	4,549	3,600
2014	3,980	4,439	3,529
2015	4,017	4,457	3,585
2016	4,132	4,567	3,706
2017	4,181	4,640	3,731
2018	4,171	4,633	3,719
2019	4,311	4,821	3,811
2020	6,597	7,848	5,371

Tabla 2.12: Tasa de mortalidad por 1.000 habitantes
Fuente: [14]. **Elaboración:** Autora

2.6.2. Fuentes de información

Medical Information System MIS AS400

Es una herramienta desarrollada para gestionar la atención del paciente desde su ingreso y posteriormente el registro de la atención médica, ya sea en consulta externa, hospitalización y/o emergencia, con el apoyo de los servicios de apoyo terapéutico como farmacia, laboratorio clínico/patológico, imagenología, en los establecimientos de salud de la Red Interna del IESS.

Para la generación de las bases de datos se considera la información registrada en el Sistema de Información Médica AS400, a través del proceso de facturación que es ejecutado por la Coordinación de Informática del Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, que administra el SGI. AS400. Una vez descargado el archivo plano,

se envía a la Coordinación Nacional de Estadística dentro de los primeros 15 días de cada mes a través de una ubicación de red proporcionada por los administradores del AS400[11].

El sistema AS-400 utiliza un sistema operativo basado en objetos y en las denominadas librerías, este sistema se denomina OS/400 cuya base de datos es DBS/400, esta base de datos proporciona soporte a los datos de las aplicaciones, dando como resultado en un sistema completo y potente, IBM también proporciona soporte a otros sistemas operativos que son: GNU/Linux, AIX, Windows, la principal ventaja del AS-400 es la incorporación del control de tareas para lograr un mejor rendimiento del sistema[25].

Sistema Operativo de Auditoría Médica, SOAM

Es un sistema operativo de auditoría médica que se implementó desde 2011 con el fin de reducir el tiempo y mejorar la calidad en el proceso de auditoría médica.

El proyecto de desarrollo del Sistema Operativo de Auditoría Médica (SOAM) fue desarrollado por la Unidad de Gestión Informática (UGI) del Seguro General de Salud Individual y Familiar (SGSIF), a partir de la experiencia adquirida en el desarrollo de la primera versión de la misma aplicación (SOAM), y debido a la falta de resultados en la automatización de los procesos del área de salud, por la Dirección de Desarrollo Institucional (DDI).

Sistema PROSICK

Es una plataforma digital donde los prestadores detallan las asistencias efectuadas. Además, este sistema mantiene los siguientes módulos integrados: Auditoría Médica y liquidaciones ambulatorias y hospitalarias y Estadísticas e informe de siniestralidad.

Capítulo 3

Marco metodológico

En el presente capítulo se explica la metodología a utilizar con la información disponible para el conjunto de estados por Enfermedad Crítica.

Los modelos multiestados proporcionan una base sólida para la fijación de precios y la valoración de contratos de seguros complejos, pues cada estado corresponde a un evento que determina los flujos de efectivo (primas y beneficios). Como parte de notación, en el campo actuarial se suele usar x para expresar la edad de una persona y la probabilidad de que el individuo de edad x viva t años se denota por ${}_t p_x$. Así entonces, la probabilidad de transición para la Cadena de Markov continua con un espacio de estado discreto se la define como:

$$P(X(x+t) = j | X(x) = i) = {}_t p_x^{ij}, \quad i, j \in \{1, 2, \dots, n\}$$

Ahora, el problema de investigación en torno a lo ya mencionado se basa en el esquema de la Figura 3.1.

Con esto, se trata por ejemplo, de encontrar el pago de la prima de un individuo que permanece en el estado 1 (Sano) pero que el beneficio económico lo obtiene cuando hace la transición al estado 4 (fallecimiento por otras causas). Siguiendo el esquema de la Figura 3.1, se observa que el estado 1 se divide en dos estados transitorios que, por ejemplo, correspondería a la ocurrencia de varios estados médicos como condiciones de CI; de manera similar, los estados de fallecimiento se pueden dividir en dos estados absorbentes como el fallecimiento por CI y el fallecimiento por otras causas.

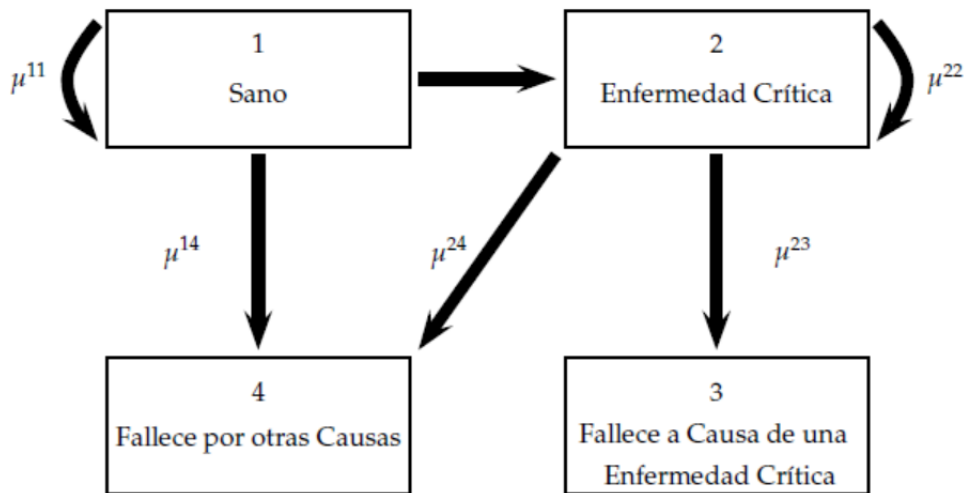


Figura 3.1: Conjunto de estados de transición para alguna Enfermedad Crítica.

3.1. Probabilidad de transición

Así, en base al espacio de estado de la cadena de Markov planteada las probabilidades de transición denotan lo siguiente:

- ${}_t p_x^{11}$: probabilidad de que el individuo de edad x esté actualmente sano y a la edad $x + t$ todavía esté sano.
- ${}_t p_x^{12}$: probabilidad de que un individuo de edad x esté actualmente sano y a la edad $x + t$ pase a estado crítico.
- ${}_t p_x^{14}$: probabilidad de que un individuo de edad x esté actualmente sano y a la edad $x + t$ fallezca por otras causas.
- ${}_t p_x^{22}$: probabilidad de que el individuo de edad x se encuentre actualmente con una enfermedad de estado crítico y a la edad de $x + t$ todavía se encuentre con dicha enfermedad en el mismo estado.
- ${}_t p_x^{23}$: probabilidad de que un individuo de edad x esté actualmente con una enfermedad de estado crítico y fallezca a la edad $x + t$ debido al estado crítico de la enfermedad.
- ${}_t p_x^{24}$: probabilidad de que un individuo de edad x esté actualmente con una enfermedad de estado crítico y a la edad $x + t$ fallezca por otras causas.

Cabe notar e intuir que si un individuo se encuentra en el estado 3 o 4 (fallecimiento) el mismo no puede regresar al estado 1 (sano) o 2; es decir, los estados 3 y 4

son absorbentes ya que siguen la siguiente condición:

$${}_t p_x^{3j} = 0 \quad j \in \{1, 2, 4\} \quad \text{y} \quad {}_t p_x^{4k} = 0 \quad k \in \{1, 2, 3\}$$

por consiguiente, se tiene que:

$${}_t p_x^{33} = {}_t p_x^{44} = 1 \quad \forall t$$

Además, es importante especificar que para todos los estados i y j y para todas las edades $x > 0$, las probabilidades ${}_t p_x^{ij}$ son funciones diferenciables en t .

3.1.1. Intensidad de Transición

Con el fin de medir el cambio de un estado a otro para cuantificar el número aleatorio de entradas y salidas de cada estado, es necesario determinar las intensidades de transición (tasas μ_x^{ij}) entre cada par. A esta intensidad también se le suele relacionar como la velocidad de los cambios, [31].

Por la definición de los datos que se disponen, a estas intensidades las estimaremos en base a las propiedades de Markov.

3.1.2. Ecuaciones de Chapman-Kolmogorov

Las correspondientes probabilidades de transición en una cadena de Markov son conocidas como soluciones de la ecuación de Chapman-Kolmogorov; para el caso continuo con un espacio de estados discreto, la ecuación de Chapman-Kolmogorov se define como, [24]:

$${}_{t+h} p_x^{ij} = \sum_{k=1}^n {}_t p_x^{ik} \cdot {}_h p_{x+t}^{kj} \quad i, j \in \{1, 2, \dots, n\} \quad (3.1)$$

Así, gracias a esta ecuación se tiene el siguiente resultado importante [6], el cual proporciona el conjunto de ecuaciones para el proceso de Markov:

$$\frac{d}{dt} {}_t p_x^{ij} = \sum_{k=0, k \neq j}^n \left({}_t p_x^{ik} \cdot \mu_{x+t}^{kj} \right) - {}_t p_x^{ij} \sum_{k=0, k \neq j}^n \mu_{x+t}^{jk} \quad (3.2)$$

Con esto, se puede determinar una expresión de las ecuaciones para cada par de estados, por ejemplo, para las probabilidades de transición del estado 1 (Sano) al 2

(Enfermo en estado crítico). Entonces de la ecuación 3.2 se tiene:

- Para $i = 1$ y $j = 1$

$$\begin{aligned}\frac{d}{dt} {}_t p_x^{11} &= \sum_{k=1, k \neq 1}^4 \left({}_t p_x^{1k} \mu_{x+t}^{k1} \right) - {}_t p_x^{11} \sum_{k=1, k \neq 1}^4 \mu_{x+t}^{1k} \\ &= {}_t p_x^{12} \mu_{x+t}^{21} + {}_t p_x^{13} \mu_{x+t}^{31} + {}_t p_x^{14} \mu_{x+t}^{41} - {}_t p_x^{11} \left(\mu_{x+t}^{12} + \mu_{x+t}^{13} + \mu_{x+t}^{14} \right)\end{aligned}$$

Así, notemos que por el planteamiento del problema, por ejemplo, no existe una transición entre el estado 3 y 1, pues una persona que Falleció por Estado Crítico no puede regresar a que la persona esté Sana; de manera similar se puede apreciar para las transiciones entre los estados 2 a 1 (bajo el supuesto de que una persona no se recupera); de 4 a 1 y de 1 a 3 (pues primero se detecta la enfermedad, estado 2). Por tanto, se sigue que:

$$\frac{d}{dt} {}_t p_x^{11} = -{}_t p_x^{11} \left(\mu_{x+t}^{12} + \mu_{x+t}^{14} \right).$$

- Para $i = 1$ y $j = 2$

$$\begin{aligned}\frac{d}{dt} {}_t p_x^{12} &= \sum_{k=1, k \neq 2}^4 \left({}_t p_x^{1k} \mu_{x+t}^{k2} \right) - {}_t p_x^{12} \sum_{k=1, k \neq 2}^4 \mu_{x+t}^{2k} \\ &= {}_t p_x^{11} \mu_{x+t}^{12} + {}_t p_x^{13} \mu_{x+t}^{32} + {}_t p_x^{14} \mu_{x+t}^{42} - {}_t p_x^{12} \left(\mu_{x+t}^{21} + \mu_{x+t}^{23} + \mu_{x+t}^{24} \right) \\ &= {}_t p_x^{11} \mu_{x+t}^{12} - {}_t p_x^{12} \left(\mu_{x+t}^{23} + \mu_{x+t}^{24} \right).\end{aligned}$$

- Para $i = 1$ y $j = 4$

$$\begin{aligned}\frac{d}{dt} {}_t p_x^{14} &= \sum_{k=1, k \neq 4}^4 \left({}_t p_x^{1k} \mu_{x+t}^{k4} \right) - {}_t p_x^{14} \sum_{k=1, k \neq 4}^4 \mu_{x+t}^{4k} \\ &= {}_t p_x^{11} \mu_{x+t}^{14} + {}_t p_x^{12} \mu_{x+t}^{24} + {}_t p_x^{13} \mu_{x+t}^{34} - {}_t p_x^{14} \left(\mu_{x+t}^{41} + \mu_{x+t}^{42} + \mu_{x+t}^{43} \right) \\ &= {}_t p_x^{11} \mu_{x+t}^{14} + {}_t p_x^{12} \mu_{x+t}^{24}\end{aligned}$$

Así, de manera análoga se pueden calcular las demás ecuaciones:

$$\begin{aligned}\frac{d}{dt} {}_t p_x^{22} &= -{}_t p_x^{22} \left(\mu_{x+t}^{23} + \mu_{x+t}^{24} \right) \\ \frac{d}{dt} {}_t p_x^{23} &= {}_t p_x^{22} \mu_{x+t}^{23} \\ \frac{d}{dt} {}_t p_x^{24} &= {}_t p_x^{22} \mu_{x+t}^{24}.\end{aligned}$$

Ahora, para el cálculo de las intensidades, en el presente trabajo estimaremos las derivadas de las probabilidades de transición considerando la diferencia, cambio o variación de la probabilidad de transición entre t y $t + 1$ años; por lo tanto, con dicha estimación, y por la forma en que definiremos el cálculo de la prima, podemos determinar todas las intensidades cuyo estado de salida es 1 (Sano) y 2 (Enfermedad en Estado Crítico). Utilizando $\frac{d}{dt}t p_x^{24}$, $\frac{d}{dt}t p_x^{14}$ y $\frac{d}{dt}t p_x^{11}$, tenemos lo siguiente:

$$\mu_{x+t}^{24} = \frac{\frac{d}{dt}t p_x^{24}}{t p_x^{22}} \quad (3.3)$$

$$\mu_{x+t}^{14} = \frac{\frac{d}{dt}t p_x^{14} - t p_x^{12} \mu_{x+t}^{24}}{t p_x^{11}} \quad (3.4)$$

$$\mu_{x+t}^{12} = -\frac{\frac{d}{dt}t p_x^{11}}{t p_x^{11}} - \mu_{x+t}^{14} \quad (3.5)$$

3.2. Prima por enfermedad crítica

La prima es un pago o una serie de pagos por parte de los asegurados (individuos) para que un contrato de póliza de seguro continúe protegiendo a los mismos. Estos pagos se calculan en base al valor actual. En este estudio se utiliza la prima única neta para que los pagos se realicen una vez y los costos adicionales para la elaboración de pólizas no se incluyan en el cálculo. En general, el cálculo de una prima de seguro se basa en tres cosas: probabilidad de muerte, tasas de interés y costos. Sin embargo, debido a que lo que se utiliza es la prima neta única, no se incluye el monto de los costos adicionales para la formulación de pólizas.

El seguro de enfermedades críticas generalmente toma la forma de una cláusula adicional que se ofrece en combinación con una póliza de vida. Se debe hacer una distinción básica entre los dos tipos de seguro CI. La primera y más común forma de cobertura proporciona solo un pago anticipado sobre la suma asegurada de una póliza subyacente. La segunda prevé beneficios adicionales sin afectar la suma vitalicia asegurada de la póliza principal (beneficio adicional), [9].

Con esto, utilizamos las siguientes formulaciones para el cálculo de la prima pura.

1. Política independiente de duración con una duración de N años, es decir, prima solo por la muerte ya que no se ha realizado pagos por el tratamiento de la

enfermedad. En el caso de una reclamación de CI, se debe un beneficio adicional a que el seguro principal subyacente continúe inalterado.

$$\bar{A}_{x:\overline{n}|}^{(PI)} = \int_0^N {}_t p_x^{12} \cdot \mu_{x+t}^{12} \cdot v^t dt \quad (3.6)$$

con $v = \frac{1}{1+i}$ el factor de descuento financiero.

2. El Beneficio de Aceleración por Enfermedad Crítica proporciona una combinación de un beneficio por fallecimiento y una cobertura por enfermedad crítica. El pago se realiza cuando el titular de la póliza muere o se le diagnostica una de las condiciones especificadas en la póliza. Por ejemplo, cuando el beneficio de CI se adjunta a un seguro de vida completo o mixto, un reclamo de CI simplemente adelantaría el pago que finalmente se habría realizado en caso de fallecimiento.

$$\bar{A}_{x:\overline{n}|}^{(BA)} = \int_0^N {}_t p_x^{11} \cdot \mu_{x+t}^{12} \cdot v^t dt + \int_0^N {}_t p_x^{11} \cdot \mu_{x+t}^{14} \cdot v^t dt \quad (3.7)$$

Se puede notar que el primer sumando es el de la ecuación 3.6, por lo cual, el modelo de seguro de Enfermedad Crítica con Beneficio de Aceleración es un seguro Independiente con cálculo de seguro de vida adicional.

Capítulo 4

Análisis de resultados

En este capítulo se explica de forma detallada las estimaciones y cálculos empleados para el problema planteado y, así, la prima pura del seguro.

4.1. Información recopilada

De la página oficial del Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social (INEC) se obtuvo el Registro Estadístico de Defunciones Generales con la información hasta el año 2020. De esta información se extrajo el total de muertes por edad, de 1 a 100 años, del año 2019 y 2020. Por otra parte, también se recopiló la información de la proyección de la población por edades del año 2019 y 2020.

Así, considerando los años 2019 y 2020 hacemos una proyección para año 2021 y determinar el total de población y muertos por edad, esto último puesto que no se han encontrado datos actualizados para dicho año. Esta proyección se la realiza considerando dos veces el valor del año más actual en cuanto a información (2020) y restando la información del año anterior. Los datos de los años a considerar se presentan en el Anexo A.1.

Ahora, puesto que el proyecto analiza la prima para tres tipos distintos de enfermedades catastróficas: Cáncer (C), Tumor cerebral TC e Insuficiencia Renal Crónica IRC , vamos a estimar el número de fallecidos de cada enfermedad por cada edad en cada año; para este fin, nos basamos en varios estudios y reportes, por ejemplo, en [17] se menciona que 18.000 personas (en referencia al 2022) mueren relacionadas con el cáncer en Ecuador, siendo el principal el cáncer de mama seguido por el de próstata, estómago y tiroides. Así, con este indicador del número de muertes por la enfermedad, que lo notaremos por $m_{i,e}$, se calcula el número de muertes por la

enfermedad para cada año $i \in \{2019, 2020, 2021\}$, es decir,

$$\frac{\text{número de muertes en la edad } j}{\text{total de muertes en el año } i} \cdot m_{i,e}$$

con $j \in \{1, 2, \dots, 100\}$ y $e \in \{C, TC, IRC\}$

Entonces, de varios reportes, se tienen los siguientes indicadores:

$m_{i,e}$	C	TC	IRC
2019	13685	527	4214
2020	15123	580	4636
2021	16562	638	5100

Tabla 4.1: Indicador de muertes por enfermedad

Así, con estos indicadores, estimamos el número de fallecimientos por enfermedad para los años 2019, 2020 y 2021. Esta información se presenta en el Anexo A.2.

4.2. Estimación de las probabilidades de transición

Una vez consolidada la información con el total de la población, total de muertes y total de muertes por la enfermedad para los años más actuales 2019, 2020 y 2021, determinamos la matriz con las probabilidades de transición a partir de la intuición y el comportamiento de los estados.

Estado de salida $i = 1$

- p_x^{11} . Para determinar la probabilidad de que un individuo de edad x que está en el estado 1 en el año 2019 y que para la actualidad (año 2021) sigue sano (vivo), lo determinamos por la siguiente expresión:

$$p_x^{11} = \frac{\text{No. Sanos en 2020 de edad } (x + 1) - \text{No. Muertes por la enfermedad en 2021 de edad } (x + 2)}{\text{No. Sanos en 2019 de edad } x}$$

Así, por ejemplo, para el total de individuos de 20 años sanos de 2019, se determinan aquellos que sobrevivieron a la muerte por la enfermedad del 2020 al 2021. Obviamente, cabe notar que para el 2020 se consideran los individuos de 21 años, pues a transcurrido un año de vida y de manera similar para el 2021.

- p_x^{12} . Que un individuo de edad x pase del estado 1 al estado 2, lo relacionamos como aquellos individuos que han fallecido por la enfermedad en 2021

(el último periodo considerado).

$$p_x^{12} = \frac{\text{No. Muertos por la enfermedad en 2021 de edad } x + 2}{\text{No. Sanos en 2019 de edad } x}.$$

- p_x^{13} . Como el periodo más actual es 2021, para determinar la probabilidad de que un individuo sano en 2019 pase al estado de fallecimiento por la enfermedad, vamos a considerar el total que fallecieron por la enfermedad en 2020, es decir, que no sobrevivieron hasta el periodo actual.

$$p_x^{13} = \frac{\text{No. Muertes por la enfermedad en 2020 de edad } x + 1}{\text{No. Sanos en 2019 de edad } x}.$$

- p_x^{14} . De igual forma que en el anterior caso, consideramos los individuos que no se han registrado en 2021, es decir, consideramos el año 2020 el total de muertos que no han fallecido por la enfermedad crítica.

$$p_x^{14} = \frac{\text{No. Muertes en 2020 de edad } (x + 1) - \text{No. Muertes por la enfermedad en 2020 de edad } (x + 1)}{\text{No. Sanos en 2019 de edad } x}.$$

Estado de salida $i = 2$

- p_x^{23} . Para estimar la probabilidad consideramos una tasa de las personas que fallecieron por la enfermedad en el 2020, interpretándola como las personas que estaban con la enfermedad, para luego multiplicarla por el total de muertes por la enfermedad en la actualidad (2021).

$$p_x^{23} = \frac{\left[\begin{array}{c} \text{No. Muertes por la enfermedad} \\ \text{en 2021 de edad } (x + 2) \end{array} \right] \cdot \left[\begin{array}{c} \text{No. Muertes por la enfermedad} \\ \text{en 2020 de edad } (x + 1) \end{array} \right]}{\text{No. Sanos en 2019 de edad } x}$$

- p_x^{24} . De manera análoga, se determina una tasa de las personas que no han fallecido por la enfermedad y multiplicarla con los fallecidos por la enfermedad en la actualidad.

$$p_x^{24} = \frac{\left[\begin{array}{c} \text{No. Muertes por la enfermedad} \\ \text{en 2021 de edad } (x + 2) \end{array} \right] \cdot \left[\text{No. Muertes en 2020 de edad } (x + 1) - \text{No. Muertes por la enfermedad en 2020 de edad } (x + 1) \right]}{\text{No. Sanos en 2019 de edad } x}$$

- p_x^{22} . Por propiedad de la matriz de transición, se tiene:

$$p_x^{22} = 1 - p_x^{23} - p_x^{24}.$$

Estado de salida $i = 3$ e $i = 4$

- Como ya se había expuesto en el capítulo anterior, con estos estados no hay retorno a algún otro.

$$p_x^{33} = 1$$

$$p_x^{44} = 1.$$

Con estas estimaciones de las probabilidades y aprovechando la información disponible, se determina la matriz de transición $P_{x,e}$ del problema de la Figura 3.1. Así, por ejemplo, para individuos que tengan una edad de 20 años considerando el cáncer como enfermedad crítica, la matriz de transición es:

$$P_{20,C} = \begin{matrix} & \begin{matrix} \text{Sano} & \text{Estado Crítico} & \text{M. Enfermedad} & \text{M. Otra Causa} \end{matrix} \\ \begin{matrix} \text{Sano} \\ \text{Estado Crítico} \\ \text{M. Enfermedad} \\ \text{M. Otra Causa} \end{matrix} & \begin{pmatrix} 0,99720 & 0,00012 & 0,00013 & 0,00087 \\ 0 & 0,96408 & 0,00478 & 0,03114 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

4.2.1. Duración del seguro

Ahora, puesto que el seguro consta de una duración de t años, necesitamos determinar la probabilidad de transición a un tiempo t ; para esto, recordemos que esta probabilidad viene dada por el elemento (i, j) de la matriz de transición de un año transcurrido P_x , es decir, necesitamos calcular P_x^t para determinar que un individuo pase del estado i al estado j en t años.

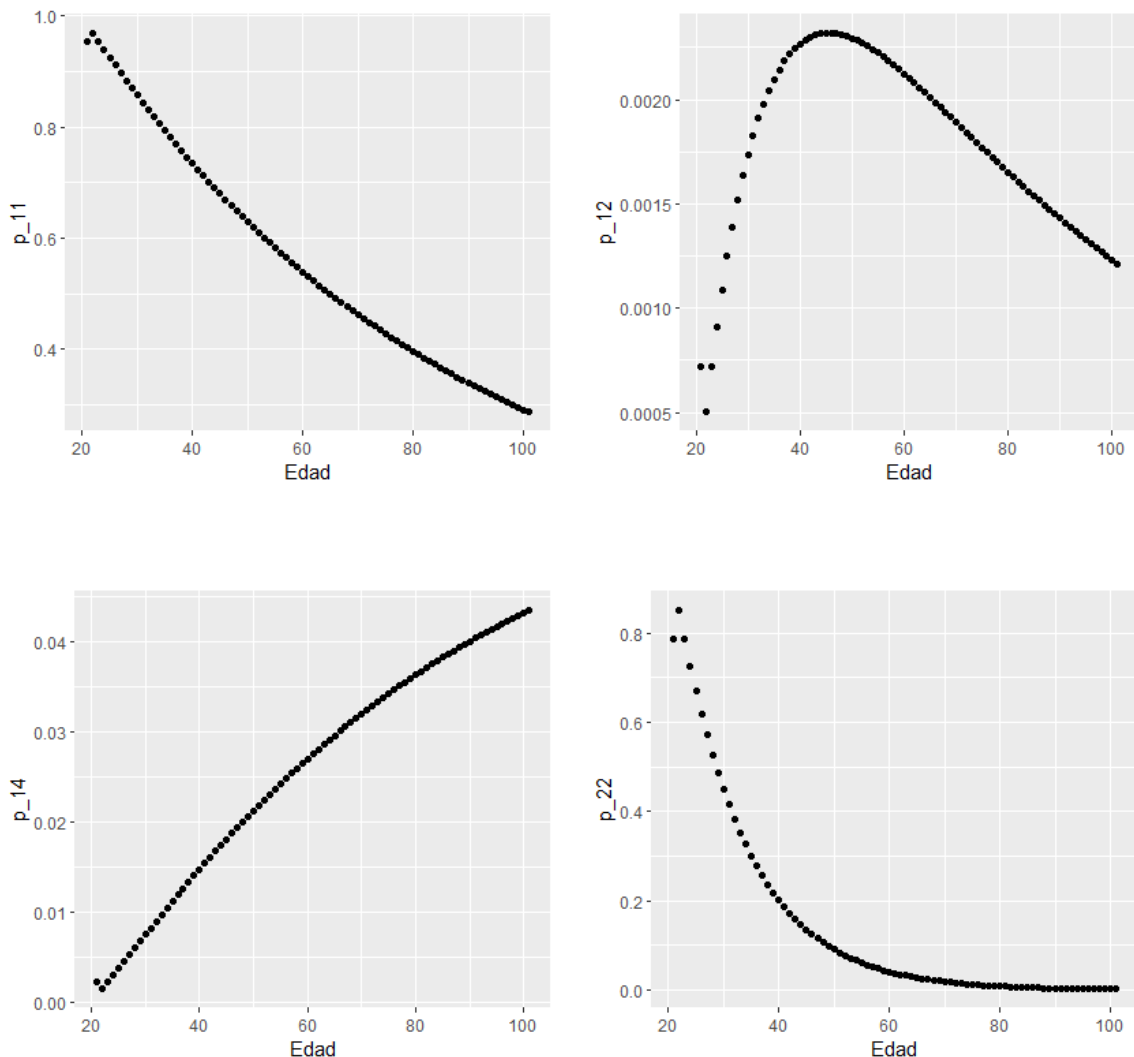
Entonces, por ejemplo, las transiciones a 10 años para una persona de 20 años de edad considerando el cáncer como CI se lo puede determinar elevando a 10 la matriz anterior, por lo cual se tendría que:

$$P_{20,C}^{10} = \begin{pmatrix} 0,97239 & 0,00098 & 0,00133 & 0,00869 \\ 0 & 0,69364 & 0,04078 & 0,26558 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

de donde se puede observar que la probabilidad de que una persona que estaba en estado crítico (estado 2) y luego fallezca por otras causas (estado 4) dentro de 10 años es más alta.

4.2.2. Cálculo de las intensidades

Por las expresiones (3.3), (3.4) y (3.5), vamos a utilizar las probabilidades de transición indicadas en las mismas. No obstante, para el cálculo de la prima vamos a integrar ("sumar") durante todo el período de estudio, es decir, por ejemplo, de un individuo de 20 años se consideran todas las probabilidades de transición hasta los t años de transición que tenga el individuo, en este estudio, se considera hasta que el individuo cumpla los 100 años de edad. Así, por ejemplo, de un individuo de 20 años y considerando el cáncer como CI, en las siguientes gráficas se presentan las probabilidades de transición para $t \in \{1, 2, \dots, 80\}$.



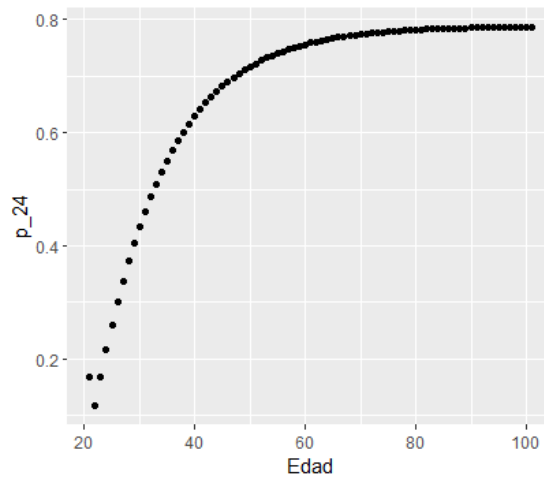


Figura 4.1: Probabilidades de transición a t años para personas de 20 años y considerando Cáncer como CI.

Entonces, se puede ver que para este ejemplo, las probabilidades de transición de Sano a Sano para t años es decreciente. Las probabilidades de sano a Estado Crítico aumentan transcurrido hasta un periodo de $t = 20$ años, aproximadamente y luego decrece. Así también, las probabilidades de estar Sano y fallecer por otra causa tiene una tendencia creciente.

Con estas probabilidades estimadas que tienen un comportamiento continuo, estimamos los valores de las derivadas de las probabilidades de transición para cada punto $x + t$, para esto utilizamos la aproximación de la derivada numérica, es decir,

$$f'(x_0) = \frac{f(x_0 + h) - f(x_0)}{h}$$

con h el salto de los valores. De donde en nuestro caso, consideramos $h = 1$.

Observación: puesto que se pierde el valor de la aproximación en el último punto de la derivada, a este valor se le asigna el estimado final.

Por consiguiente, una vez que hemos determinado las probabilidades de transición para una edad x para cada t años, estimamos las intensidades según las expresiones ya vistas, para cada punto $x + t$.

4.3. Cálculo de la Prima

Finalmente, utilizando las expresiones (3.6) y (3.7) para el cálculo de la prima de las dos formulaciones vistas. Para este fin, las integrales expuestas se las aproximaron a través de integración numérica, en particular, utilizando el método del

trapecio el cual se lo formula por:

$$\int_a^b f(x) dx \approx (b - a) \cdot \frac{f(a) + f(b)}{2}$$

En nuestro caso, los saltos están dados por 1 ($b - a = 1$) pues consideramos los puntos $x + t$ de los vectores de probabilidades de transición e intensidades de transición.

Así, considerando la tasa de interés del $i = 6,25\%$ que se utiliza en varios estudios actuariales del IESS, un individuo de 20 años de edad en la actualidad y, asumiendo que para los dos tipos de seguros la cuantía para el cáncer es de \$1'500.000, para IRC es de \$1'250.000 y para el Tumor Cerebral es de \$1'000.000, en la Tabla 4.2 se tienen las primas puras por tiempo de duración según la enfermedad crítica del primer tipo de seguro.

	Cáncer	IRC	Tumor Cerebral
5	0.9201	0.2186	0.0154
10	7.0555	1.7436	0.1251
15	14.4413	3.6893	0.2685
20	21.6146	5.6901	0.4196
25	27.9422	7.5554	0.5640

Tabla 4.2: Primas Puras del primer seguro para individuos de 20 años

Así también, en la Tabla 4.3 se muestran las primas puras pero del seguro de la combinación de un beneficio por fallecimiento y una cobertura por enfermedad crítica.

	Cáncer	IRC	Tumor Cerebral
5	10480.50	8482.15	6705.19
10	23606.62	19109.19	15107.11
15	33165.62	26851.41	21229.22
20	40126.89	32491.91	25690.14
25	45196.39	36601.23	28940.63

Tabla 4.3: Primas Puras del segundo seguro para individuos de 20 años

En consecuencia, como es de esperarse, entre más duración sea el seguro la prima será mayor debido al tiempo de cobertura del mismo; además, haciendo una breve comparación, la prima para la enfermedad de Cáncer es más alta que las otras dos, seguido por la de IRC y luego de Tumor Cerebral, esto puede darse por los tratamientos y repercusiones de cada enfermedad. De otro lado, las primas del segundo

seguro son más altas puesto que aquí también consta un costo de cobertura por la enfermedad crítica, lo que el primer seguro no lo hace.

En la Figura 4.2 se observa el crecimiento de las primas puras respecto a los años de duración del seguro, de donde se corrobora que entre más duración sea el seguro mayor será la prima y mucho más para el segundo seguro.

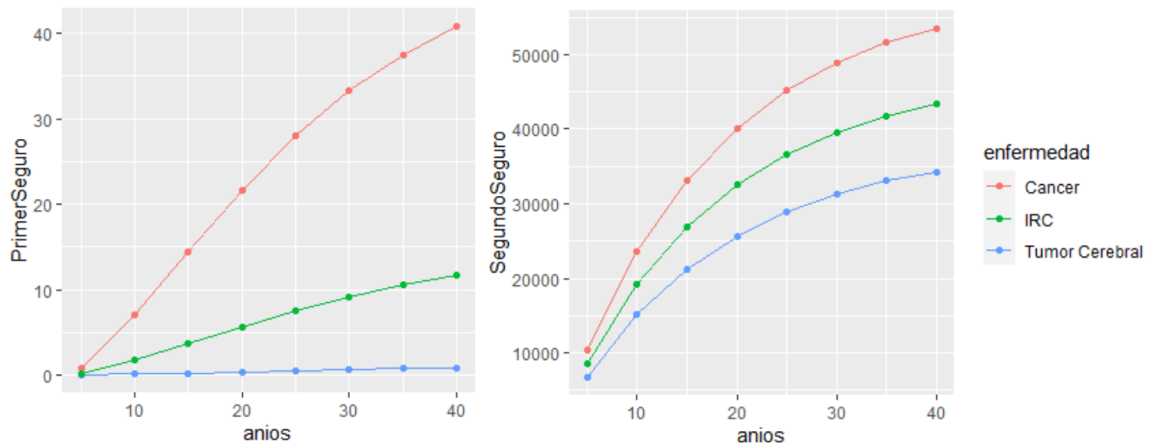


Figura 4.2: Evolución de la Prima Pura para un individuo de 20 años respecto a la duración del seguro.

Adicionalmente, en la Tabla 4.4 se encuentran las primas del primer seguro a un interés del 6,25 % para los tres tipos de enfermedad en tiempos de cobertura de 5, 10, 15, 20 y 25 años de un individuo de 50 años de edad, es decir, de una persona 30 años mayor que lo visto en las tablas anteriores. En la Tabla 4.5, de otro lado, se presentan las primas del segundo seguro con las mismas características descritas, asumiendo las cuantías antes mencionadas para cada enfermedad.

	Cáncer	IRC	Tumor Cerebral
5	9.2023	1.5443	0.2274
10	13.0117	8.3102	1.7480
15	15.7693	13.9571	3.5891
20	18.2941	18.1747	5.3868
25	21.2526	21.2562	6.9805

Tabla 4.4: Primas Puras del primer seguro para individuos de 50 años

Se puede observar, de igual manera, que la prima para el seguro de Cáncer es más alta que la IRC y de Tumor Cerebral. Además, cabe notar que estos seguros serían más costosos que lo visto para individuos de 20 años, debido a la edad avanzada de 50 años, ya que requerirían de un tratamiento con más cuidados (si se accede al segundo seguro) y debido a que la probabilidad de fallecimiento es más alta.

	Cáncer	IRC	Tumor Cerebral
5	14947.72	39488.70	7756.72
10	33571.52	10454.70	17458.47
15	47052.67	23517.09	24512.72
20	56811.22	33003.26	29641.94
25	63875.10	39892.30	33371.47

Tabla 4.5: Primas Puras del segundo seguro para individuos de 50 años

De igual manera, en la Figura 4.3 se comprueba la evolución de la prima, de donde se observa que los costos son cada vez más elevados en comparación a las primas de un individuo de 20 años. Es interesante notar que, si la duración de IRC es hasta que el individuo llegue a los 70 años (20 años de cobertura) la prima en el primer seguro llega a igualarse con la de cáncer, esto puede darse a la situación médica de un paciente de la tercera edad a ser más propenso a padecer IRC.

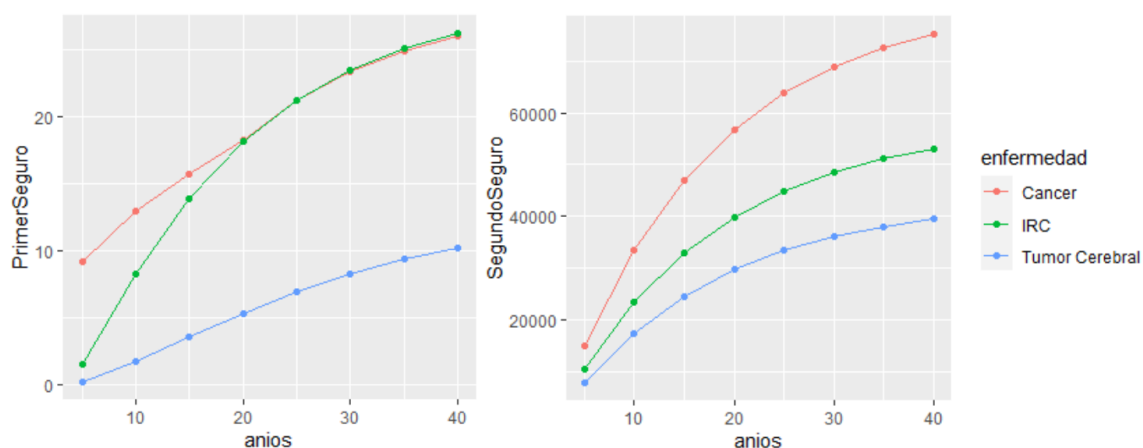


Figura 4.3: Evolución de la Prima Pura para un individuo de 50 años respecto a la duración del seguro.

De otro lado, considerando el segundo seguro, pues se adiciona un beneficio de tratamiento, en la Figura 4.4 se observa cómo crece de igual forma la prima para los tres tipos de enfermedades, respecto a individuos de distintas edades que acceden al seguro, asumiendo que todos tienen una cobertura de 10 años.

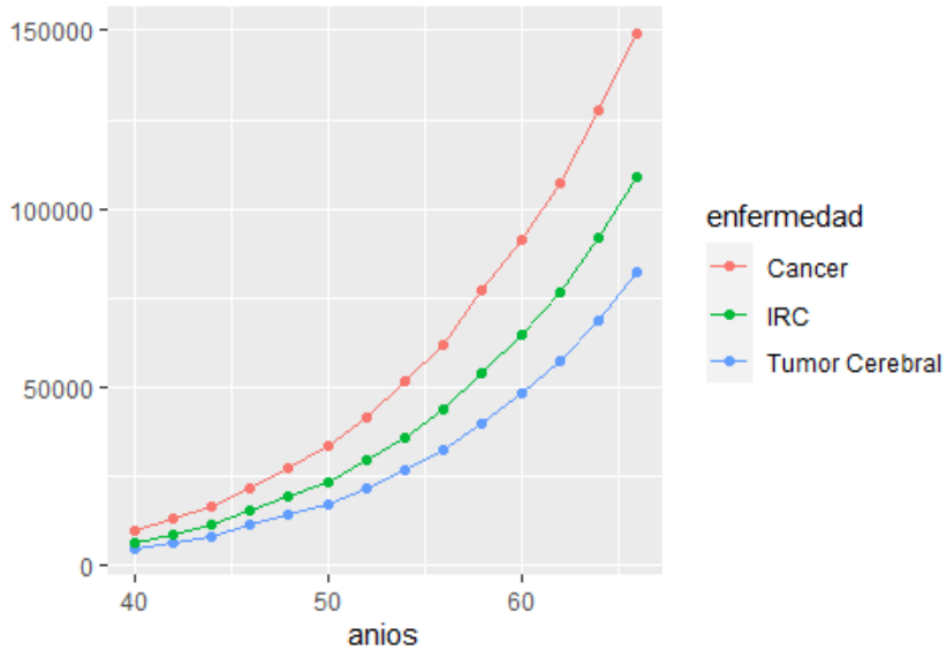


Figura 4.4: Evolución de la Prima Pura respecto a la edad de individuos.

Con esto, se verifica que entre más edad tenga un individuo resulta más caro el pago de la prima debido a que hay más riesgo de que la persona padezca cierta enfermedad.

Finalmente, se plantea un escenario donde se varía la tasa de interés considerando el segundo seguro, un individuo de 20 años con una cobertura de 20 años para los tres tipos de enfermedades. Las tasas de interés consideradas fueron del 4% al 10% en saltos de 0,5. En la Figura 4.5 se observa la evolución de las primas.

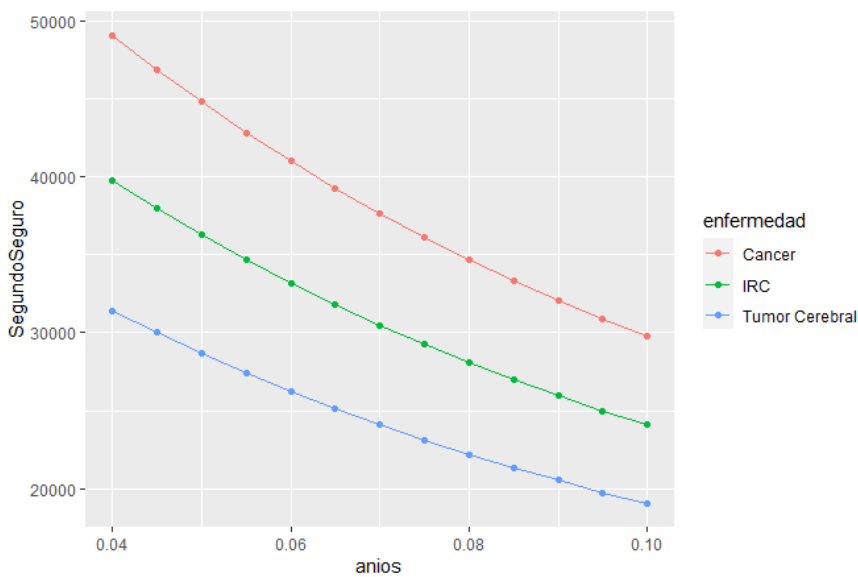


Figura 4.5: Evolución de la Prima Pura respecto a la tasa de interés.

Como ya se ha observado, las primas calculadas para el Cáncer son más costosas seguido de la IRC y luego la de Tumor Cerebral. Entre más alta sea la tasa de interés, la prima a cobrar es menor para cualquier enfermedad, esto puede darse debido a que si la tasa de interés es alta, las compañías de seguros pueden generar más ingresos a partir de sus inversiones y, por lo tanto, pueden cobrar primas más bajas para mantener una rentabilidad adecuada. Por el contrario, si la tasa de interés es baja, las compañías de seguros deben cobrar primas más altas para cubrir el costo de las reclamaciones y obtener una rentabilidad adecuada. Así también, por el caso antes visto, se deduce que entre más edad tenga el individuo las primas aumentarán pero entre más alta sea la tasa de interés las primas irán disminuyendo.

Capítulo 5

Conclusiones y recomendaciones

De todo lo expuesto en el presente proyecto se presentan las siguientes conclusiones:

1. Mediante el análisis actuarial para la fijación de primas en seguros de enfermedades críticas, el Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social puede realizar estudios preventivos para mitigar costos por cobertura de salud, y así precautelar alguna afectación económica por parte de sus afiliados. Es así que, en el presente proyecto se desarrolló un modelo actuarial a partir de Cadenas de Markov Continuas de Múltiples Estados, basado en dos tipos de seguros: el primero cuando se pague la prima solo por el fallecimiento (política independiente) y otro en el que se pague por la cobertura de la enfermedad crítica y el fallecimiento.
2. Para la fijación y la valoración de contratos de seguros complejos, se utilizó un modelo multiestados, en este caso, se consideraron cuatro estados de transición para alguna enfermedad crítica (CI); en específico, para Cáncer, Tumor Cerebral e Insuficiencia Renal Crónica. Estos cuatro estados se definen como: sano (1), tiene la enfermedad crítica (2), fallece a causa de la enfermedad (3) y fallece por otras causas (4), de donde cada probabilidad de transición se define a partir de datos extraídos de la página del INEC; de donde además, gracias a las probabilidades estimamos las derivadas de las mismas mediante diferenciación numérica para luego, según las ecuaciones de Chapman-Kolmogorov, estimar las intensidades de transición. Con estas estimaciones, se determina la prima única neta para que los pagos se realicen una vez definida alguna tasa de interés. Esto con la opción de identificar la prima de un seguro sin que se consideren pagos por el tratamiento de la enfermedad u otro seguro en el

que también se incluya la cobertura por la enfermedad. Así, a partir de la definición de estas primas, las cuales involucran probabilidades e intensidades de transición, se estimaron las mismas a partir de integración numérica, en particular, utilizando la regla del trapecio.

3. Para la aplicación de esta metodología y estimar lo planteado por el modelo actuarial, se utilizó la información de los registros estadísticos de defunciones generales de la página oficial del INEC; además, en base a varios reportes nacionales, se identifica un indicador de fallecimientos por cierta enfermedad, de donde estimamos el número de muertes por cada enfermedad para los años 2019, 2020 y 2021, para así determinar la matriz de transición estableciendo de una forma lógica y correcta cada una de las probabilidades según el comportamiento de cada estado.
4. La estimación de la probabilidad de que un individuo sano fallezca por otras causas en un siguiente periodo, se la estimó por el número de muertes por la enfermedad de individuos de edad $x + 1$ en el año 2020 dividido para el número de personas sanas en 2019 de edad x ; así, el año que se consideró como referencia para determinar la transición del número de individuos que fallecen o viven fue el año 2019. Así además, los estados en donde no existe retorno y por tanto tienen probabilidad 1 son cuando están en el estado 3 o 4, ya que para un siguiente periodo se mantendrán en el mismo estado. Bajo este sentido, todas las probabilidades se las estimaron para consolidar la matriz de transición y bajo la misma consolidar las matrices de transición para algún periodo de t años, puesto que un seguro consta, en nuestro estudio, de una duración de t años. Estas matrices se las estiman elevando la matriz de transición a la potencia t .
5. Bajo los conceptos y estimaciones definidas, se calcula la prima unitaria de los dos seguros, esto a partir de integración numérica una vez definida la edad del cliente, el tiempo de cobertura (por ejemplo, hasta que el individuo cumpla 100 años), el tipo de enfermedad para el cual se aplica el seguro y el interés del seguro, el cual comúnmente oscila entre el 6 % y 8 %. Cabe recalcar que en el presente proyecto no se consideraron cuantías de cobertura para establecer algún valor en dólares, ya que esto se basará en la institución que desee aplicar el modelo y obtener el valor a partir de sus políticas. Con ello, y realizando algunas comparaciones, la prima para la enfermedad de Cáncer resultaría ser más costosa que la de insuficiencia renal y tumor cerebral, seguido de que

el segundo seguro es más caro que el primero, dado que en el mismo consta un costo para el tratamiento de la enfermedad. Adicionalmente, mientras el individuo tenga una edad más alta, la prima también lo será puesto que tiene más probabilidad de fallecimiento y los cuidados y tratamientos serían más exigentes.

Finalmente, como recomendaciones para futuros proyectos se mencionan los siguientes:

1. Siendo la metodología expuesta en el presente estudio un buen referente para contribuir al cálculo de primas unitarias o puras para estos seguros, se recomienda continuar con más procesos de investigación en el sistema de financiamiento en salud para la implementación de técnicas en el sistema de Salud Pública del Ecuador, con el fin de regular y proveer de servicios de salud y gestión para la compra de bienes y servicios para este tipo de enfermedades.
2. Por otro lado, puesto que se han estudiado otros modelos actuariales y otras formas de estimación para el cálculo de primas, se recomiendan aplicarlos para realizar comparaciones y establecer en mejor medida, cuál metodología convendría utilizar para ciertos seguros, tomando en cuenta la situación del problema a tratar.
3. La información utilizada en el proyecto fueron datos de 2019, 2020 y 2021; se recomienda investigar información más actualizada y aplicar la misma metodología para comparar los resultados presentados.

Apéndice A

Tablas de Datos

A.1. Datos sobre Población y Fallecimientos

Edad	2019		2020		2021	
	Población Total	Muertos	Población Total	Muertos	Población Total	Muertos
1	331699	320	331025	268	330351	216
2	332148	183	331400	140	330652	97
3	332775	115	331953	96	331131	77
4	333509	112	332598	96	331687	80
5	334371	71	333369	80	332367	89
6	335341	75	334252	67	333163	59
7	336422	73	335235	66	334048	59
8	337465	84	336319	80	335173	76
9	338086	85	337360	89	336634	93
10	338243	71	337965	73	337687	75
11	337593	90	338098	75	338603	60
12	335863	80	337393	81	338923	82
13	333590	116	335605	100	337620	84
14	330933	111	333250	107	335567	103
15	327983	140	330500	137	333017	134
16	324759	171	327453	165	330147	159
17	321236	225	324116	193	326996	161
18	317381	247	320515	245	323649	243
19	313171	306	316614	253	320057	200
20	308695	346	312363	313	316031	280
21	304047	293	307868	308	311689	323
22	299287	348	303227	345	307167	342
23	294505	356	298509	342	302513	328
24	289672	345	293794	369	297916	393
25	284765	369	289036	348	293307	327
26	279859	357	284203	366	288547	375
27	275022	358	279380	389	283738	420
28	270321	337	274615	383	278909	429
29	265806	360	269978	360	274150	360
30	261530	359	265526	405	269522	451
31	257477	360	261307	383	265137	406
32	253565	345	257300	442	261035	539

33	249721	365
34	245876	360
35	242008	356
36	238095	371
37	234052	373
38	229823	381
39	225348	371
40	220627	394
41	215728	397
42	210703	432
43	205622	381
44	200541	412
45	195501	444
46	190507	451
47	185594	453
48	180798	509
49	176141	514
50	171626	546
51	167213	533
52	162822	576
53	158406	616
54	153947	622
55	149406	700
56	144776	709
57	140041	790
58	135189	739
59	130238	889
60	125186	870
61	120040	904
62	114855	876
63	109686	975
64	104555	1024
65	99497	1033
66	94527	1075
67	89629	1072
68	84838	1161
69	80170	1202
70	75604	1143
71	71158	1241
72	66820	1266
73	62565	1230
74	58383	1360
75	54284	1332
76	50268	1333
77	46349	1329
78	42523	1416
79	38779	1473
80	35132	1559
81	31603	1545
82	28217	1612
83	25003	1778
84	21973	1638
85	19124	1747
86	16473	1754
87	14053	1637

253424	410
249602	407
245766	449
241905	418
237986	504
233943	500
229696	523
225197	580
220449	572
215517	606
210470	606
205362	636
200252	639
195163	714
190130	742
185181	787
180341	865
175640	911
171099	945
166640	1028
162189	1054
157725	1138
153218	1282
148625	1413
143938	1468
139133	1503
134219	1687
129210	1849
124098	1878
118896	1929
113650	1989
108417	2015
103234	2270
98132	2205
93083	2299
88124	2220
83281	2412
78522	2421
73878	2255
69365	2447
64958	2519
60619	2456
56356	2558
52184	2517
48104	2467
44111	2499
40222	2440
36434	2549
32753	2608
29206	2495
25833	2454
22671	2578
19707	2460
16957	2541
14426	2409

257127	455
253328	454
249524	542
245715	465
241920	635
238063	619
234044	675
229767	766
225170	747
220331	780
215318	831
210183	860
205003	834
199819	977
194666	1031
189564	1065
184541	1216
179654	1276
174985	1357
170458	1480
165972	1492
161503	1654
157030	1864
152474	2117
147835	2146
143077	2267
138200	2485
133234	2828
128156	2852
122937	2982
117614	3003
112279	3006
106971	3507
101737	3335
96537	3526
91410	3279
86392	3622
81440	3699
76598	3269
71910	3628
67351	3808
62855	3552
58428	3784
54100	3701
49859	3605
45699	3582
41665	3407
37736	3539
33903	3671
30195	3378
26663	3130
23369	3518
20290	3173
17441	3328
14799	3181

88	11876	1646
89	9931	1624
90	8203	1635
91	6685	1382
92	5371	1240
93	4242	1132
94	3306	1022
95	2525	879
96	1897	740
97	1400	580
98	1006	447
99	712	365
100	297	248

12151	2349
10135	2212
8347	2155
6782	1864
5430	1624
4269	1326
3309	1301
2514	1163
1875	884
1370	709
985	590
689	487
281	299

12426	3052
10339	2800
8491	2675
6879	2346
5489	2008
4296	1520
3312	1580
2503	1447
1853	1028
1340	838
964	733
666	609
265	350

A.2. Total de muertes por enfermedad

Cáncer

2019			
x	Muertes	x	Muertes
1	62	51	103
2	35	52	111
3	22	53	119
4	21	54	120
5	13	55	136
6	14	56	137
7	14	57	153
8	16	58	143
9	16	59	172
10	13	60	169
11	17	61	175
12	15	62	170
13	22	63	189
14	21	64	199
15	27	65	200
16	33	66	208
17	43	67	208
18	48	68	225
19	59	69	233
20	67	70	222
21	56	71	241
22	67	72	246
23	69	73	239
24	67	74	264
25	71	75	258
26	69	76	259
27	69	77	258
28	65	78	275
29	69	79	286
30	69	80	302
31	69	81	300
32	67	82	313

2020			
x	Muertes	x	Muertes
1	36	51	127
2	18	52	138
3	12	53	141
4	12	54	153
5	10	55	172
6	9	56	190
7	8	57	197
8	10	58	202
9	11	59	227
10	9	60	249
11	10	61	253
12	10	62	259
13	13	63	267
14	14	64	271
15	18	65	305
16	22	66	297
17	26	67	309
18	33	68	299
19	34	69	324
20	42	70	326
21	41	71	303
22	46	72	329
23	46	73	339
24	49	74	330
25	46	75	344
26	49	76	339
27	52	77	332
28	51	78	336
29	48	79	328
30	54	80	343
31	51	81	351
32	59	82	336

2021			
x	Muertes	x	Muertes
1	23	51	145
2	10	52	159
3	8	53	160
4	8	54	177
5	9	55	200
6	6	56	227
7	6	57	230
8	8	58	243
9	9	59	267
10	8	60	303
11	6	61	306
12	8	62	320
13	9	63	322
14	11	64	323
15	14	65	376
16	17	66	358
17	17	67	378
18	26	68	352
19	21	69	389
20	30	70	397
21	34	71	351
22	36	72	389
23	35	73	409
24	42	74	381
25	35	75	406
26	40	76	397
27	45	77	387
28	46	78	385
29	38	79	366
30	48	80	380
31	43	81	394
32	57	82	363

33	70	83	345
34	69	84	318
35	69	85	339
36	72	86	340
37	72	87	318
38	74	88	319
39	72	89	315
40	76	90	317
41	77	91	268
42	83	92	240
43	74	93	219
44	80	94	198
45	86	95	170
46	87	96	143
47	88	97	112
48	98	98	86
49	99	99	70
50	106	100	48

33	55	83	330
34	54	84	347
35	60	85	331
36	56	86	342
37	67	87	324
38	67	88	316
39	70	89	298
40	78	90	290
41	77	91	251
42	81	92	218
43	81	93	178
44	85	94	175
45	86	95	156
46	96	96	119
47	99	97	95
48	106	98	79
49	116	99	65
50	122	100	40

33	48	83	336
34	48	84	378
35	58	85	341
36	49	86	357
37	68	87	341
38	66	88	328
39	72	89	300
40	82	90	287
41	80	91	252
42	83	92	215
43	89	93	163
44	92	94	169
45	89	95	155
46	105	96	110
47	110	97	90
48	114	98	78
49	130	99	65
50	137	100	37

Tumor Cerebral

2019			
x	Muertes	x	Muertes
1	2	51	3
2	1	52	4
3	0	53	4
4	0	54	4
5	0	55	5
6	0	56	5
7	0	57	5
8	0	58	5
9	0	59	6
10	0	60	6
11	0	61	6
12	0	62	6
13	0	63	7
14	0	64	7
15	1	65	7
16	1	66	8
17	1	67	8
18	1	68	8
19	2	69	8
20	2	70	8
21	2	71	9
22	2	72	9
23	2	73	9
24	2	74	10
25	2	75	9
26	2	76	9
27	2	77	9
28	2	78	10
29	2	79	11
30	2	80	11
31	2	81	11

2020			
x	Muertes	x	Muertes
1	1	51	4
2	0	52	5
3	0	53	5
4	0	54	5
5	0	55	6
6	0	56	7
7	0	57	7
8	0	58	7
9	0	59	8
10	0	60	9
11	0	61	9
12	0	62	9
13	0	63	10
14	0	64	10
15	0	65	11
16	0	66	11
17	0	67	11
18	1	68	11
19	1	69	12
20	1	70	12
21	1	71	11
22	1	72	12
23	1	73	13
24	1	74	12
25	1	75	13
26	1	76	13
27	2	77	12
28	1	78	12
29	1	79	12
30	2	80	13
31	1	81	13

2021			
x	Muertes	x	Muertes
1	0	51	5
2	0	52	6
3	0	53	6
4	0	54	6
5	0	55	7
6	0	56	8
7	0	57	8
8	0	58	9
9	0	59	10
10	0	60	11
11	0	61	11
12	0	62	12
13	0	63	12
14	0	64	12
15	0	65	14
16	0	66	13
17	0	67	14
18	1	68	13
19	0	69	14
20	1	70	15
21	1	71	13
22	1	72	15
23	1	73	15
24	1	74	14
25	1	75	15
26	1	76	15
27	1	77	14
28	1	78	14
29	1	79	14
30	1	80	14
31	1	81	15

32	2	82	12
33	2	83	13
34	2	84	12
35	2	85	13
36	2	86	13
37	2	87	12
38	2	88	12
39	2	89	12
40	2	90	12
41	2	91	10
42	3	92	9
43	2	93	8
44	3	94	7
45	3	95	6
46	3	96	5
47	3	97	4
48	3	98	3
49	3	99	2
50	4	100	1

32	2	82	12
33	2	83	12
34	2	84	13
35	2	85	12
36	2	86	13
37	2	87	12
38	2	88	12
39	2	89	11
40	2	90	11
41	2	91	9
42	3	92	8
43	3	93	6
44	3	94	6
45	3	95	6
46	3	96	4
47	3	97	3
48	4	98	3
49	4	99	2
50	4	100	1

32	2	82	13
33	1	83	12
34	1	84	14
35	2	85	13
36	1	86	13
37	2	87	13
38	2	88	12
39	2	89	11
40	3	90	11
41	3	91	9
42	3	92	8
43	3	93	6
44	3	94	6
45	3	95	5
46	4	96	4
47	4	97	3
48	4	98	3
49	5	99	2
50	5	100	1

Insuficiencia Renal Crónica

2019			
x	Muertes	x	Muertes
1	19	51	31
2	10	52	34
3	6	53	36
4	6	54	37
5	4	55	41
6	4	56	42
7	4	57	47
8	5	58	44
9	5	59	53
10	4	60	52
11	5	61	54
12	4	62	52
13	6	63	58
14	6	64	61
15	8	65	61
16	10	66	64
17	13	67	64
18	14	68	69
19	18	69	71
20	20	70	68
21	17	71	74
22	20	72	75
23	21	73	73
24	20	74	81
25	22	75	79
26	21	76	79
27	21	77	79
28	20	78	84
29	21	79	88
30	21	80	93

2020			
x	Muertes	x	Muertes
1	11	51	39
2	5	52	42
3	3	53	43
4	3	54	46
5	3	55	52
6	2	56	58
7	2	57	60
8	3	58	62
9	3	59	69
10	3	60	76
11	3	61	77
12	3	62	79
13	4	63	82
14	4	64	83
15	5	65	93
16	6	66	91
17	7	67	94
18	10	68	91
19	10	69	99
20	12	70	99
21	12	71	93
22	14	72	101
23	14	73	104
24	15	74	101
25	14	75	105
26	15	76	103
27	16	77	101
28	15	78	103
29	14	79	100
30	16	80	105

2021			
x	Muertes	x	Muertes
1	7	51	44
2	3	52	48
3	2	53	49
4	2	54	54
5	2	55	61
6	1	56	70
7	1	57	71
8	2	58	75
9	3	59	82
10	2	60	93
11	1	61	94
12	2	62	98
13	2	63	99
14	3	64	99
15	4	65	116
16	5	66	110
17	5	67	116
18	8	68	108
19	6	69	119
20	9	70	122
21	10	71	108
22	11	72	120
23	10	73	126
24	13	74	117
25	10	75	125
26	12	76	122
27	13	77	119
28	14	78	118
29	11	79	112
30	14	80	117

31	21	81	92
32	20	82	96
33	21	83	106
34	21	84	98
35	21	85	104
36	22	86	104
37	22	87	97
38	22	88	98
39	22	89	97
40	23	90	97
41	23	91	82
42	25	92	74
43	22	93	67
44	24	94	61
45	26	95	52
46	26	96	44
47	27	97	34
48	30	98	26
49	30	99	21
50	32	100	14

31	15	81	107
32	18	82	103
33	16	83	101
34	16	84	106
35	18	85	101
36	17	86	104
37	20	87	99
38	20	88	97
39	21	89	91
40	23	90	89
41	23	91	76
42	25	92	67
43	25	93	54
44	26	94	53
45	26	95	48
46	29	96	36
47	30	97	29
48	32	98	24
49	35	99	20
50	37	100	12

31	13	81	121
32	17	82	111
33	15	83	103
34	15	84	116
35	17	85	105
36	15	86	110
37	21	87	105
38	20	88	101
39	22	89	92
40	25	90	88
41	24	91	77
42	25	92	66
43	27	93	50
44	28	94	52
45	27	95	47
46	32	96	34
47	34	97	27
48	35	98	24
49	40	99	20
50	42	100	11

Apéndice B

Código en R

```
##### Escuela Politecnica Nacional #####  
## Gabriela Revelo  
  
library(tidyverse)  
library(stats)  
library(readxl)  
library(openxlsx)  
  
## Funcion para calcular la matriz estocastica  
  
matriz_estocastica_t <- function(v2019, v2020, v2021, Edad, t){  
  result <- matrix(0,4,4);  
  
  ##### Obtener matriz 2021  
  T2019 <- as.matrix(read.xlsx("2019.xlsx"));  
  T2020 <- as.matrix(read.xlsx("2020.xlsx"));  
  T2021 <- matrix(0,100,3);  
  colnames(T2021) <- c("PoblacionTotal", "Muertos", "MuertosPorEnfermedad");  
  T2021[,1] <- 2*T2020[,1] - T2019[,1];  
  T2021[,2] <- 2*T2020[,2] - T2019[,2];  
  
  ##### Completar matrices  
  T2019[,3] <- floor((T2019[,2]/sum(T2019[,2]))*v2019);  
  T2020[,3] <- floor((T2020[,2]/sum(T2020[,2]))*v2020);  
  T2021[,3] <- floor((T2021[,2]/sum(T2021[,2]))*v2021);  
  ##### renombrar  
  rownames(result) <- c("PersonaSaludable", "PersonaEnEstadoCritico", "  
    PersonaMuertaPorEnfermedad", "PersonaMuertaPorOtraCosa");  
  colnames(result) <- c("PersonaSaludable", "PersonaEnEstadoCritico", "  
    PersonaMuertaPorEnfermedad", "PersonaMuertaPorOtraCosa");  
  
  ##### Probabilidades  
  result[1,1] <- (T2020[Edad+1,1] - T2021[Edad+2,3])/T2019[Edad,1];  
  result[1,3] <- T2020[Edad+1,3]/T2019[Edad,1];  
  result[1,2] <- T2021[Edad+2,3]/T2019[Edad,1];  
  result[1,4] <- (T2020[Edad+1,2] - T2020[Edad+1,3])/T2019[Edad,1];  
  
  result[2,3] <- (T2021[Edad+2,3]) * (T2020[Edad+1,3]/T2019[Edad,1]);
```

```

result[2,4] <- (T2021[Edad+2,3])*((T2020[Edad+1,2]-T2020[Edad+1,3])/T2019[Edad,1]);
result[2,2] <- 1-result[2,3]-result[2,4];

result[3,3] <- 1;
result[4,4] <- 1;

return(potencia_matriz(result,t))
}

## Funcion para la estimacion de la prima

potencia_matriz <- function(Mat,p){
  R <- Mat;
  for(i in 2:p){
    R <- R%*%Mat;
  }
  return(R)
}

Area <- function(vec,n){
  larg <- length(vec);
  area <- 0;
  for(i in 2:n){
    area <- area+((vec[i]+vec[i-1])/2);
  }
  return(abs(area))
}

pushBack_ <- function(valor,vector_){
  larg <- length(vector_);
  result <- rep(0,larg+1);
  result[1] <- valor;
  result[2:(larg+1)] <- vector_;
  return(result)
}

meg <- function(v2019,v2020,v2021,Edad,interes,n){
  ## Derivadas
  dp_24 <- c(Edad:100);
  dp_11 <- c(Edad:100);
  dp_14 <- c(Edad:100);
  ## Probabilidades
  p_22 <- c(Edad:100);
  p_12 <- c(Edad:100);
  p_11 <- c(Edad:100);
  p_14 <- c(Edad:100);
  p_24 <- c(Edad:100);

  fin <- 100-Edad+1;
  for(t in 1:fin){
    M <- matriz_estocastica_t(v2019,v2020,v2021,Edad,t);
    p_22[t] <- M[2,2];
    p_12[t] <- M[1,2];
    p_11[t] <- M[1,1];
  }
}

```

```

    p_14[t] <- M[1,4];
    p_24[t] <- M[2,4];
  }

#####
dp_24 <- c(Edad:100);
dp_11 <- c(Edad:100);
dp_14 <- c(Edad:100);
fin <- fin-1;
for( i in 1:fin){
  dp_24[i] <- p_24[i+1]-p_24[i];
  dp_11[i] <- p_11[i+1]-p_11[i];
  dp_14[i] <- p_14[i+1]-p_14[i];
}
#####
dp_24[fin+1] <- dp_24[fin];
dp_11[fin+1] <- dp_11[fin];
dp_14[fin+1] <- dp_14[fin];

mu_24 <- dp_24/p_22;
mu_14 <- (dp_14-p_12*mu_24)/p_11;
mu_12 <- (dp_11/(-p_11))-mu_14;

##### Union del cero
p_22x <- 1; dp_24x <- 0;
p_11x <- 1; dp_14x <- 0; dpx_11x <- p_11[1]-1;
p_12x <- 0;
mu_24x <- dp_24x/p_22x;
mu_14x <- (dp_14x-p_12x*mu_24x)/p_11x;
mu_12x <- (dpx_11x/(-p_11x))-mu_14x;

mu_14 <- pushBack_(mu_14x,mu_14);
mu_12 <- pushBack_(mu_12x,mu_12);
p_12 <- pushBack_(0,p_12);
p_11 <- pushBack_(1,p_11);

##### Interes
v_t <- c(Edad:100);
v_t <- pushBack_(1,v_t);
uw <- length(v_t);
for(i in 1:uw){
  v_t[i] <- 1/((1+interes)^i);
}

### PRIMAS
##### Muerte sin pago por tratamiento de la enfermedad:
A_sa <- p_12*mu_12*v_t;
print("Muerte sin pago por tratamiento de la enfermedad:")
print(abs(Area(A_sa,n)));
##### Muerte con pago por tratamiento de la enfermedad:
A_ab <- p_11*mu_12*v_t+p_11*mu_14*v_t;
print("Muerte con pago por tratamiento de la enfermedad:")
print(abs(Area(A_ab,n)));
return(c(abs(Area(A_sa,n)), abs(Area(A_ab,n))))
}

```

```

## PRUEBAS variando la cobertura para individuos de 20 años
#####
print("Cancer a t años para una persona de 20 años:")
edad <- 20

seg1 <- NULL
seg2 <- NULL
for(i in seq(5,40, by = 5)){
  x <- meg(13685,15123,16562,edad,0.0625,i)
  seg1 <- c(seg1, x[1])
  seg2 <- c(seg2, x[2])
}

tiempo <- data.frame(enfermedad = rep('Cancer', 8), Seguro1 = seg1, Seguro2 = seg2)

#####
print("Tumor Cerebral a t años para una persona de 20 años:")
seg1 <- NULL
seg2 <- NULL
for(i in seq(5,40, by = 5)){
  x <- meg(527,580,638,edad,0.0625,i)
  seg1 <- c(seg1, x[1])
  seg2 <- c(seg2, x[2])
}

tiempo1 <- data.frame(enfermedad = rep('Tumor Cerebral', 8), Seguro1 = seg1, Seguro2 = seg2
)

coberturas <- rbind(tiempo, tiempo1)

#####
print("IRC a t años para una persona de 20 años:")
seg1 <- NULL
seg2 <- NULL
for(i in seq(5,40, by = 5)){
  x <- meg(4214,4636,5100,edad,0.0625,i)
  seg1 <- c(seg1, x[1])
  seg2 <- c(seg2, x[2])
}

tiempo2 <- data.frame(enfermedad = rep('IRC', 8), Seguro1 = seg1, Seguro2 = seg2)

coberturas <- rbind(coberturas, tiempo2)
coberturas$años <- rep(seq(5,40, by = 5), 3)

coberturas$enfermedad <- factor(coberturas$enfermedad,
                              levels = c('Cancer', 'IRC', 'Tumor Cerebral' ))

coberturas$PrimerSeguro <- ifelse(coberturas$enfermedad== 'Cancer',
                                150000*coberturas$Seguro1,
                                ifelse(coberturas$enfermedad == 'IRC',
                                        125000*coberturas$Seguro1,
                                        100000*coberturas$Seguro1))

```

```
coberturas$SegundoSeguro <- ifelse(coberturas$enfermedad== 'Cancer',
                                   1500000*coberturas$Seguro2,
                                   ifelse(coberturas$enfermedad == 'IRC',
                                           1250000*coberturas$Seguro2,
                                           1000000*coberturas$Seguro2))

coberturas %>% ggplot(aes(x=anios , y=PrimerSeguro , colour = enfermedad)) +
  geom_line() + geom_point()

coberturas %>% ggplot(aes(x=anios , y=SegundoSeguro , colour = enfermedad)) +
  geom_line() + geom_point()
```

Referencias

- [1] Ivette A. Tasa de mortalidad.
- [2] Cristhian Rai Astudillo Salas. Enfermedades catastróficas, huérfana o raras en el Ecuador: problemáticas actuales y tratamientos. *Quito: Universidad de las Américas, 2018, 2018.*
- [3] Fabio Baione and Susanna Levantesi. A health insurance pricing model based on prevalence rates: Application to critical illness insurance. *Insurance: Mathematics and Economics*, 58:174–184, 2014.
- [4] Stephanie Bernell and Steven W Howard. Use your words carefully: what is a chronic disease? *Frontiers in public health*, 4:159, 2016.
- [5] Xavier Cabezas and Fernando Sandoya Sanchez. Cálculo actuarial con cadenas de markov, una aplicación. Tesis de grado, Escuela Politécnica Nacional, 2000.
- [6] David Dickson. *Aactuarial Mathematics for life contingent risks*. Cambridge University, 2009.
- [7] Marcelo Garriga, Walter Cont, et al. Importancia de los seguros de salud y cobertura de enfermedades catastróficas. *Documento de Trabajo Nro*, 10, 2013.
- [8] First Financial Group. *Critical Illness Insurance*, 2021.
- [9] Silas Gyimah. Pricing Critical Illness using The Multiple Decrement Model Approach. *Amponsyah Thesis.*, 2011.
- [10] IESS. *Valuación Actuarial del Seguro General de Salud Individual y Familiar*.
- [11] IESS. *Plan estratégico del IESS 2018-2028*, 2018.
- [12] INEC. *Boletín camas y egresos hospitalarios*.
- [13] INEC. *Boletín técnico registro estadístico de recursos y actividades de salud*.

- [14] INEC. Registro Estadístico de Defunciones Generales.
- [15] Fresenius Kabi. Enfermedades Críticas, 2021.
- [16] S König, C Cypris, D Bartlett, K de Braaf, and F Lussier. Critical illness insurance international overview—what can we learn from highly developed CI markets. *Newsletter SCOR Global Life*, April, 2011.
- [17] La República. Unas 18.000 personas mueren al año en Ecuador por cáncer. <https://www.larepublica.ec/blog/2022/09/20/unas-18-000-personas-mueren-al-ano-en-ecuador-por-cancer/>, Sep 2022.
- [18] Eduardo López Hung and Lai Gen Joa Triay. Cadenas de markov aplicadas al análisis de la ejecución de proyectos de investigación. *Revista Cubana de Informática Médica*, 9(1):44–51, 2017.
- [19] Carlos Alberto Carrión Márquez. El contrato de seguro en el Ecuador—conceptos básicos y análisis de la reticencia, falsa declaración y acuerdos transaccionales: The insurance contract in Ecuador—basic concepts and analysis about reticence, false statements and transactional agreements. *RES NON VERBA REVISTA CIENTÍFICA*, 11(2):146–173, 2021.
- [20] MSP. Enfermedades catastróficas, raras o huérfanas, según Ministerio de Salud, 2016.
- [21] MSP. Encuesta steps Ecuador 2018 MSP, INEC, OPS/OMS, 2018.
- [22] María Victoria Ocampo-Rodríguez, Víctor Fernando Betancourt-Urrutia, Jennifer Paola Montoya-Rojas, and Diana Carolina Bautista-Botton. Sistemas y modelos de salud, su incidencia en las redes integradas de servicios de salud. *Revista Gerencia y Políticas de Salud*, 12(24):114–129, 2013.
- [23] Ricardo Ocaña-Riola. Modelos de Markov aplicados a la investigación en Ciencias de la Salud. *Interciencia*, 34(3):157–162, 2009.
- [24] US Pasaribu, H Husniah, RR KN Sari, and A R Yanti. Pricing Critical Illness Insurance Premiums Using Multiple State Continuous Markov Chain Model. In *Journal of Physics: Conference Series*, volume 1, pages 102–112. IOP Publishing, 2019.
- [25] Rosita Philé Recalde Caicedo. Evaluación del desempeño y planificación de la capacidad del servidor de desarrollo y pruebas de una entidad financiera ecuatoriana. B.S. thesis, Quito, 2014., 2014.

- [26] Armando César Uranga Sifuentes, Ramón Luevanos Rojas, Juan Antonio González Mata, Facundo Cortes Martínez, and Claudia M Ávila Garza. Cadenas de Markov aplicadas a la evolución de los usuarios potenciales de energía fotovoltaica. *Ingeniería industrial. Actualidad y nuevas tendencias*, 2(7):17–34, 2011.
- [27] Jaap Spreeuw and Henk Wolthuis. Actuarial Models for Disability Insurance, S. Haberman, E. Pitacco, Actuarial Models for Disability Insurance, Chapman & Hall, London, UK (1999), xviii+ 280 pp., ISBN 0-8493-0389-3. 2000.
- [28] Vega Suarez. Cálculo de la prima para financiar enfermedades catastróficas, raras o huérfanas, 2021.
- [29] Mario J Valladares-Garrido, Danai Valladares-Garrido, Susy Bazán-Ruiz, and Christian R Mejia. Enfermedades raras y catastróficas en un hospital del norte peruano: Características y factores asociados a la mortalidad. *Revista Salud Uninorte*, 33(1):7–15, 2017.
- [30] Shenghua Zhang et al. Modelos estocásticos aplicados a los seguros de vida. Master’s thesis, Universidad de Barcelona, 2018.
- [31] Yuzhou Zhang. Actuarial Modelling with Mixtures of Markov Chains. Master’s thesis, The University of Western Ontario, 2016.