



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MÉXICO**



**FACULTAD DE ECONOMÍA**

**“MORTALIDAD GENERAL EN MÉXICO:  
APLICACIÓN DE MODELOS ESTOCÁSTICOS  
EN EL PERIODO 1990 – 2015”**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**LICENCIADO EN ACTUARÍA**

**PRESENTA:**

**EMMA EDITH MARTÍNEZ MÉNDEZ**

**ASESOR:**

**DR. EN E.P. DANIEL LOZANO KEYMOLEN**

**REVISORES:**

**DRA. EN C.E.A. YULIANA GABRIELA ROMÁN SÁNCHEZ**

**DRA. EN C.E.A. ROSA AZALEA CANALES GARCÍA**

**TOLUCA, ESTADO DE MÉXICO**

**SEPTIEMBRE 2022**

## ÍNDICE

Introducción.....	1
Capítulo I. Modelos teóricos para el estudio de la mortalidad .....	7
1.1 Teoría de la transición demográfica.....	7
1.2 Teoría de la transición epidemiológica .....	9
1.3 Estocasticidad de la mortalidad .....	13
Capítulo II. Contexto sociohistórico y evolución de la mortalidad en México, 1990 – 2015 .....	18
2.1 La transición demográfica en México .....	18
2.2 La transición epidemiológica en México.....	22
2.3 Factores relacionados los cambios en la mortalidad en México.....	25
Capítulo III. Datos y metodología para el modelamiento de la mortalidad en México, 1990 – 2015 .....	29
3.1 Fuente de datos.....	29
3.2 Notación.....	29
3.3 Modelos de análisis de la mortalidad.....	31
3.3.1 Generalidades de los modelos GAPC.....	31
3.3.2 Modelo Lee-Carter GAPC .....	33
3.3.3 Modelo Renshaw-Haberman.....	33
3.3.4 Estimación de los parámetros de los modelos GAPC.....	34
3.3.5 Elección del modelo .....	35
3.4 Desarrollo de pronósticos de la mortalidad .....	36

<b>Capítulo IV. Estimación y pronósticos de la mortalidad en México, 1990 – 2025...</b>	<b>41</b>
<b>4.1 La mortalidad en México, 1990 – 2015 .....</b>	<b>41</b>
<b>4.2 Modelos de análisis de la mortalidad en México, 1990 – 2015.....</b>	<b>47</b>
<b>4.2.1 Modelo Lee-Carter GAPC .....</b>	<b>47</b>
<b>4.2.2 Modelo Renshaw-Haberman.....</b>	<b>50</b>
<b>4.2.3 Comparación de los modelos estimados .....</b>	<b>54</b>
<b>4.3 Pronósticos de la mortalidad en México, 2016 – 2025.....</b>	<b>60</b>
<b>4.3.1 Pronóstico de la mortalidad masculina en México, 2016 – 2025 .....</b>	<b>61</b>
<b>4.3.2 Pronóstico de la mortalidad femenina en México, 2016 – 2025.....</b>	<b>73</b>
<b>Conclusiones.....</b>	<b>84</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>88</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>96</b>

## **Introducción**

El estudio científico de la experiencia de la mortalidad humana juega un papel fundamental en distintas disciplinas científicas tales como la demografía y la ciencia actuarial, donde su adecuada evaluación es determinante en aspectos como el sostenimiento de la solvencia económica de los sistemas de seguros de vida y de las pensiones (Mendonza, Contreras, & Gutiérrez, 2015); sin mencionar que, éste forma parte de los denominados componentes que intervienen en el cambio demográfico (Silva, Ramos, & Olvera, 2018).

Además, estudiar los métodos de estimación, la evolución y los pronósticos de la mortalidad son esenciales para prever escenarios futuros tanto para las compañías aseguradoras como para la política de la población e incluso de la salud pública (García & Ordorica, 2012). Cabe mencionar que, han surgido teorías propuestas por autores como Notestein (1945) u Omran (1971 y 1998) que tratan de explicar el comportamiento de la mortalidad, mediante las teorías de la transición demográfica (TD) o de la transición epidemiológica (TE).

Por un lado, la TD es una propuesta que busca explicar los cambios de la mortalidad junto con la fecundidad a través de un proceso basado en cinco etapas. En cada etapa se suceden una serie de cambios en los niveles en los que puede permanecer o cambiar la mortalidad y la fecundidad impulsados por factores como la mejora de la urbanización, la adopción de medidas de salud pública o de la masificación de la escolaridad (Bayarre, Pérez, & Menéndez, 2006).

Por otro lado, la TE expresa los cambios en los patrones de morbilidad y de mortalidad con una “transición” basada en cinco etapas para países desarrollados y tres etapas para países no desarrollados. Estos procesos explican los cambios y problemáticas a los que cada país que entra en este proceso se ve envuelto y se considera que una nación ha experimentado la TE una vez que las causas de enfermedad y de muerte son predominantemente determinadas por padecimientos crónicos no transmisibles, en lugar de enfermedades infecciosas o transmisibles (Omran, 1971; Omran, 1998).

A propósito del estudio de la evolución de la mortalidad humana se han propuesto diversos modelos diseñados para modelar la curva de mortalidad a lo largo de la historia. Desde los trabajos pioneros de DeMoivre (1725), quien propone el primer modelo teórico de mortalidad mediante una distribución uniforme o Gompertz (1825) que adopta el modelo con un enfoque biológico, o bien, Makeham (1867) quien agrega una constante adicional al modelo de Gompertz para tomar en cuenta las causas de mortalidad accidental. Cada uno de estos modelos fueron ampliamente utilizados como modelos estándar para estudiar la mortalidad en diversos países de Europa, de Asia o de América.

A principios de los noventa del siglo XX, tras el resurgimiento de modelos estocásticos, se propone el modelo Lee-Carter (1992), el cual marca un parteaguas en la modelación de la mortalidad humana. Dicho modelo permite estimar y proyectar la mortalidad previendo buenos resultados, por lo cual se toma como referencia o estándar para estimar el riesgo de envejecimiento como es el caso del Fondo Monetario Internacional (FMI). Sin embargo, se ha destacado que el modelo Lee-Carter (1992) tiene varias limitantes, como el hecho de que solo considera las dimensiones edad-periodo y deja de lado la información que se relaciona con la cohorte, además, de su forma de estimación (Aburto & García, 2015).

A pesar de los comentarios que diversas estudiosas y estudiosos han emitido respecto de las aparentes limitaciones inherentes al modelo de Lee-Carter, es cierto que éste ha sido aplicado como modelo de análisis en realidades como las de los países de América Latina y El Caribe (ALyC). Así, para la región referida surgieron diversos estudios sobre la dinámica de la mortalidad entre los que se encuentra el estudio de Lee y Rofman (1994) quienes proponen ampliar el método Lee-Carter para casos en los que existen datos censales incompletos y dan una muestra de su aplicación al proyectar la mortalidad de Chile.

Por otro lado, Aguilar (2013) estima y proyecta la mortalidad por grupos de edad y sexo para Costa Rica con la aplicación del modelo Lee-Carter con dos variantes durante el periodo 1970 – 2010, muestra que el ajuste de la ecuación es consistente con la experiencia de mortalidad de la nación centroamericana. De manera similar, y aunque

aplicado a un trabajo de posgrado, Ochoa (2015) aplicó el modelo a la experiencia de mortalidad en Colombia para los años 1951 – 1999 y desarrolló proyecciones al 2011.

En el caso de México, los primeros estudios sobre el comportamiento de la mortalidad datan a mitad del siglo XX, tras la necesidad de disponer de una tabla de mortalidad con la dinámica de la mortalidad mexicana, debido a que las tablas de mortalidad que se utilizaron inicialmente en el país eran adaptadas de otros países (Mendonza, Contreras, & Gutiérrez, 2015). Esto, por supuesto, implicó realizar grandes asunciones sobre la mortalidad de la población mexicana lo que impactó en el estudio del fenómeno.

Es por lo anterior que en 1967 aparece la primera tabla de mortalidad mexicana (1962 – 1967) a cargo del actuario Jorge Rendón Elizondo. La misma se utilizó hasta 1989, cuando se reemplazó por la tabla de mortalidad mexicana (1982 – 1989). Ambas tablas se construyeron con técnicas de graduación determinística y ajuste de curvas Gompertz-Makeham a las tasas de mortalidad agregadas (Mendonza, Contreras, & Gutiérrez, 2015).

A partir de entonces distintos autores realizan diversas investigaciones y aportaciones sobre la dinámica de la mortalidad mexicana. Entre los científicos que realizaron lo anterior se encuentran: Benítez y Cabrera (1967) quienes realizaron una cuantificación de la mortalidad para la población total y por sexo, y además mostraron la dinámica del fenómeno en el periodo 1930 – 1960. Posteriormente, Cordero (1968) hace un intento por estimar las tasas de mortalidad infantil en México de 1950 – 1965.

Por otro lado, Ordorica (1976) calcula las tablas abreviadas de mortalidad para ocho regiones de México del año 1970, con el propósito de mejorar las estadísticas demográficas y sociales del país. Por su parte, Partida (1980) realiza una construcción de patrones modelo de mortalidad propios para México con la intención de estimar adecuadamente el nivel y a su vez reflejar la desproporción existente entre la mortalidad adulta y la joven. Mientras, Camposortega (1989) realiza un análisis de la evolución de la mortalidad en México durante el periodo 1940-1980.

Finalmente, a finales del siglo XX y principios del siglo XXI, el modelado de la curva de mortalidad mexicana se hizo más presente, esto a causa de las mejoras en las estadísticas y a la importancia de la misma, pero también a la potencia de cálculo que trajeron los ordenadores.

Por mencionar a otros actuarios-demógrafos, se encuentra Mina (2001) quien aplica la función Gompertz-Makeham sobre datos históricos de la esperanza de vida al nacimiento por sexo en México a partir de 1995 al año 2010, y con ello obtiene las tablas abreviadas de mortalidad. Luego, Ordorica (2004) realiza una proyección del número total de defunciones de México donde emplea la metodología Box-Jenkins. Posteriormente, Mina (2011) presenta un trabajo donde emplea curvas spline para ajustar y proyectar tablas de mortalidad de México en el periodo 2010 – 2050. Así mismo, Dávila (2012) propone un método de splines cúbicos para ajustar la mortalidad general de México por sexo para los años 2000, 2005 y 2010.

A su vez, García y Ordorica (2012) aplican el método de Lee-Carter para proyectar la mortalidad de México y pronosticar la esperanza de vida al nacer de las mujeres. Por su parte, Aburto y García (2015) emplean el modelo aditivo doble multiplicativo a la mortalidad mexicana y lo comparan con el modelo de Lee-Carter (1992). Luego, Silva, Ramos y Olvera (2018) estudian el modelo de Heligman-Pollard para proyectar la mortalidad de México entre los años 2016 – 2025.

Con base en lo anterior, se observa que, desde la aparición de la primera tabla de mortalidad mexicana, surgieron investigaciones que inicialmente se basaron en analizar y comparar los datos de mortalidad con la de otros países, sin dejar de lado, la preocupación de contar con datos confiables y de corregirlos adecuadamente. Posteriormente, las investigaciones giraron en torno al ajuste, a la estimación o al modelado de la curva de mortalidad mexicana además del cálculo de pronósticos de esta.

Sin embargo, a pesar de las diversas aportaciones que aparecieron y aun a la fecha se realizan, surgen nuevas metodologías que proporcionan mejores resultados para ajustar y pronosticar la mortalidad mexicana, incluso existen algunas que se han dejado de lado

o aún no han sido abordadas. Además, estas investigaciones buscan incrementar la certeza en torno al comportamiento futuro de la mortalidad entre la población mexicana y con ello, contribuir a una mejor comprensión de las dinámicas asociadas al fenómeno (Aburto & García, 2015; Silva, Ramos, & Olvera, 2018).

A propósito del uso de modelos para el estudio y el pronóstico de la dinámica de la mortalidad en México, y después de revisar la literatura que se relaciona con el estudio de la mortalidad en México, este proyecto de tesis se desarrolla para llevar a cabo un análisis en el cual se realiza un procedimiento de ajuste de los modelos estocásticos denominados Lee-Carter y Renshaw-Haberman como modelos generalizados edad-periodo-cohorte (GAPC) a la experiencia de mortalidad de la población mexicana en el periodo 1990 – 2015.

El periodo de análisis se elige en un plazo donde los datos omitan en mayor medida la información que adolece de problemas de cobertura, mala declaración u otro, que tienen más presencia en los años posteriores a 1990 (Aburto, 2014; Aburto & García, 2015). Es por lo anterior que se considera los años de 1990 a 2015, periodo en el cual los problemas antes mencionados son menos presentes y que además han sido corregidos mayormente mediante procedimientos previstos por la Conciliación Demográfica de México (Aburto, 2014).

Sobre el uso del modelo Lee-Carter existen diversos trabajos de investigación que fueron relatados con anterioridad que aplican la propuesta mencionada a la mortalidad mexicana. Sin embargo, el modelo Renshaw-Haberman ha sido poco utilizado para el análisis de datos en México, y hasta donde se logró revisar, solo se ha aplicado para comparar la mortalidad de la población general y la estimada para la población asegurada por la Comisión Nacional de Seguros y Finanzas de México (Ornelas & Montserrat, 2013), pero no en el caso de la proyección de la mortalidad.

De acuerdo a lo anterior, se plantea la pregunta que guía esta investigación: ¿Cuál de los modelos estocásticos Lee-Carter o Renshaw-Haberman describe mejor el patrón de mortalidad general en México en el periodo 1990 – 2015? Se plantea entonces, el objetivo

principal de la tesis el cual consiste en ajustar y pronosticar la mortalidad general en México mediante la aplicación de modelos estocásticos en el periodo 1990 – 2025.

Para ello se estableció hacer una revisión de los modelos que han sido aplicados a ajustar y pronosticar la mortalidad, además de, ajustar los modelos de Lee-Carter y Renshaw-Haberman como modelos GAPC a la mortalidad de México en el periodo 1990 – 2015, y así mismo, proyectar la dinámica de la mortalidad en México en el periodo de 2016 a 2025 de acuerdo con el modelo que mejor describa el patrón de mortalidad en México.

Además, se pretende confirmar que el modelo estocástico Renshaw-Haberman describe mejor el patrón de mortalidad general en México durante el periodo de 1990 – 2015, lo cual constituye la hipótesis de este trabajo. Así, el modelo Renshaw-Haberman puede ser utilizado para pronosticar la mortalidad entre la población mexicana en el periodo 2016 – 2025.

El contenido de esta tesis se encuentra a lo largo de cuatro capítulos adicionales a este introductorio. En el primer capítulo se presenta el marco teórico y conceptual del proyecto. Para el capítulo segundo se expone un análisis de la evolución de la mortalidad en la población mexicana. En el capítulo tercero se presenta la metodología de la investigación y, en el capítulo cuarto se exponen los resultados de los análisis realizados. Por último, se presentan las conclusiones respectivas del proyecto.

## **Capítulo I. Modelos teóricos para el estudio de la mortalidad**

En este capítulo se expone el marco conceptual de la tesis el cual se basa en los principios de las teorías de la transición demográfica y de la transición epidemiológica. Estas teorías permiten caracterizar los cambios que antecedieron las transformaciones en la mortalidad de las poblaciones entre los que se encuentran los comportamientos reproductivos (fecundidad), los patrones migratorios y los efectos de la escolaridad, por ejemplo. Luego, se exponen algunos trabajos que fundamentan el desarrollo de modelos estocásticos para la predicción de la experiencia de mortalidad.

### **1.1 Teoría de la transición demográfica**

La teoría de la transición demográfica (TD) surgió como respuesta al interés de explicar los niveles de mortalidad y de fecundidad de las sociedades occidentales durante la revolución industrial (siglo XVIII – XIX) (Kabeer, 1996). El científico francés Laundry (1909 y 1934) fue uno de los primeros teóricos de la TD, quien caracterizó al fenómeno como una “Revolución Demográfica”, de acuerdo con el tipo de economía: primitiva, intermedia y moderna.

Por otro lado, Thompson (1929) la definió como “Evolución Demográfica” y propuso un modelo basado en el crecimiento demográfico: potencial, efectivo y estacionario o de disminución. Finalmente, Notestein (1945) planteó la “Teoría de la Transición Demográfica”, en la cual estructura un modelo en cuatro etapas o fases, el cual explica el proceso de cambio de las variables de mortalidad y de fecundidad en cualquier población humana (Bayarre, Pérez, & Menéndez, 2006).

Con base en lo anterior, la teoría de la TD trata de explicar los cambios en los patrones de fecundidad y de mortalidad de las sociedades que se relacionan con las modificaciones en la estructura poblacional (CEPAL-CELADE-BID, 1996). La TD se caracteriza de la siguiente forma según etapas:

- a) Etapa I: La mortalidad y fecundidad son elevadas (en especial la mortalidad infantil y juvenil) y el crecimiento poblacional es lento o casi nulo.

- b) Etapa II: El crecimiento de la población y la esperanza de vida aumentan como consecuencia del descenso de la mortalidad mientras que la fecundidad se mantiene elevada.
- c) Etapa III: El crecimiento de la población disminuye a razón del descenso constante de la fecundidad, por otro lado, la mortalidad mantiene su tendencia descendiente que inicia en la etapa anterior.
- d) Etapa IV: La fecundidad y mortalidad son relativamente bajas y da lugar a un bajo o nulo crecimiento poblacional mientras que la mortalidad infantil tiende a ser prácticamente inexistente (CEPAL-CELADE-BID, 1996; Miró, 2003)

A este modelo de cuatro etapas, se le agregó una quinta etapa en años posteriores.

- e) Etapa V: La fecundidad tiende a ser más baja a la mortalidad lo que lleva a un crecimiento demográfico negativo y a su vez a un creciente envejecimiento (Bayarre, Pérez, & Menéndez, 2006).

Cabe señalar que, cada país que entra en proceso de TD difiere en el momento de inicio, así como en su magnitud y ritmo en el descenso de la mortalidad y de la fecundidad. Hasta el momento solo algunos países europeos han transitado las cinco etapas o fases de la TD. Mientras que otros países como los latinoamericanos aún transitan la segunda, tercera o cuarta etapa de la TD, sin embargo, su proceso tiende a ser más tardío y veloz en comparación a los países desarrollados (CEPAL-CELADE-BID, 1996). Lo anterior, tiene efectos complejos que se expresan en dinámicas como los acelerados procesos de envejecimiento de las poblaciones latinoamericanas.

No obstante, persisten importantes diferencias de opinión y juicios con respecto a esta teoría, por ejemplo, Reed (1945, pág. 113) consideró que la TD "es una hipótesis de trabajo, no un hecho comprobado, que toda población en cualquier lugar, independientemente de su tamaño, hábitat y herencia cultural, tiende a pasar por un escalón inestable hacia un equilibrio racional".

Mientras que, para otros investigadores y analistas, la teoría de TD representa solamente una guía de observación y análisis a la evolución demográfica y no una teoría (Lopes,

1973), ante la falta de precisión y formulación teórica que la hacen altamente criticable y cuestionable por su valor explicativo y predictivo (Arango, 1980). O bien, es vista como una herramienta poco provechosa para el análisis de las distintas disparidades existentes entre las transiciones demográficas sobre todo para países de América Latina (Manzano, 2016).

Sin embargo, a pesar de las distintas controversias con respecto a esta teoría hay quienes consideran que es necesaria en los estudios de la población o debería de ser considerada en la investigación tomando en cuenta las restricciones y limitaciones de la misma (Lopes, 1973).

Finalmente, los cambios en la mortalidad y en parte de la fecundidad se comprenden mejor cuando se estudian los patrones de salud y de enfermedad en las poblaciones. Según lo anterior, se propuso la teoría de la transición epidemiológica que, si bien en un marco analítico cuestionado, permite analizar parte de los efectos que las transformaciones sociales, económicas, políticas y culturales tuvieron sobre la mortalidad.

## **1.2 Teoría de la transición epidemiológica**

La teoría de la transición epidemiológica (TE) fue propuesta por el profesor Omran (1971). Esta teoría trata de describir y explicar el comportamiento de la mortalidad con base en las causas de muerte en los países industrializados. Dicho de otro modo, la TE expresa los cambios en los patrones de morbilidad y de mortalidad como fenómenos sucedidos principalmente en los siglos XIX y XX, y que fueron impulsados por modificaciones sociales, económicas, políticas, de la salud pública y en los comportamientos.

Omran (1971 y 1998) propuso un conjunto de etapas que describían el proceso de TE, inicialmente planteó las primeras tres etapas para determinados países, sin embargo, en años posteriores agregó un conjunto de etapas que no solo describía el proceso de TE en las sociedades occidentales o países avanzados, si no que adjuntó otro para sociedades no occidentales.

## **I) Etapas de la TE en las sociedades Occidentales**

- a) Etapa I: Pestilencia y hambrunas. Esta etapa se caracteriza por una mortalidad alta y fluctuante, en tanto, la fecundidad es igual de elevada y el crecimiento de la población tiende a ser lento o cíclico. La esperanza de vida es corta y variable (entre 20 y más de 30 años). La población pasa por hambrunas y epidemias frecuentes, existe una alta desnutrición y las enfermedades infecciosas y parasitarias son comunes. La mortalidad se concentra en niños y mujeres.
- b) Etapa II: Pandemias en retroceso. La mortalidad desciende de forma progresiva a medida que las epidemias son menos frecuentes o desaparecen, por otro lado, la esperanza de vida aumenta (30 a 50 años) y el crecimiento de la población asciende por la disminución de la mortalidad y el aumento en la fecundidad. Descienden los niveles de desnutrición, así como las enfermedades transmisibles e infecciosas, sin embargo, las enfermedades parasitarias y no infecciosas se mantienen elevadas. El grupo de la población afectada por la mortalidad continúa siendo la de los niños y las mujeres jóvenes.
- c) Etapa III: Enfermedades degenerativas y producidas por el hombre. La fecundidad se convierte en el factor principal del crecimiento poblacional, mientras la mortalidad mantiene su descenso y se estabiliza a niveles relativamente bajos. La esperanza de vida se incrementa de forma gradual al superar los 50 años. Aumenta la prevalencia de enfermedades no infecciosas como las cardiovasculares, mentales, así como la diabetes, el cáncer, las adicciones o los problemas de contaminación.
- d) Etapa IV: Decline de la mortalidad cardiovascular, la modificación de los estilos de vida y las enfermedades emergentes y el aumento del envejecimiento. La esperanza de vida aumenta (80 a 85 años o más, especialmente en mujeres), así como también el envejecimiento se acrecienta y la fecundidad tiende a ser más baja a la mortalidad. Los cambios anteriores se dan debido a las modificaciones en los estilos de vida que adopta la población (reducción de tabaquismo, dietas, ejercicios, entre otros).

- e) Etapa V: Calidad de vida esperada, con longevidad paradójica y desigualdades persistentes (etapa futurista). El estudio dará comienzo no solo en la mortalidad, morbilidad y discapacidad, si no que este tendrá una nueva visión en términos de desarrollo humano como lo es el bienestar social, mental y espiritual en relación con el medio ambiente (Omran, 1971; Omran, 1998).

## **II) Etapas de la TE en las sociedades No Occidentales**

La TE no occidental se ve obstaculizada principalmente por la pobreza y el lento ritmo de desarrollo. La disminución de la mortalidad da comienzo durante el siglo XX.

- a) Etapa I: Pestilencia y hambrunas. Se caracteriza por ser una etapa más prolongada en comparación a las sociedades occidentales. Tanto la mortalidad como la fertilidad son altas y la esperanza de vida es corta (entre 20 y 35 años). Existe un predominio de enfermedades maternas, perinatales y nutricionales. La mortalidad infantil y maternal es la más elevada.
- b) Etapa II: Pandemias en retroceso. La etapa se retrasa en algunos países hasta que las epidemias disminuyen y así mismo la mortalidad comience a caer. La fecundidad es alta (7 a 10 por mujer) hasta casi finalizar la etapa. La recesión de epidemias y enfermedades transmisibles no es completa por lo que tienden a permanecer o resurgir más adelante.
- c) Etapa III: Triple carga sanitaria en sociedades no occidentales. Es la etapa más desafiante para las sociedades no occidentales, esto a causa de los problemas y sistemas de salud. Pese al avance que tienen los países, afrontan al menos una de las tres cargas de salud<sup>1</sup> (Omran, 1998).

---

<sup>1</sup> Las cargas de salud son: 1) *El viejo conjunto inacabado de problemas de salud*. Independientemente de la disminución de la morbilidad, la mortalidad y la fecundidad, los problemas de salud antiguos continúan siendo una carga como lo son las enfermedades transmisibles, perinatales, maternas, entre otras. 2) *Nuevo conjunto de problemas de salud*. Existe un aumento de enfermedades degenerativas, estrés y otras que aún prevalecen en las etapas anteriores. 3) *Sistemas de salud y formación médica rezagadas o mal preparadas*. Los sistemas de salud se encuentran mal preparados y, además se prevé que no se encuentren listos para manejar los problemas de envejecimiento (Omran, 1998).

## **Modelos de la transición epidemiológica**

Omran (1998) propuso distintos modelos en base a las variaciones, el ritmo, las determinantes y consecuencias de los cambios en la salud, la supervivencia y la población. Distinguiendo así los siguientes modelos epidemiológicos:

### **Modelos de Transición Occidental**

Los modelos de transición occidental describen el proceso de TE de las sociedades occidentales y de países desarrollados.

- *Modelo clásico.* El modelo occidental o clásico describe la TE de las sociedades occidentales. Donde la mortalidad tiene un cambio a la baja de 30 a 10%, la fecundidad disminuye de 40 a 20% y la esperanza de vida asciende de un rango de 30 - 40 años a uno de 80 - 90 años o más. Las principales razones o factores por las cuales se ven afectadas las variables antes mencionadas son los cambios sociales, económicos, ambientales, entre otros. Este modelo aplica en la mayoría de los casos a países desarrollados.
- *Modelo acelerado semi-occidental.* Describe la experiencia del proceso de TE en el Este de Europa y Japón, la mortalidad se reduce más rápidamente al 10% en un periodo de tiempo corto en comparación al modelo clásico. Los países que entran en este modelo inician un proceso de modernización previo al descenso de la mortalidad, lo que permite una mejora en los aspectos sociales de manera general.

### **Modelos de Transición No Occidental**

Los modelos de transición no occidental describen el proceso de TE de países del tercer mundo o en vías de desarrollo. El descenso de la mortalidad se retrasa en el periodo 1930 – 1950, mientras la fecundidad se rezaga hasta 1950 y el crecimiento de la población asciende al llegar a niveles sin precedentes.

- *Modelo de transición rápida.* Los países que entran en este modelo tienen una rápida industrialización o desarrollo social como lo es Taiwán, Hong Kong, China, la República de Corea, entre otros. El comportamiento de la mortalidad desciende moderadamente mientras la fecundidad se retrasa. Existe mayor control sobre la

triple carga de enfermedades y estos países tienden a acercarse a los parámetros de los modelos occidentales.

- *Modelo de transición intermedia.* En este modelo entran países con ingresos medios o medios-bajos como lo son México, Panamá, Colombia, Indonesia, India, Egipto, Perú, Marruecos, entre otros. La dinámica de la mortalidad y fecundidad es tardía y veloz. Enfrentan diversos aspectos, algunos de ellos son las enfermedades transmisibles, problemas de desnutrición y la prevalencia de enfermedades degenerativas y provocadas por el hombre.
- *Modelo lento.* El modelo lento describe el comportamiento de países menos desarrollados, localizados en África, Asia y parte de América Latina. Por lo general, la mortalidad disminuye moderadamente mientras la fecundidad se mantiene elevada por un largo periodo. Los países que entran en este modelo se encuentran menos preparados para enfrentar las tres cargas de salud.

### **1.3 Estocasticidad de la mortalidad**

De acuerdo con Pascariu (2018), modelar la mortalidad humana es un área importante y activa para diversos investigadores a lo largo del tiempo. Así, pueden citarse dos importantes casos. En el primero, Graunt (1662), el primer autor en examinar la mortalidad en Londres logró mostrar un patrón que preveía la mortalidad en grupos y causas de muerte, sin mencionar que fue el primero en publicar las estadísticas de salud pública. Luego, Halley (1693) construye la primera tabla de mortalidad no deficiente que se basa en el número de defunciones y nacimientos de la ciudad alemana de Breslau.

Este enfoque de análisis de la mortalidad humana se vio plasmado de forma concreta con la propuesta del primer modelo teórico de mortalidad. Este modelo fue propuesto por DeMoivre (1725), quien postula una distribución uniforme de muertes y muestra diversos métodos simplificados del cálculo de anualidades. Un siglo después, Gompertz (1825) adopta un enfoque biológico al relacionar en forma exponencial a la mortalidad y la edad, es decir, la mortalidad aumenta exponencialmente con la edad y la resistencia del individuo a enfermedades (o la muerte) disminuye exponencialmente a medida que este envejece.

Casi medio siglo después de Gompertz, Makeham (1867) introduce una nueva variable al modelo de Gompertz, representando la mortalidad accidental independiente de la edad, por lo que lo lleva a ser altamente utilizado como modelo estándar para la mortalidad adulta. Es decir, la evolución de estos primeros modelos se basó en la incorporación de elementos vinculados con la dinámica de la mortalidad humana, si bien éstos mostraron que sus capacidades predictivas son acotadas a determinados intervalos etarios.

Finalmente, después de un siglo de desarrollos, los modelos tomaron un giro más complejo y capaz de captar con precisión todo el rango de la mortalidad. Por ejemplo, Heligman y Pollard (1980) propusieron un modelo de mortalidad de ocho componentes para ajustar todo el rango de edad. Por otro lado, Siler (1983) desarrolla un modelo de riesgo competitivo con cinco parámetros para capturar la mortalidad durante la "inmadurez", la edad adulta y la senescencia o Thatcher et al. (1998) quienes establecen que el modelo logístico es el mejor modelo matemático de la mortalidad adulta.

Según Tabeau (2001), este tipo de modelos son considerados en la actualidad como modelos de funciones de parametrización o leyes de mortalidad, ya que describen los patrones de edad de la mortalidad en términos de funciones matemáticas por edad. En este sentido, la parametrización se aplica a una población "cerrada", es decir, a una cohorte de nacimiento o sintética (observada transversalmente en un año). Las funciones paramétricas de mortalidad se pueden clasificar en dos grupos:

1. *Polinomiales*: Son técnicas de interpolación y graduación. En general, usar polinomios en el modelado de patrones de mortalidad permite aproximarse con cualquier grado de precisión en la forma de una serie de potencias de Taylor.
2. *No polinomiales*: Son modelos de multicomponentes aditivos. Suelen aplicarse en diferentes causas de muerte en la infancia y la niñez, en la edad adulta y en la vejez.

La tabla 1.1 muestra un resumen de los modelos de parametrización de la mortalidad que se han desarrollado desde la perspectiva de la ciencia actuarial y la demografía. Este resumen se basa en los trabajos de Tabeau, van der Berg Jeths y Heathcote (2001) y Pascariu (2018).

**Tabla 1.1 Modelos para el análisis de la mortalidad**

Modelo	Autoría	Publicación
$\mu(x) = 1/(\omega - x)$	DeMoivre	1725
$\mu(x) = Ae^{Bx}$	Gompertz	1825
$\mu(x) = Ae^{Bx} + C$	Makeham	1867
$\mu(x) = Ax^{-\frac{1}{2}} + B + Cx^{\frac{1}{2}}$	Oppermann	1870
$\mu(x) = A_1e^{-B_1x} + A_2e^{-\frac{1}{2}B_2(x-C)^2} + A_3e^{B_3x}$	Thiele	1871
$q(x) = 1/B(A^{-(Bx)^N}) + A^{-(M-x)^N}$	Wittstein & Bumstead	1883
$\log_{10} s(x) = 10^{-(A)\sqrt{x}-B} + C$	Steffenson	1930
$\mu(x) = (A + BC^x)/(BC^{-x} + 1 + DC^x)$	Perks	1932
$\log_{10} s(x) = A + 10^{B\sqrt{x}+Cx+D}$	Harper	1936
$\mu(x) = A + Bx + Cx^2 + I/(N - x)$	Van der Maen	1943
$\mu(x) = A + Bx + I/(N - x)$		
$\mu(x) = \frac{1}{\sigma} \left( \frac{x}{M} \right)^{\frac{m}{\sigma}-1}$	Weibull	1951
$\mu(x) = \sum_i \left( H_i(x - B_i)^{C_i-1} + \frac{A_i}{(b_i - x)^{C_i+1}} + E_i d_i^x \right)$	Brillinger	1960
$\mu(x) = KAe^{Bx}/(1 + Ae^{Bx})$	Beard	1971
$\mu(x) = KAe^{Bx}/(1 + Ae^{Bx}) + C$	Beard-Makeham	1971
$\mu(x) = Ae^{Bx} / \left( 1 + \frac{AC}{B}(e^{Bx} - 1) \right)$	Gamma-Gompertz	1979
$\frac{q(x)}{p(x)} = A^{(x+B)^C} + De^{-E(\ln x - \ln F)^2} + GH^x$	Heligman-Pollard	1980
$q(x) = A^{(x+B)^C} + De^{-E(\ln x - \ln F)^2} + \frac{GH^x}{1 + GH^x}$		
$q(x) = A^{(x+B)^C} + De^{-E(\ln x - \ln F)^2} + \frac{GH^x}{1 + KGH^x}$		
$q(x) = A^{(x+B)^C} + De^{-E(\ln x - \ln F)^2} + \frac{GH^x}{1 + GH^x}$		
$q(x) = A_0 + A_1e^{-\alpha_1x} + A_2e^{-\alpha_2(x-\mu_2)-e^{-\lambda_2(x-\mu_2)}} + A_3e^{\alpha_3x}$	Rogers y Planck	1983
$\mu(x) = A_1e^{-B_1x} + A_2 + A_3e^{B_3x}$	Siler	1983
$S(x) = \psi_1S_1(x) + \psi_2S_2(x) + \psi_3S_3(x)$	Carriere	1992
$\frac{q(x)}{p(x)} = \begin{cases} A^{(x+B)^C} + De^{-E_1^2(\log(\frac{x}{F}))^2} + GH, & x < F \\ A^{(x+B)^C} + De^{-E_2^2(\log(\frac{x}{F}))^2} + GH, & x > F \end{cases}$	Kostaki	1992
$\mu(x) = Ae^{Bx}/(1 + Ae^{Bx})$	Kannisto	1998
$\mu(x) = Ae^{Bx}/(1 + Ae^{Bx}) + C$	Kannsto-Makeham	1998

Fuente: Elaboración propia a partir de Tabeau (2001) y Pascariu (2018).

Los modelos en la Tabla 1.1 describen la mortalidad en un punto fijo en el tiempo, sin embargo, la mortalidad real es estocástica y en continua evolución. Por lo que, los parámetros deben ajustarse de forma periódica para adaptarse a los cambios en los patrones de mortalidad.

Por otro lado, la previsión demográfica se hizo más notoria a partir de Malthus (1798). Los primeros en utilizar métodos de pronóstico de componentes de cohortes fue Cannan (1895) para Inglaterra y Gales, Tarasov (1999) para la Unión Soviética, Wiebols (1925) para Holanda, Wicksell (1928) para Suecia y Whelpton (1928) para los Estados Unidos de América.

A principios del siglo XX, el análisis de la dinámica de la mortalidad toma un giro importante ya que se establecen bajo los principios de los procesos estacionarios. Esta teoría que se basa en la transformación lineal del ruido blanco tiene importantes aplicaciones a partir de la publicación de la clásica obra de Box y Jenkins (1970) y los primeros ejemplos de su uso en la demografía se encuentran en trabajos como los de Saboia (1974, 1977).

A finales de 1980 y principios de la década de 1990, se empiezan a desarrollar nuevos enfoques para pronosticar la mortalidad al utilizar modelos estocásticos como Alho (1990); Alho y Spencer (1991); McNown y Rogers (1989, 1992); Bell y Monsell (1991), y Lee y Carter (1992). La principal ventaja de los modelos estocásticos es que la salida no es una sola cifra sino una distribución.

En el caso de interés de esta tesis, es fundamental comentar el trabajo de Lee y Carter (1992) quienes proponen un modelo logarítmico bilineal para las tasas de mortalidad que incorpora los efectos de la edad y año y que se expresa de la siguiente forma

$$\ln m_{xt} = \alpha_x + \beta_x k_t + \varepsilon_{xt}$$

Donde:

$m_{xt}$  tasa de mortalidad central observada en edad  $x$  durante el año  $t$ .

$\alpha_x$  patrón de mortalidad promedio específico por edad.

$\beta_x$  patrón de desviaciones de la edad de perfil a media que varía el índice de mortalidad  $k_t$ .

$\varepsilon_{xt}$  termino residual en edad  $x$  y tiempo  $t$ .

Este método combina un modelo demográfico parsimonioso con un análisis estadístico de series de tiempo. El modelo se ha aplicado para pronosticar la mortalidad de acuerdo con intervalos de confianza probabilísticos para el pronóstico.

El trabajo de Lee y Carter ha sido ampliamente citado en diversas investigaciones, así como tomado como marco de referencia para la modelación de la mortalidad, sin mencionar que, ha sido extendido por Lee y otros autores para obtener un mejor modelo que el original. Por ejemplo, Booth et al. (2006) modifica el modelo LC al tomar como forma óptima el periodo de tiempo, De Jong y Tickle (2006) reducen el número de parámetros de LC para modelar las tasas de mortalidad como espacio de estado suavizado. Luego, Yang et. al. (2010) usa componentes principales para expandir el modelo de Lee y Carter, mientras que Chen y Cox (2009) introducen saltos en el modelado de la variable de estado, que se encuentran en Lee y Carter (1992), para aumentar las medidas de bondad de ajuste y el precio de los valores vinculados a seguros o Renshaw y Haberman (2006) quienes agregan la variable del efecto cohorte, que incorpora el año de nacimiento en el modelo.

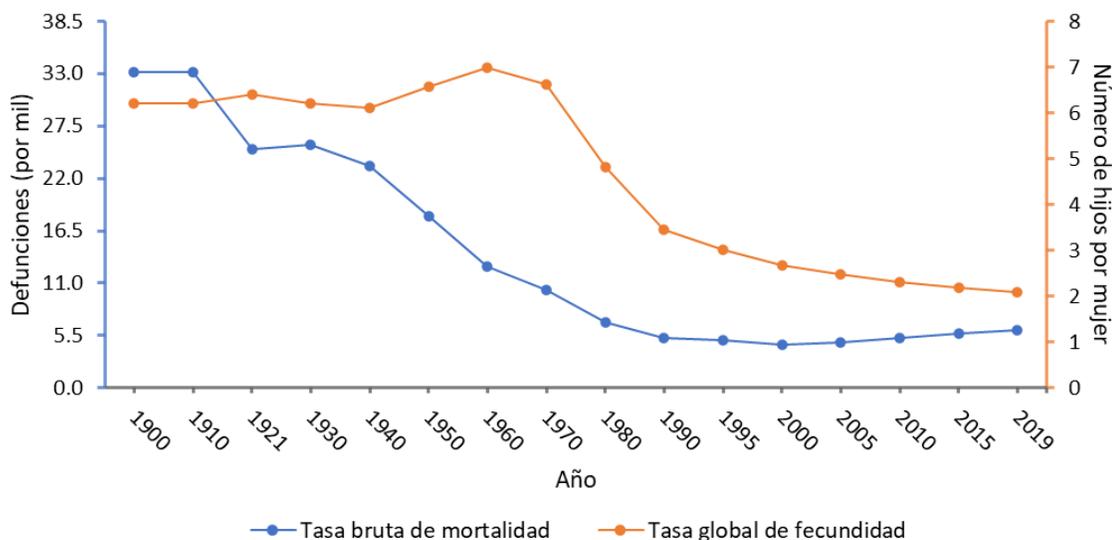
## Capítulo II. Contexto sociohistórico y evolución de la mortalidad en México, 1990 – 2015

En este capítulo se expone el comportamiento de la mortalidad en México de acuerdo con la teoría de la transición demográfica (TD) y la teoría de la transición epidemiológica (TE), con énfasis en el periodo de interés de esta tesis: 1990 – 2015. Además, se exponen los factores que los cambios institucionales, sociales y de salud pública tuvieron sobre el patrón de las tasas de mortalidad en el país lo que configura la experiencia de mortalidad de la población mexicana.

### 2.1 La transición demográfica en México

De acuerdo con lo expuesto en el capítulo anterior, la TD es una teoría y modelo de análisis de los cambios en la composición y en el tamaño de una población. Estos cambios se relacionan en forma directa con los patrones de fecundidad y de mortalidad que determinada población experimenta, los cuales, además, se presentan en forma de etapas que fueron catalogadas como actualmente se conocen por Notestein (1945).

Gráfica 2.1 Proceso de transición demográfica en México, 1900 – 2019

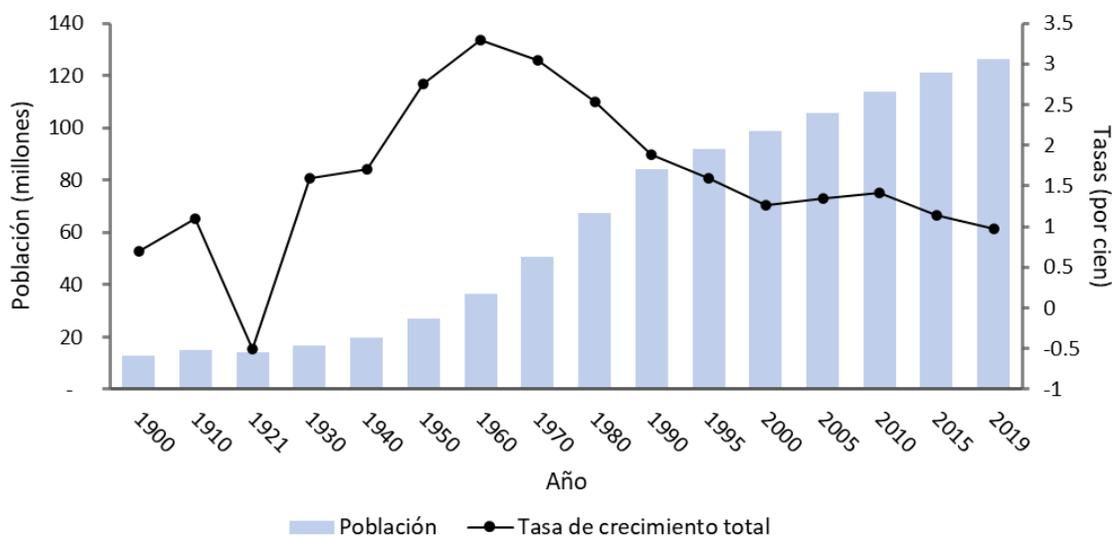


Fuente: Elaboración propia con base a Partida (2005); Mina (2010); la Conciliación Demográfica en CONAPO (2018) y SEMARNAT (2021).

México ha experimentado una TD tardía y veloz, y transita parte del proceso en menos de un siglo, lo que para países europeos tardó por lo menos dos siglos. En México, la etapa inicial o primera etapa de TD se visualiza en el primer decenio del siglo XX, la tasa de crecimiento anual<sup>2</sup> era constante de aproximadamente 1%, en tanto, la mortalidad y fecundidad eran altas. Tras la recuperación de los efectos de la Revolución Mexicana (1910 – 1921), el crecimiento poblacional aumentó con una tasa de 1.6% entre 1921 y 1930 (Zavala, 2014).

A partir de 1930, se observa una reducción en la tasa bruta de mortalidad de 25.5 defunciones por cada mil en ese año a 12.7 muertes en 1960, lo que indica el comienzo de la segunda etapa de la TD. El descenso permitió un crecimiento en la población de 16 millones de habitantes en 1930 a 36 millones en 1960, mientras la esperanza de vida ascendió de 33.9 años (33 para los hombres y 34.7 para las mujeres) a 56.2 años (54.8 para los hombres y 57.6 para las mujeres) para 1960 (Mina, 2010; Zavala, 2014;

**Gráfica 2.2 Población y tasa de crecimiento total en México, 1900 – 2019**



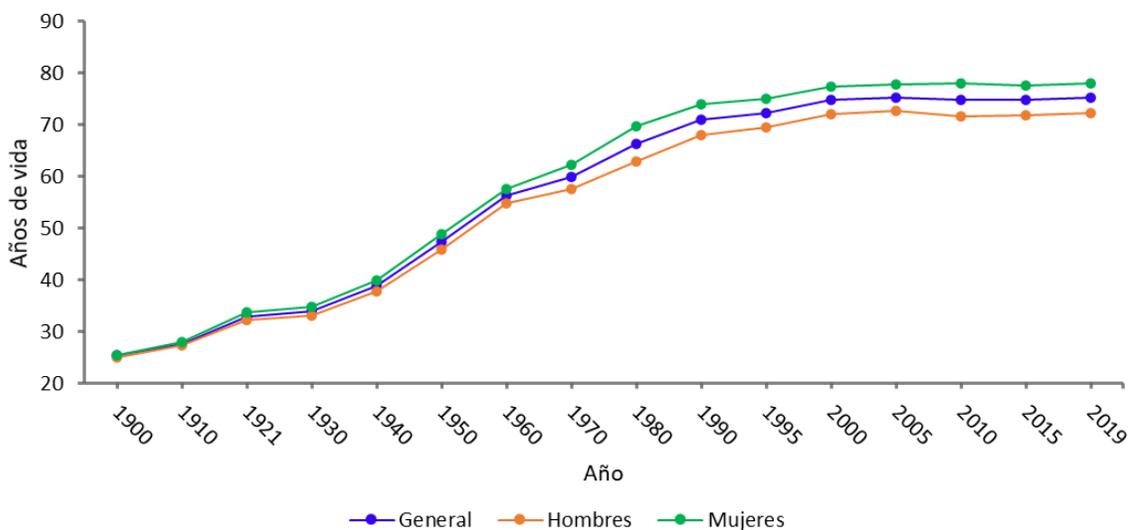
Fuente: Elaboración propia con base a Mina (2010) y la Conciliación Demográfica en CONAPO (2018).

<sup>2</sup> La tasa de crecimiento muestra la razón a la cual crece en promedio anualmente una población por cada 100 habitantes. En la tasa de crecimiento se refleja los efectos de los componentes de la dinámica demográfica: como son los nacimientos, defunciones y la migración (Organización Panamericana de la Salud, Unidad de información y Análisis de Salud, 2015).

CONAPO, 2018). Por otro lado, la tasa global de fecundidad<sup>3</sup> (TGF) en 1930 se aproximaba a los seis hijos por mujer y aumentó a siete hijos por mujer para 1960 (Partida, 2005).

Posteriormente, da comienzo la tercera etapa de la TD en 1970 cuando se acentúa el descenso de la fecundidad (Partida, 2005). De acuerdo a datos registrados en la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), en 1970 el número de hijos por mujer era de 6.6 y este disminuye notablemente a 4.8 y 3 hijos por mujer en 1980 y 1995, respectivamente. Como consecuencia del descenso de la fecundidad, el crecimiento poblacional del 3% en 1970, desciende a 2.5% en 1980 y 1.9% en 1990 (González, González, & Chickris, 2015; CONAPO, 2018). En tanto, para el 2015, la TGF se registró en 2.2 hijos por mujer, mientras la tasa bruta de mortalidad se asentó en 5.8 muertes por cada mil habitantes y la tasa de crecimiento poblacional se mantuvo en 1.1% (CONAPO, 2018).

**Gráfica 2.3 Esperanza de vida al nacer en México, 1900 – 2019**



Fuente: Elaboración propia con base a Mina (2010); Zavala (2014) y la Conciliación Demográfica en CONAPO (2018).

<sup>3</sup> La tasa global de fecundidad (TGF) o Tasa de Fecundidad Total es el número de hijos que en promedio tendría una mujer al final de su vida reproductiva de experimentar las tasas específicas por edad (Organización Panamericana de la Salud, Unidad de información y Análisis de Salud, 2015).

La tercera etapa de TD concluye a finales del siglo XX, mientras la cuarta etapa de este proceso se prevé que tendrá lugar cuando la mortalidad y fecundidad converjan a mediados del siglo XXI (Partida, 2005). Con base en lo anterior, se observa que, durante el proceso de transición demográfica, la población mexicana ha tenido distintos cambios.

Entre los que se observan:

- a) En el año 1900, la población se aproximaba a los 13.5 millones de habitantes, la mortalidad era de 33.1 muertes por cada mil habitantes, la esperanza de vida se estimaba en 25.3 años (25 para los hombres y 25.5 para las mujeres) y la TGF se encontraba por encima de los seis hijos por mujer.
- b) Mientras que en 2019, la población aumentó a 126.5 millones de habitantes, la mortalidad descendió a 6.02 muertes por cada mil habitantes, el número de hijos por mujer disminuyó a 2.1 y la esperanza de vida ascendió a los 75.1 años (72.2 para los hombres y 77.9 para las mujeres) (González, González, & Chickris, 2015; CONAPO, 2018).

En general, México ha cambiado en poco más de un siglo, sin mencionar que, aún resta por transitar las últimas dos etapas de TD y que los cambios esperados serán completamente distintos. Entre estos cambios se ha iniciado un acelerado proceso de envejecimiento poblacional cuyas consecuencias comienzan a perfilarse en términos económicos, sociales, de la salud y de la mortalidad. De hecho, se considera que el envejecimiento de la estructura etaria modificará los patrones de morbilidad y de mortalidad de la población mexicana de una actual predominancia de enfermedades crónicas no transmisibles (ECNT) a otro en el que las enfermedades mentales acompañen a las ECNT como causas de salud y de muerte. Estos cambios en los perfiles de morbimortalidad se han descrito y clasificado en la denominada TE propuesta por Omran (1971).

## 2.2 La transición epidemiológica en México

La TE en México ha tenido un proceso prolongado y retrasado. De acuerdo con la propuesta de Omran (1998), México se posiciona dentro del modelo de transición epidemiológica intermedia rápida. A principios del siglo XX, los índices de morbilidad eran altos a causa del paludismo en las zonas costeras de México, así como también, de los brotes de peste bubónica, fiebre amarilla y tifo que se presentaban en distintos estados del país. Otras enfermedades como la viruela, difteria y tuberculosis afectaban directamente a la población infantil (Kumate, 2002).

**Tabla 2.1 Principales causas de morbilidad en México, 1984 – 2019**

	1984	1990	2000	2015	2019
1°	Enfermedades respiratorias agudas	Infecciones respiratorias agudas	Infecciones respiratorias agudas	Infecciones respiratorias agudas	Infecciones respiratorias agudas
2°	Enteritis y otras enfermedades diarreicas	Diarreas	Infecciones intestinales por otros organismos y las mal definidas	Infecciones intestinales por otros organismos y las mal definidas	Infecciones intestinales por otros organismos y las mal definidas
3°	Parasitosis intestinales	Amibiasis	Infección de vías urinarias	Infección de vías urinarias	Infección de vías urinarias
4°	Amibiasis	Ascariasis	Amebiasis intestinal	Úlceras, gastritis y duodenitis	Úlceras, gastritis y duodenitis
5°	Accidentes por traumatismos	Dermatofitosis y dermatomicosis	Úlceras, gastritis y duodenitis	Gingivitis y enfermedades periodontales	Gingivitis y enfermedad periodontal
6°	Neumonías	Traumatismos y envenenamientos	Otras helmintiasis	Conjuntivitis	Conjuntivitis
7°	Varicela	Hipertensión arterial	Otitis media aguda	Otitis media aguda	Otitis media aguda
8°	Diabetes	Angina estreptocócica	Hipertensión arterial	Vulvovaginitis aguda	Obesidad
9°	Parotiditis	Sarna	Varicela	Obesidad	Vulvovaginitis
10°	Infecciones gonocócicas	Oxiuriasis	Ascariasis	Hipertensión arteria	Hipertensión arterial

Fuente: Elaboración propia con base al Anuario de morbilidad en DGE, 1984 – 2020.

Durante el periodo de 1922, las principales causas de mortalidad correspondieron a las enfermedades infecciosas o transmisibles como la neumonía, influenza, diarrea, enteritis, fiebre, tos ferina y viruela (Soto, Moreno, & Pahua, 2016). Del total de defunciones, 35% de éstas pertenecía a alguna de tales enfermedades (Escobedo, 2013). En 1930, se registraron alrededor de 17,000 fallecimientos por viruela y debido a esto, se emprendieron diversos programas sociales para mejorar la situación de salud (Kumate, 2002). Mientras que, en 1950 se observa una transición de causas de muerte, ahora las ECNT se posicionaban en los primeros lugares de la lista, entre las que resaltaban la gastroenteritis, neumonía, accidentes, violencia, entre otras.

**Tabla 2.2 Principales causas de mortalidad en México 1922 – 2019**

	1922	1950	1990	2000	2015	2019
1°	Neumonía e influenza	Gastroenteritis y colitis	Enfermedades del corazón	Diabetes mellitus	Diabetes mellitus	Enfermedades del corazón
2°	Diarreas enteritis	Gripe y neumonía	Tumores malignos	Enfermedades del corazón	Enfermedades del corazón	Diabetes mellitus
3°	Fiebre y caquexia palúdica	Ciertas enfermedades de primera infancia	Accidentes	Cirrosis y otras enfermedades del hígado	Tumores malignos	Tumores malignos
4°	Tos ferina	Accidentes, envenenamientos y violencias	Diabetes mellitus	Enfermedades cerebro-vasculares	Enfermedades del hígado	Enfermedades del hígado
5°	Viruela	Paludismo	Ciertas afecciones originadas en el periodo perinatal	Ciertas afecciones originadas en periodo perinatal	Enfermedades cerebro-vasculares	Agresiones (homicidios)
6°	Debilidad congénita	Tos ferina	Neumonía e Influenza	Enfermedad pulmonar obstruida crónica	Enfermedades crónicas de las vías respiratorias inferiores	Enfermedades cerebro-vasculares
7°	Tuberculosis	Cirrosis del hígado	Enfermedades infecciosas intestinales	Infecciones respiratorias agudas bajas	Enfermedades hipertensivas	Accidentes
8°	Muertes violentas	Tuberculosos	Enfermedades cerebro-vasculares	Accidentes de tránsito de vehículo de motor	Agresiones	Neumonía e influenza
9°	Bronquitis	Bronquitis	Cirrosis y otras enfermedades del hígado	Agresiones y homicidios	Neumonía	Enfermedades pulmonares obstructivas
10°	Senilidad	Sarampión	Homicidios y lesiones	Nefritis y nefrosis	Accidentes	Insuficiencia renal

Fuente: Elaboración propia con base a Perdígón y Fernández (2008) y Estadísticas en INEGI (2017).

A partir de 1990, la diabetes mellitus y las enfermedades del corazón se posicionan entre las primeras cuatro causas de mortalidad en México (Soto, Moreno, & Pahua, 2016). Entre el 2000 y 2014, se observó que la tasa de mortalidad de menores de un año redujo notoriamente, sin embargo, en el grupo de adultos mayores (65 años o más) la tasa de mortalidad aumentó. Por otro lado, la tasa de morbilidad tuvo un comportamiento contrario, es decir, en el grupo de edad de menores de un año la tasa de morbilidad se incrementó mientras que en el grupo de 65 años o más se vio aparentemente reducida.

Hasta 2014, las enfermedades infecciosas, respiratorias agudas, infecciones intestinales por otros organismos y de vías urinarias se posicionaban entre los primeros lugares como causa de morbilidad (Soto, Moreno, & Pahua, 2016). De acuerdo con registros del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) en 2019, se observó que las enfermedades crónico-degenerativas se concentraban en el grupo de personas adultas mayores (65 años o más) y que este tenía el mayor número de defunciones registradas. Además, se registraron las enfermedades del corazón, la diabetes mellitus, los tumores malignos, las enfermedades del hígado, las agresiones y las enfermedades cerebrovasculares como las seis principales causas de muerte en México durante el 2019.

La TE en México muestra diversos patrones que evidencian las características de la morbilidad y de la mortalidad en el país. Algunos de los elementos más destacables de la TE son los siguientes:

- a) Incremento en la incidencia y prevalencia de ECNT como diabetes mellitus, cánceres e isquemias cardíacas.
- b) Elevada incidencia en enfermedades transmisibles como el VIH y de retorno como el cólera o la malaria.
- c) Nuevas enfermedades o problemas como los trastornos mentales, accidentes, homicidios, suicidios y lesiones violentas que se suman a las enfermedades antiguas o ya conocidas (Martínez & Leal, 2002).

### 2.3 Factores relacionados los cambios en la mortalidad en México

A través de la historia de México, los factores sociales, económicos, políticos, culturales y de política sobre salud, han repercutido en la evolución de la población mexicana. Estos factores han modificado directa e indirectamente los niveles de mortalidad y morbilidad.

**Tabla 2.3 Estructuras, programas e instituciones de servicios de salud en México, 1928 – 2007**

<b>1928</b>	Unidades Sanitarias Cooperativas
<b>1931</b>	Servicio de Higiene Rural
<b>1936</b>	Servicios Médicos Ejidales Cooperativos
<b>1937</b>	Secretaría de Asistencia Pública
<b>1939</b>	Unidades Médico-Sanitarias Cooperativas
<b>1943</b>	Secretaría de Salubridad y Asistencia
	Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS)
	Hospital Infantil de México
<b>1953</b>	Programa de Bienestar Social Rural
<b>1960</b>	Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado (ISSSTE)
<b>1961</b>	Instituto de Seguridad Social para las Fuerzas Armadas
	Instituto Nacional de Protección a la Infancia (INPI)
<b>1964</b>	Programa Nacional para el Desarrollo de la Comunidad Rural
<b>1968</b>	Institución Mexicana de Asistencia a la Niñez (IMAN)
<b>1971</b>	Programa de Extensión de Cobertura
<b>1977</b>	Coordinación General del Plan Nacional de Zonas Deprimidas y Grupos Marginados (COPLAMAR)
	Sistema Nacional para el Desarrollo Integral de la Familia (DIF)
<b>1979</b>	Programa IMSS-COPLAMAR
<b>1980</b>	Programa de Atención a la Salud a la Población Marginada de las Grandes Urbes
<b>1995</b>	Programa de Ampliación de Cobertura
<b>1997</b>	Creación del Seguro de Salud para la Familia del IMSS
<b>2003</b>	Seguro Popular de Salud
<b>2007</b>	Seguro Médico para una Nueva Generación

Fuente: Gómez y Frenk (2019).

Una vez concluida la Revolución Mexicana (1910 – 1921), se instauran los primeros programas de salud pública y además se observaron ciertas modificaciones en las condiciones sociales. Por lo que, puede atribuírseles como las causas que provocaron los primeros indicios en la disminución de mortalidad de los años veinte y treinta. Además, en 1917 se crea el Consejo de Salubridad General y el Departamento de Salubridad como segunda autoridad sanitaria del país después del Hospital General de México fundado en 1905 (Kumate, 2002).

Por otro lado, la proclamación de la Ley General de Población de 1936 y 1947 contribuyeron a que, en la década de los setenta del siglo XX, la tasa bruta de mortalidad descendiera a 10.1 muertes por cada 1,000 habitantes (González, González, & Chickris, 2015).

A partir de 1917, se da el inicio de las campañas nacionales de vacunación (tuberculosis, difteria, varicela, etc.) y de la utilización masiva de insecticidas como el diclorodifeniltricloroetano (DDT). Estas tecnologías fueron las causas de la erradicación del tifus y de la viruela en 1952, además del paludismo y de la tuberculosis.

Por otro lado, la mejora de las condiciones sociales y de factores como la nutrición contribuyeron a la disminución de la mortalidad y de la morbilidad. Por ejemplo, se da el incremento en la disponibilidad de alimentos a causa de la reforma agraria y de la modernización de la agricultura, mediante la construcción de sistemas de riego y de redes de agua potable, de caminos, carreteras, alcantarillado, entre otros (Zavala, 2014).

La creación del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) y del Departamento de Salud en la Secretaría de Salud en 1943, fueron la pauta para dar comienzo a la expansión de servicios de salud, así como los educativos y de infraestructura sanitaria, principales determinantes de la reducción en la mortalidad (Partida, 2005).

**Tabla 2.4 Campañas y programas de Salud Pública en México, 1917 – 2013**

<b>1917</b>	Campaña Nacional Antivariolosa
<b>1921</b>	Campaña Nacional contra la Fiebre Amarilla
<b>1926</b>	Campaña contra el Paludismo
<b>1930</b>	Campaña Nacional contra la Lepra
<b>1932</b>	Campaña Nacional contra la Oncocercosis
<b>1934</b>	Campaña Nacional contra la Tuberculosis
<b>1941</b>	Campaña Nacional contra el Cáncer
<b>1943</b>	Campaña Nacional contra las Enfermedades Venéreas
	Campaña Nacional contra el Bocio
<b>1951</b>	Campaña Nacional contra la Poliomielitis
<b>1955</b>	Campaña Nacional para la Erradicación del Paludismo
<b>1959</b>	Campaña Nacional contra la Tosferina, Difteria y Tétanos
<b>1960</b>	Campaña Nacional para la Erradicación del Mal del Pinto
<b>1962</b>	Campaña Nacional contra la Fiebre Reumática
<b>1963</b>	Campaña Nacional contra las Diarreas
	Campaña Nacional contra las Neumonías
<b>1964</b>	Campaña Nacional de Prevención de Accidentes
<b>1972</b>	Programa Nacional de Planificación Familiar
<b>1973</b>	Programa Nacional de Inmunizaciones
<b>1985</b>	Establecimiento de los Días Nacionales de Vacunación
<b>1986</b>	Consejo Nacional para la Prevención del SIDA
<b>1991</b>	Programa de Agua Limpia
	Programa de Vacunación Universal
<b>1992</b>	Establecimiento de las Semanas Nacionales de Salud
<b>1997</b>	Programa de Educación, Salud y Alimentación (Progresá)
<b>2001</b>	Programa Arranque Parejo en la Vida
<b>2005</b>	Plan Nacional de Respuesta ante una Pandemia de Influenza
<b>2013</b>	Estrategia Nacional para la Prevención y Control del Sobrepeso
	Obesidad y Diabetes

Fuente: Gómez y Frenk (2019).

Después de la crisis de 1954, se desarrolló el “milagro mexicano” por el crecimiento real en los salarios, motivo por el cual se dieron las mejoras en la salud y sobre todo en la reducción de la mortalidad infantil (Soto, Moreno, & Pahua, 2016).

En 1974, se da la implementación de la nueva Ley General de Población para regular y controlar la estructura de la población. Además de que esta incluía la creación del Consejo Nacional de Población (CONAPO) como responsable de la planificación de la población. Así mismo, en 1977 se implementa el Programa Nacional de Planificación Familiar y este se hizo oficial en el año de 1980 (González, González, & Chickris, 2015).

Durante la década de los noventa se implementaron diversos programas sociales como el Programa Niños en Solidaridad: despensas, becas y atención médica, Programa de ampliación de cobertura (13 acciones y servicios) y el Programa PROGRESA. Estos programas permitieron que la población recibiera apoyos económicos, de educación y salud (Kumate, 2002).

A finales del siglo XX, el 71% de la población comienza a vivir en las zonas urbanas, zonas en las que existe una mejor instrucción educativa, por lo que la población comienza a tener mayores oportunidades laborales y así mismo, ha obtenido mejores ingresos que se relacionan con un mayor acceso a las oportunidades de educación (González, González, & Chickris, 2015).

En síntesis, los fenómenos que suscitaron en determinados periodos del siglo XX, dieron paso a la reconstrucción del estado mexicano, la seguridad pública, los movimientos sociales, la creación de instituciones sanitarias y la expansión de los servicios de salud, así como el aumento de la escolaridad, la creciente inserción laboral y la adquisición de avances científicos, médicos y tecnológicos de los países desarrollados, fueron y son elementos que influyen en el comportamiento de la morbilidad y de la mortalidad en México.

### **Capítulo III. Datos y metodología para el modelamiento de la mortalidad en México, 1990 – 2015**

Este capítulo tiene como objetivo presentar la metodología de investigación con la cual se desarrolla la tesis que se presenta. Se exponen las fuentes de datos, los procedimientos de estimación de las tasas de mortalidad por sexo y edad simple, y los desarrollos de los modelos a ajustar a la mortalidad mexicana entre los años 1990 – 2015, y que se utilizan para pronosticar la mortalidad de la población mexicana del periodo de 2016 a 2025.

#### **3.1 Fuente de datos**

Esta tesis recurre a una fuente que proporciona datos sobre los comportamientos poblacionales y de la mortalidad en México: *La Conciliación Demográfica de México, 1950 – 2015* (CONAPO, 2018) la cual se considerará como fuente de datos para la realización de este proyecto.

De acuerdo con los requerimientos de información de los modelos propuestos, es necesario contar con datos históricos desagregados por edad y sexo, así como del número observado de defunciones ocurridas en el año  $t$  a la edad  $x$ , la población de edad  $x$  a inicios del año  $t$  y la población de edad  $x$  expuesta al riesgo (a mitad de año) del año  $t$ . La mortalidad se obtuvo de la relación entre el número observado de defunciones ocurridas en el año  $t$  a la edad  $x$  y la población de edad  $x$  expuesta al riesgo (a mitad de año) del año  $t$ .

Los datos corresponden al periodo del año 1990 al 2015.

#### **3.2 Notación**

Antes de iniciar con la exposición de los procedimientos, se presenta la notación a seguir. Entonces,

$D_{xt}$  Número de muertes en una población de edad  $x$  durante el año  $t$ .

$d_{xt}$  Número observado de fallecimientos en edad  $x$  durante el año  $t$ .

- $E_{xt}$  Función censal de supervivencia o exposición al riesgo, es decir, recoge el promedio de individuos vivos de edad  $x$  durante el año  $t$ .
- $E_{xt}^c$  Exposición central al riesgo, es decir, la población viva de edad  $x$  a la mitad del año  $t$ .
- $E_{xt}^0$  Exposición inicial al riesgo, es decir, la población viva de edad  $x$  a inicio del año  $t$ .
- $q_{xt}$  Probabilidad de fallecimiento de una persona de edad  $x$  en el año  $t$ .

Para el desarrollo de las funciones anteriores es necesario partir de lo siguiente. Si se asume que, la mortalidad es uniforme a lo largo del año, entonces

$$E_{xt}^0 \approx E_{xt}^c + \frac{1}{2} d_{xt}$$

Luego, la estimación de la probabilidad de fallecimiento, queda definido como

$$\hat{q}_{xt} = \frac{d_{xt}}{E_{xt}^0}$$

Siendo  $\mu_{xt}$  la fuerza de mortalidad de una persona de edad  $x$  en el año  $t$ .

$$\mu_{xt} = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{h q_{xt}}{h}$$

Donde:

- $h q_{xt}$  probabilidad de fallecimiento de una persona de edad  $x$  durante el periodo  $t$  y  $t + h$ .
- $h$  horizonte temporal
- $m_{xt}$  Tasa central de mortalidad de edad  $x$  durante el año  $t$ . Con lo que la estimación de la tasa central de mortalidad  $m_{xt}$  es

$$\hat{m}_{xt} = \frac{D_{xt}}{E_{xt}^c}$$

Bajo el supuesto de que la mortalidad es constante para cada edad  $x$  y año  $t$ , es decir,  $\mu_{xt}$  es constante de la edad  $x$  a la edad  $x + 1$  y del año  $t$  al año  $t + 1$ , se cumple que  $\mu_{xt}$  coincide con la tasa central de mortalidad  $m_{xt}$ .

Las tasas de mortalidad se estimarán por sexo y edad, durante el periodo comprendido de 1990 a 2015. Por lo que, los datos que se presentan a continuación se requieren por sexo. Estos supuestos se consideran permanentemente en cada uno de los modelos a desarrollar.

### 3.3 Modelos de análisis de la mortalidad

#### 3.3.1 Generalidades de los modelos GAPC

De acuerdo con Villegas, Millossovich y Kaishev (2018), un modelo GAPC (modelos de mortalidad estocástica edad-periodo-cohorte generalizados) consta de cuatro componentes:

##### 1. Componente Aleatorio

El número de muertes  $D_{xt}$  sigue una distribución Poisson con tasa  $E_{xt}^c \mu_{xt}$

$$D_{xt} \sim \text{Poisson}(E_{xt}^c \mu_{xt}) \quad \text{donde} \quad E\left(\frac{D_{xt}}{E_{xt}^c}\right) = \mu_{xt}$$

O bien, sigue una distribución Binomial con parámetros  $E_{xt}^0, q_{xt}$

$$D_{xt} \sim \text{Binomial}(E_{xt}^0, q_{xt}) \quad \text{donde} \quad E\left(\frac{D_{xt}}{E_{xt}^0}\right) = q_{xt}$$

##### 2. Componente Sistemático

El predictor lineal  $\eta_{xt}$  recoge los efectos de la edad  $x$ , durante el año  $t$  y de la cohorte  $c = t - x$ , por lo que está dado por

$$\eta_{xt} = \alpha_x + \sum_{i=1}^N \beta_x^{(i)} k_t^{(i)} + \beta_x^{(0)} \gamma_{t-x}$$

Donde:

$\alpha_{xt}$  función estática que depende de la edad y que captura la forma general de la mortalidad.

$N \geq 0$  indica el número de periodos de edad utilizados para describir la tendencia de la mortalidad.

$\beta_x^{(i)}$  modula el efecto de la mortalidad a través de las edades.

$k_t^{(i)}$  índice que describe la tendencia de la mortalidad.

$\beta_x^{(0)}$  modula el impacto en las diferentes edades.

$\gamma_{t-x}$  explica el efecto de la cohorte.

### 3. Componente de Enlace

Una función de enlace  $g$  que relaciona la esperanza matemática de la variable dependiente con el predictor lineal, está dada como

$$\eta_{xt} = g \left( E \left( \frac{D_{xt}}{E_{xt}^c} \right) \right)$$

En el caso de utilizar funciones de enlace canónicas,  $g$  es la función de enlace logarítmica (log) si se considera la distribución Poisson o *logic* si se trabaja con la distribución Binomial.

### 4. Conjunto de restricciones

Los parámetros son restringidos con la intención de garantizar una estimación única.

Las restricciones se aplican a través de una función  $v$  que toma un vector arbitrario de parámetros

$$\theta := \left( \alpha_x, \beta_x^{(1)}, \dots, \beta_x^{(N)}, k_t^{(1)}, \dots, k_t^{(N)}, \beta_x^{(0)}, \gamma_{t-x} \right)$$

Y lo transforma en el vector

$$v(\theta) = \tilde{\theta} = \left( \tilde{\alpha}_x, \tilde{\beta}_x^{(1)}, \dots, \tilde{\beta}_x^{(N)}, \tilde{k}_x^{(1)}, \dots, \tilde{k}_x^{(N)}, \tilde{\beta}_x^{(0)}, \tilde{\gamma}_{t-x} \right)$$

Que satisface las restricciones del modelo sin efecto sobre el predictor  $\eta_{xt}$ .

Una vez expuesto lo anterior, en los siguientes apartados se exponen los supuestos básicos de los modelos a estimar en esta tesis: Lee-Carter y Renshaw-Haberman como modelos GAPC los cuales se ajustarán a la experiencia de mortalidad mexicana y con la ecuación que muestre el mejor ajuste estadístico para desarrollar los pronósticos de la mortalidad.

### 3.3.2 Modelo Lee-Carter GAPC

El modelo Lee-Carter (1992) como modelo GAPC, fue implementado por Brouhns, Denuit y Vermunt (2002), quienes asumen que el número de muertes sigue una distribución Poisson con media igual a  $E_{xt}^c \mu_{xt}$  y función de enlace logarítmica (log).

Posteriormente, el modelo fue propuesto al caso de distribución binomial. El modelo se define de la siguiente manera,

$$\eta_{xt} = \alpha_x + \beta_x^{(1)} k_t^{(1)}$$

s.a.

$$\sum_x \beta_x^{(1)} = 1 \quad \sum_t k_t^{(1)} = 0$$

El cual puede transformarse de la siguiente forma

$$\left( \alpha_x, \beta_x^{(1)}, k_t^{(1)} \right) \rightarrow \left( \alpha_x + c_1 \beta_x^{(1)}, \frac{1}{c_2} \beta_x^{(1)}, c_2 (k_t^{(1)} - c_1) \right) \quad c_1, c_2 \in \mathbb{R} \text{ y } c_1, c_2 \neq 0$$

y

$$c_1 = \frac{1}{n} \sum_t k_t^{(1)} \quad c_2 = \sum_x \beta_x^{(1)}$$

sin que el predictor lineal  $\eta_{xt}$  y las restricciones sufran cambio alguno.

### 3.3.3 Modelo Renshaw-Haberman

Renshaw y Haberman (2006) asumen que el número de muertes se distribuyen Poisson y además incorporan un parámetro que captura el efecto global de la cohorte  $t - x$ . Dicho parámetro muestra los cambios en la mortalidad que experimenta cada generación. Los cambios entre las cohortes tienen diversas causas como, por ejemplo, las epidemias, las guerras o la disminución en la mortalidad infantil.

En 2011, Renshaw y Haberman proponen una estructura más simple con la intención de darle mayor estabilidad y precisión al modelo original. Por lo que, el modelo Renshaw-Haberman (2011) se define como

$$\eta_{xt} = \alpha_x + \beta_x^{(1)} k_t^{(1)} + \gamma_{t-x}$$

s.a.

$$\sum_t k_t^{(1)} = \sum_{c=t_1-x_k}^{t_n-x_1} \gamma_c = 0 \quad y \quad \sum_x \beta_x^{(1)} = 1$$

Y puede transformarse como

$$\left( \alpha_x, \beta_x^{(1)}, k_t^{(1)}, \gamma_{t-x} \right) \rightarrow \left( \alpha_x + c_1 \beta_x^{(1)} + c_2, \frac{1}{c_3} \beta_x^{(1)}, c_3 (k_t^{(1)} - c_1), \gamma_{t-x} - c_2 \right)$$

$$c_1, c_2, c_3 \in \mathbb{R} \quad y \quad c_1, c_2, c_3 \neq 0$$

y

$$c_1 = \frac{1}{n} \sum_t k_t^{(1)} \quad c_2 = \frac{1}{n+k-1} \sum_{c=t_1-x_k}^{t_n-x_1} \gamma_c \quad c_3 = \sum_x \beta_x^{(1)}$$

sin modificar el predictor lineal  $\eta_{xt}$  y las restricciones originales.

### 3.3.4 Estimación de los parámetros de los modelos GAPC

La estimación de parámetros de los modelos GAPC se realiza mediante la implementación del método de máxima verosimilitud, el cual maximiza la función log-verosimilitud.

Para el caso de la distribución Poisson se tiene que

$$L(d_{xt}, \hat{d}_{xt}) = \sum_{x,t} w_{xt} \{ d_{xt} \ln(\hat{d}_{xt}) - \hat{d}_{xt} - \ln(d_{xt}!) \}$$

Y para el caso de la distribución Binomial se da que

$$L(d_{xt}, \hat{d}_{xt}) = \sum_{x,t} w_{xt} \left\{ d_{xt} \ln \left( \frac{\hat{d}_{xt}}{E_{xt}^0} \right) + (E_{xt}^0 - d_{xt}) \ln \left( \frac{E_{xt}^0 - \hat{d}_{xt}}{E_{xt}^0} \right) + \ln \left( \binom{E_{xt}^0}{d_{xt}} \right) \right\}$$

Para ambos casos se considera que

$$w_{xt} = \begin{cases} 0, & \text{si se omite un valor } (x, t) \\ 1, & \text{caso opuesto} \end{cases} \quad \hat{d}_{xt} = E_{xt} g^{-1} \left( \alpha_x + \sum_{i=1}^N \beta_x^{(i)} k_t^{(i)} + \beta_x^{(0)} \gamma_{t-x} \right)$$

La maximización de  $L(d_{xt}, \hat{d}_{xt})$  se realiza mediante el método iterativo Newton-Raphson para cada uno de los modelos (Brouhns, Denuit, & Vermunt, 2002; Renshaw & Haberman, 2006; Renshaw & Haberman, 2011).

$$\hat{\theta}^{(v+1)} = \hat{\theta}^{(v)} - \frac{\frac{\partial L^{(v)}}{\partial \theta}}{\frac{\partial^2 L^{(v)}}{\partial \theta^2}}$$

Donde  $L^{(v)} = L^{(v)}(\hat{\theta}^{(v)})$  y  $(v)$  es igual al número de iteraciones y  $\hat{\theta}$  toma los valores a estimar de cada uno de los parámetros del modelo a estimar.

### 3.3.5 Elección del modelo

El objetivo de seleccionar un modelo es elegir aquel que presenta un mejor balance entre la capacidad de ajuste de los datos y su complejidad. Generalmente los modelos con mayor número de parámetros tienden a ajustar mejor una base de datos, sin embargo, este tipo de modelos tienden a ser más inestables y a modelar la variabilidad de los datos más que su tendencia (Peña, 2014).

De acuerdo con lo anterior, los modelos se pueden evaluar bajo los siguientes criterios de información:

- Criterio de información de Akaike (AIC, *Akaike Information Criterion*) que está definido como

$$AIC = 2k - 2\ln(L)$$

Donde:

$k$  número de parámetros a estimar

$\ln$  logaritmo natural

$L$  función de máxima verosimilitud del proceso estimado

- Criterio de información de Schwarz o Bayesiano (BIC, *Bayes Information Criterion*) que se expresa como

$$BIC = -2\ln(L) + k\ln(n)$$

Donde:

$k$  número de parámetros a estimar

$\ln$  logaritmo natural

$L$  función de máxima verosimilitud del proceso estimado

Los criterios de información de Akaike y de Schwarz son medidas de la calidad relativa de un modelo que representan el ajuste y el número de términos en el modelo. El modelo con el valor AIC y BIC más bajo es considerado como el mejor modelo en explicar y/o representar a los datos con el menor número de parámetros.

Como se comentó, una vez que se haya logrado la estimación de los modelos antes mencionados y se halla definido cuál de ellos muestra las mejores propiedades estadísticas, se procederá a utilizar este último para pronosticar la mortalidad de la población mexicana que, para el caso de la hipótesis planteada es el Renshaw-Haberman.

### **3.4 Desarrollo de pronósticos de la mortalidad**

Para pronosticar la mortalidad en México, se recurre a modelos de series de tiempo basados en ecuaciones autorregresivas, integradas y de medias móviles (ARIMA  $(p,d,q)$ ). Los modelos ARIMA permiten describir la forma en la que suceden las observaciones a lo largo del tiempo, sin mencionar que, son adecuados al realizar pronósticos a corto plazo, a causa de la capacidad de aprender de los cambios en la dinámica de la serie temporal según un conjunto de parámetros definidos (Arnau, 1996). Sin embargo, ante el caso de presentarse algún problema al pronosticar la mortalidad de México mediante la aplicación de modelos ARIMA, no se descarta la posibilidad de recurrir a otros procedimientos o modelos de pronóstico como son los suavizados exponenciales (Brown, Holt, Holt-Winters) o modelos de espacio de estado de innovaciones (Error, Tendencia, Estacionalidad) (Hyndman, Koehler, Ord, & Snyder, 2008).

En el caso de la propuesta de desarrollo de una ecuación ARIMA, una forma de modelización como ésta implica desarrollar un conjunto de pasos de acuerdo con la metodología Box-Jenkins:

1. Identificación
2. Estimación
3. Validación
4. Pronósticos

En otras palabras, la metodología Box-Jenkins es un proceso iterativo que se basa en dos principios: la selección del modelo de acuerdo con su ajuste y el principio de parsimonia estadística.

En general, el modelo  $ARIMA(p, d, q)$  puede representarse como

$$\Phi_p(B)\nabla^d Y_t = \theta_q(B)e_t \quad d \geq 1$$

Según Martínez (2008, pág. 34) “el modelo  $ARIMA(p, d, q)$  indica que consta de un polinomio autorregresivo de orden  $p$ , una diferencia de orden  $d$  y un polinomio de promedios móviles de orden  $q$ ”. De tal forma que el modelo puede escribirse como sigue

$$W_t - \phi_1 W_{t-1} - \dots - \phi_p W_{t-p} = e_t - \theta_1 e_{t-1} - \dots - \theta_q e_{t-q} \quad d \geq 1$$

La modelización ARIMA inicia con la identificación de la estacionariedad del proceso, a través de tres pruebas: la revisión de la gráfica de la serie original, el correlograma de las funciones de autocorrelación simples y parciales, y la prueba Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin (KPSS). El estadístico KPSS evalúa la hipótesis nula de estacionariedad del proceso ( $H_0: \gamma \neq 0$ ) contra la hipótesis alternativa de la presencia de raíz unitaria ( $H_a: \gamma = 0$ ). El estadístico KPSS se expresa como sigue,

$$KPSS: Y_t = \beta t + r_t + \varepsilon_t$$

Donde:

- $\beta t$       tendencia determinística
- $r_t$       caminata aleatoria
- $\varepsilon_t$     errores estacionarios de estimación

En sentido estricto, el estadístico KPSS permite evaluar la presencia de un proceso estacionario en tendencia. En este caso, se busca definir un proceso serie temporal como estacionario si se acepta la hipótesis nula de la prueba KPSS.

Por otra parte, las funciones de autocorrelación permiten establecer el grado de correlación lineal entre los momentos del proceso (Arnau, 1996). Así, existen dos formas de determinar la correlación: el coeficiente de autocorrelación simple (ACF en inglés de autocorrelation function) y el coeficiente de autocorrelación lineal parcial (PACF en inglés de partial autocorrelation function) (González, 2009). El coeficiente de la ACF para el retardo  $k$  permite evaluar la presencia de correlación lineal entre los momentos  $t$  y  $t - k$  del proceso serie de tiempo. La función de autocorrelación simple (ACF) queda expresada de la siguiente forma,

$$ACF = \Gamma_k = \frac{\sum_{t=1}^{n-k} (Y_t - \bar{Y}_t)(Y_{t-k} - \bar{Y}_t)}{\sum_{t=1}^{n-k} (Y_t - \bar{Y}_t)^2}$$

Donde:

$\Gamma_k$  coeficiente de autocorrelación para el retardo  $k$

$\bar{Y}_t$  media del proceso serie de tiempo

Además, el coeficiente PACF permite determinar el grado de autocorrelación de la serie temporal en  $t$  y  $t - k$  al considerar las correlaciones lineales intermedias.

Así, la función de PACF se expresa como,

$$PACF = P_k = \frac{cov(Y_t, Y_{t-k})}{sY_t sY_{t-k}}$$

Donde:

$cov(Y_t, Y_{t-k})$  desviación del proceso en  $Y_t$  respecto de  $Y_{t-k}$

$sY_t$  desviación del proceso en  $Y_t$

$sY_{t-k}$  desviación del proceso en  $Y_{t-k}$

Cuando la estacionariedad no es evidente, es necesario hacer uso de alguna transformación o una diferenciación, incluso una transformación Box-Cox sobre la

varianza de  $Y_t$ . En el caso de un proceso de diferenciación, las primeras diferencias de una serie están dadas por

$$\nabla Y_t = Y_t - Y_{t-1}$$

Posteriormente, se debe realizar nuevamente la prueba del estadístico KPSS, y en caso de que la serie continúe sin ser estacionaria, se puede recurrir a la segunda diferenciación.

Una vez identificado el proceso estocástico  $y_t$ , se deben estimar los parámetros de los polinomios  $AR(p)$  y  $MA(q)$  del probable modelo ARIMA.

$$\beta = \{\delta, \phi_1, \dots, \phi_p, \theta_1, \dots, \theta_q\}$$

Mediante las funciones ACF y PACF, se proponen varios modelos alternativos con diversas combinaciones  $AR(p)$  y  $MA(q)$ . Los modelos propuestos son comparados entre sí al utilizar los criterios de información AIC y BIC bajo un procedimiento iterativo de selección (ver Sección 3.3.5).

Para validar el probable modelo definido con AIC y BIC, se debe realizar la prueba del estadístico Ljung-Box, el cual permite realizar un contraste de los residuos y determinar si estos se distribuyen en forma de ruido blanco (Peña, 2014). El estadístico Ljung-Box se expresa de la siguiente forma,

$$Q = n(n+2) \sum_{k=1}^h \frac{\hat{\rho}_k^2}{n-k}$$

Donde:

$\hat{\rho}_k^2$  coeficiente de autocorrelación muestral para el retardo  $k$

$n$  tamaño muestral o longitud de la serie temporal

$k, h$  retardo temporal entre los residuos que se evalúa.

El estadístico Ljung-Box se evalúa mediante cuantiles de una distribución chi-cuadrada ( $Q > \chi_{1-\alpha, h}^2$ ) en el que la hipótesis nula plantea la independencia de los datos, es decir, las autocorrelaciones no muestran correlación serial (Alarcón, 2019). Así, en el estadístico se define ( $H_o$ : Independencia de los datos).

A partir de lo anterior, si el proceso es estacionario sin recurrir a ningún procedimiento de transformación de la media, se define una ecuación ARMA( $p, q$ ) para la cual el posible modelo puede ser expresado de la siguiente forma

$$Y_t = \delta + \phi_1 Y_{t-1} + \phi_2 Y_{t-2} + \dots + \phi_p Y_{t-p} + \theta_q e_{t-q} + \dots + \theta_2 e_{t-2} + \theta_1 e_{t-1} + e_t$$

Mientras que si se trata de una ecuación ARIMA la expresión de la ecuación es

$$Z_t = \delta + \phi_1 Y_{t-1} + \phi_2 Y_{t-2} + \dots + \phi_p Y_{t-p} + \theta_q e_{t-q} + \dots + \theta_2 e_{t-2} + \theta_1 e_{t-1} + e_t$$

Donde:

$Z_t$  proceso transformado o en primeras diferencias ( $d = 1$ )

$\delta$  expresa una tendencia no constante

$\phi_1, \dots, \phi_p$  definen los coeficientes autorregresivos para los retardos  $Y_{t-1}, \dots, Y_{t-p}$

$\theta_1, \dots, \theta_q$  definen los coeficientes de medias móviles para los retardos  $Y_{t-1}, \dots, Y_{t-q}$

Al obtener el mejor modelo que describa a la serie de tiempo, se realizan los pronósticos para observar el comportamiento que podría llegar a tener la serie en un determinado periodo de tiempo (Peña, 2014). Así, los pronósticos quedan definidos por  $Y_{T+h|T}$ , con el intervalo de confianza al 95% bajo la forma  $Y_{T+h|T} \pm 1.96\sqrt{\hat{\sigma}^2 h}$ .

Todos los procedimientos de cálculo de esta tesis se desarrollaron en R (Comprehensive R Archive Network) y se utilizaron diversas librerías ya establecidas como StMoMo (Villegas, Millossovich, & Kaishev, 2018) y fpp3 (Hyndman & Athanasopoulos, 2021). Cuando no se encontró disponible la función necesaria a los procedimientos de esta tesis, éstas se programaron para lograr los análisis y las estimaciones apropiadas.

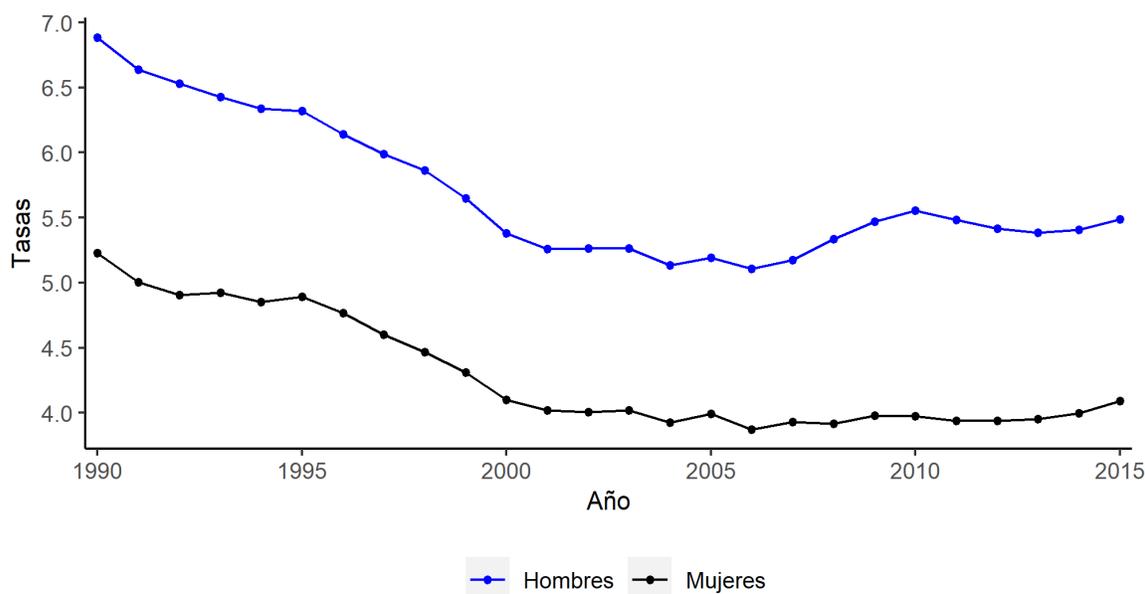
## Capítulo IV. Estimación y pronósticos de la mortalidad en México, 1990 – 2025

En este capítulo se presentan los resultados de la investigación, de acuerdo con las técnicas de estimación, ajuste y pronóstico a los datos utilizados. El periodo histórico comprende los años 1990 al 2015 con el fin de identificar el modelo que mejor represente a la mortalidad mexicana y así mismo dar a conocer el pronóstico de periodo comprendido de 2016 al 2025.

### 4.1 La mortalidad en México, 1990 – 2015

De acuerdo con los datos proporcionados por la Conciliación Demográfica de México, 1990 – 2015 (CONAPO, 2018), la dinámica de la mortalidad general en México según sexo tiene un comportamiento típico, donde los hombres tienen una tasa de mortalidad mayor que las mujeres. En la actualidad, existen diversas explicaciones con respecto a este fenómeno, ya sea desde el punto de vista biológico, sociológico e inclusive demográfico, sin embargo, no se ha llegado a una conclusión definitiva. La Gráfica 4.1 expone el comportamiento de la tasa de mortalidad estandarizada por sexo en el periodo 1990 – 2015 en México.

Gráfica 4.1 Tasa de mortalidad estandarizada por cada mil habitantes en México, 1990 – 2015



Fuente: Elaboración propia con base a la Conciliación Demográfica en CONAPO, 2018.

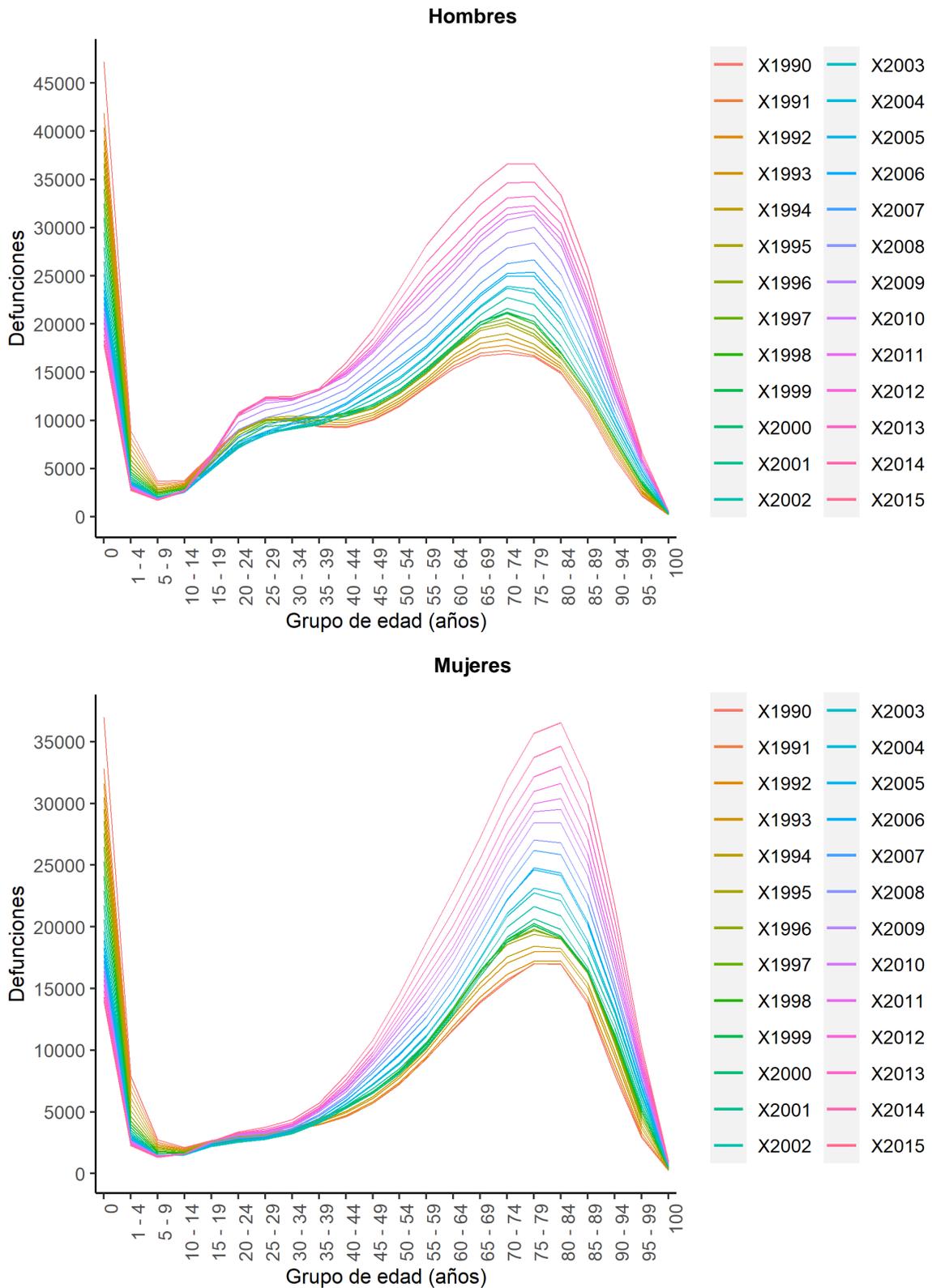
A finales del siglo XX y principios del siglo XXI, la mortalidad mexicana ha sufrido diversos cambios como se muestra en la Gráfica 4.1 y que se menciona a continuación. Por ejemplo, en 1990, la tasa de mortalidad en hombres se aproximaba a las siete muertes por cada mil hombres, y luego ésta disminuyó para el año 2000 en cinco decesos por cada mil y se mantuvo en ese rango por los siguientes 15 años. Lo anterior permitió un crecimiento en la población masculina de 41 millones a 59 millones en 1990 y 2015, respectivamente.

Además, en 1990 se registraron más de 252 mil defunciones en hombres para todas las edades (57% del total de las muertes), de las cuales el mayor número de defunciones masculinas se registraban en niños menores a un año con 47 mil muertes (18.6% del total de defunciones masculinas), y en hombres de 70 a 74 años con 16 mil (6.6% del total de defunciones masculinas), en tanto el menor número de decesos se dio en hombres de 100 años con 172 decesos y tres mil muertes en niños de 5 a 9 años de edad.

Mientras en 2015, se dieron poco más de 388 mil defunciones (56% del total de las muertes) y los grupos de edad con mayor número de defunciones se presentaron en adultos de 70 a 74 y 75 a 79 años con un aproximado de 37 mil muertes (9% del total de defunciones masculinas) por cada grupo, en cambio, el menor número de defunciones se mantuvo en adultos de 100 años con alrededor de 606 muertes y en niños de entre los 5 a 9 años de edad con un total de mil muertes (ver Gráfica 4.2).

En el caso de las mujeres, la tasa de mortalidad se registró por encima de las cinco muertes por cada mil mujeres a principios de 1990 y se vio reducida durante una década para establecerse entre el año 2000 y el 2015 sobre un mínimo de tres y un máximo de cuatro muertes por cada mil mujeres. Permitiendo así un incremento en la población femenina de 42 millones a 61 millones en 1990 y 2015, respectivamente (ver Gráfica 4.1).

**Gráfica 4.2 Defunciones totales por sexo y grupo de edad en México, 1990 - 2015**



Fuente: Elaboración propia con base a la Conciliación Demográfica en CONAPO, 2018.

En 1990 se registraron más de 193 mil muertes de mujeres (43% del total de muertes), en donde niñas menores de un año registraban el mayor número de defunciones, siguiéndole las mujeres de 75 a 79 años de edad con 36 mil (19% del total de muertes femeninas) y 17 mil decesos (8.8% del total de muertes femeninas), respectivamente. En cuanto al menor registro de defunciones se presenciaron en mujeres de 100 años y 10 a 14 años de edad con 230 y dos mil muertes, respectivamente.

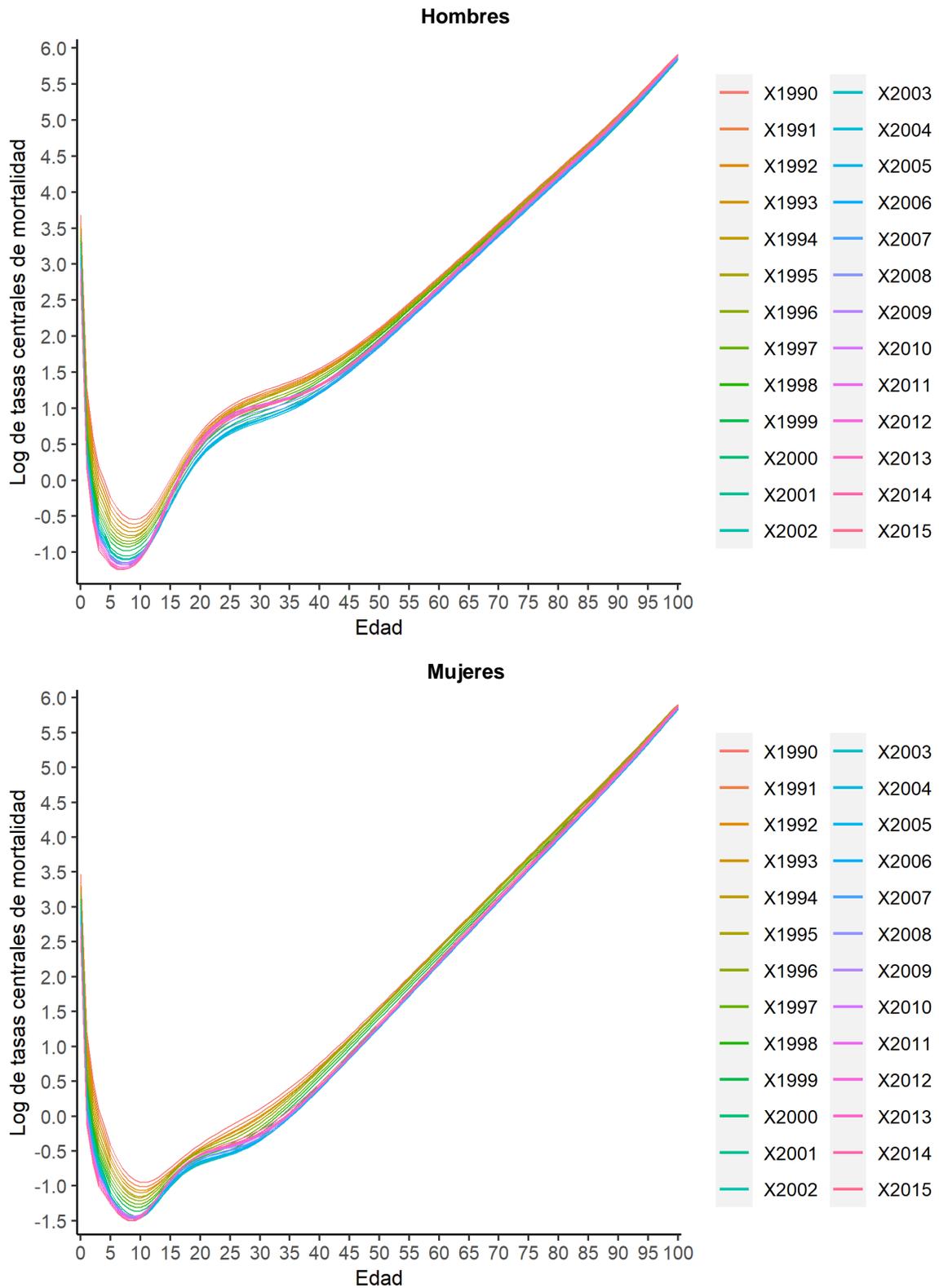
En 2015 se asentaron 310 mil defunciones femeninas (44% del total de muertes) con un registro máximo en 36 mil decesos en mujeres de 80 a 84 años de edad y un registro mínimo de 962 en mujeres de 100 años de edad y mil decesos en niñas de 5 a 9 años (ver Gráfica 4.2).

La reducción de la mortalidad infantil fue la más notable desde 1990 al 2015, sin embargo, a pesar de la importante disminución de la misma se esperaba que el número de decesos fuera menor o en el mejor de los casos no debería de existir.

En tanto, el comportamiento de las tasas centrales de mortalidad por edad simple de 1990 al 2015 para hombres y mujeres son muy similares en la infancia y la edad adulta y las diferencias más notorias se presentan durante la juventud. En la etapa infantil, como se observa en la Gráfica 4.3 existe una menor probabilidad de fallecer (niños(as) mayores a un año de edad), mientras que las personas de edad adulta y avanzada la probabilidad de morir tiende a ser más alta.

La juventud es la etapa en la que los hombres son más propensos a sufrir muerte a causa de exponerse a situaciones de riesgo (accidentes automovilísticos), fenómeno que en la literatura se le denomina “joroba de accidentes” (Remund, Camarda, & Riffe, 2021), además cabe señalar que a este fenómeno se le suman otras causas como son la violencia, el alcoholismo o las drogas, entre otras causas.

**Gráfica 4.3 Tasas específicas de mortalidad por sexo y edad simple en México, 1990 – 2015**



Fuente: Elaboración propia con base a la Conciliación Demográfica en CONAPO, 2018.

También, con el paso de los años dicho comportamiento se ha mantenido presente y encima ha incrementado su amplitud en los últimos años, como se puede observar del año 2010 al 2015.

En el caso de las mujeres, la “joroba de accidentes” es menos predominante que en la de los hombres, sin embargo, en la última década que parte de 2005 al 2015 comenzó a hacerse más presente.

Cabe señalar que uno de los principales factores de los cambios en la dinámica de lo mortalidad mexicana es el envejecimiento de la población a través de los años, pero además de este hecho, existen otros factores que repercuten en la misma, como son los factores sociales, políticos o de salud.

Durante la década de los noventa suscitaron diversos eventos que favorecieron a la reducción de tasas de mortalidad, como la implementación de los programas de agua limpia y vacunación universal<sup>4</sup>, además de la construcción de nuevas clínicas y hospitales. Sin mencionar que, se extendió a 23 estados de la República Mexicana la cobertura de los servicios de salud mediante el acuerdo federal de descentralización<sup>5</sup>.

Sin embargo, a finales de los años noventa y durante los primeros años del año 2000 surgieron eventos que repercutieron indirectamente a la reducción de la tasa de mortalidad, el primero que se presenta es el fin del subsidio a la tortilla, uno de los principales alimentos de la población mexicana, lo que provocó que el precio de la misma se disparara<sup>6</sup>, por otro lado, durante el sexenio del expresidente Felipe Calderón se

---

<sup>4</sup> El programa de vacunación universal de 1991, surge con la finalidad de proteger la salud infantil de México. Para más información véase (Santos, 2002).

<sup>5</sup> Para más información al respecto véase el Acuerdo Nacional para la Descentralización de los Servicios de Salud en México, 1996.

<sup>6</sup> Véase la Iniciativa para crear el fideicomiso que establece un subsidio a la tortilla de maíz para consumo humano, suscrita por el senador Graco Ramírez, 2007.

desarrolló la llamada “guerra contra el narcotráfico” y esto causó un incremento en la violencia y un alza en el número de decesos<sup>7</sup>.

## **4.2 Modelos de análisis de la mortalidad en México, 1990 – 2015**

### **4.2.1 Modelo Lee-Carter GAPC**

El modelo estocástico Lee-Carter (LC) en el entorno GAPC, se realizan dos ajustes, el primero que se presenta supone que el número de muertes sigue una distribución Poisson y el segundo una distribución Binomial. El ajuste de ambos modelos se presenta de forma independiente tanto para hombres y mujeres.

En las gráficas 4.4a y 4.4b se muestran los parámetros estimados de  $\alpha_x$ ,  $\beta_x$  y  $k_t$  según sexo, de los modelos LC Poisson y LC Binomial, respectivamente. Como se puede apreciar en los dos gráficos, las estimaciones de los parámetros son similares entre ambos modelos, con diferencias poco notorias.

En general, las estimaciones de  $\alpha_x$  replican el comportamiento general de la mortalidad mexicana, donde, la mortalidad en mujeres es menor a la de los hombres, a excepción en edades menores a un año y mayores a 90 años.

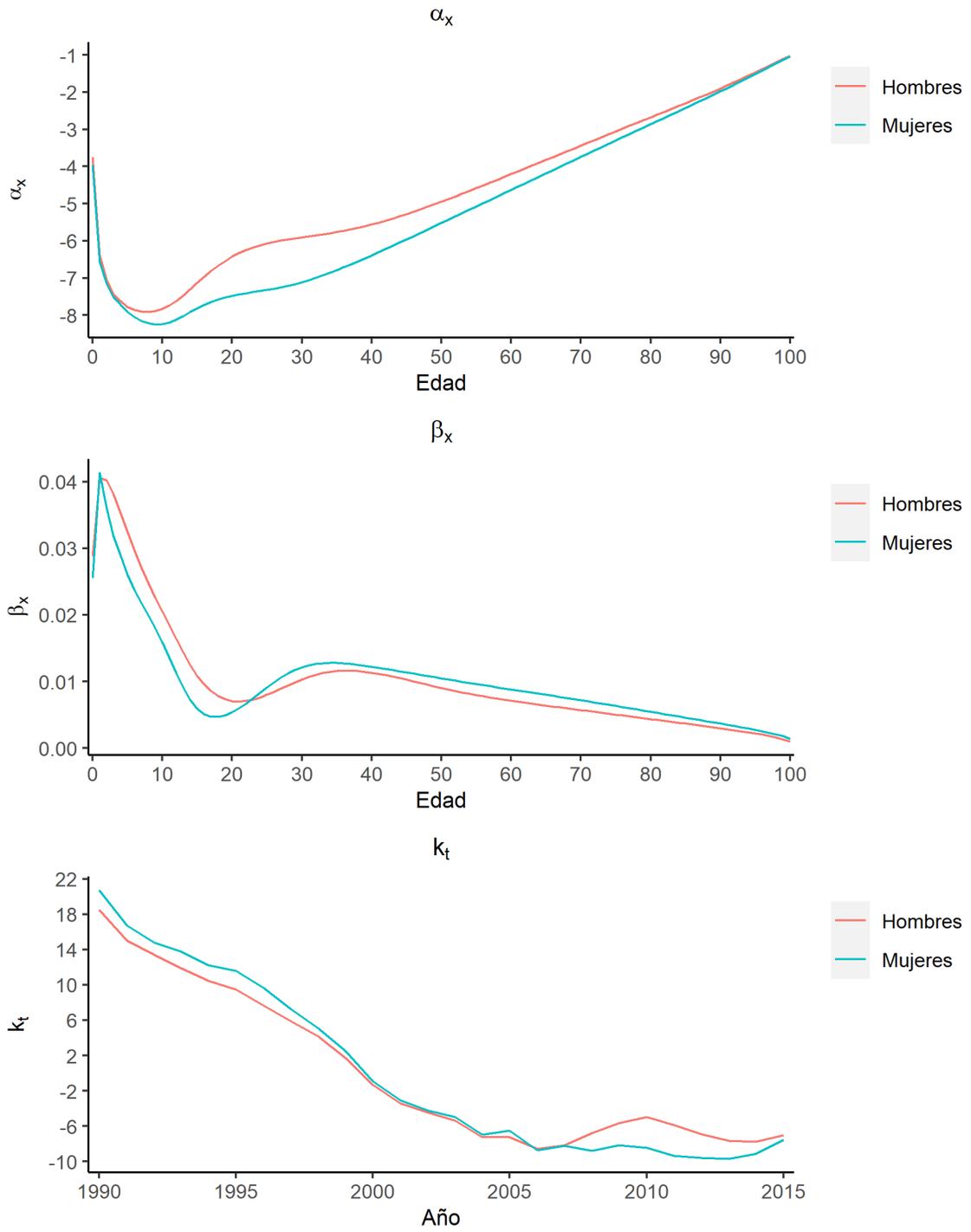
En cuanto al parámetro  $\beta_x$  nos muestra el efecto o intensidad de la mortalidad a través de las edades, con base a los gráficos correspondientes se aprecia que a menor valor mayor intensidad de la mortalidad de acuerdo a la edad.

En el caso de las mujeres, este parámetro indica que la mortalidad será más intensa en el primer año de vida, en los grupos etarios correspondientes a las adolescentes y jóvenes menores a los 30 años mientras que durante la edad avanzada esta será aún mayor.

---

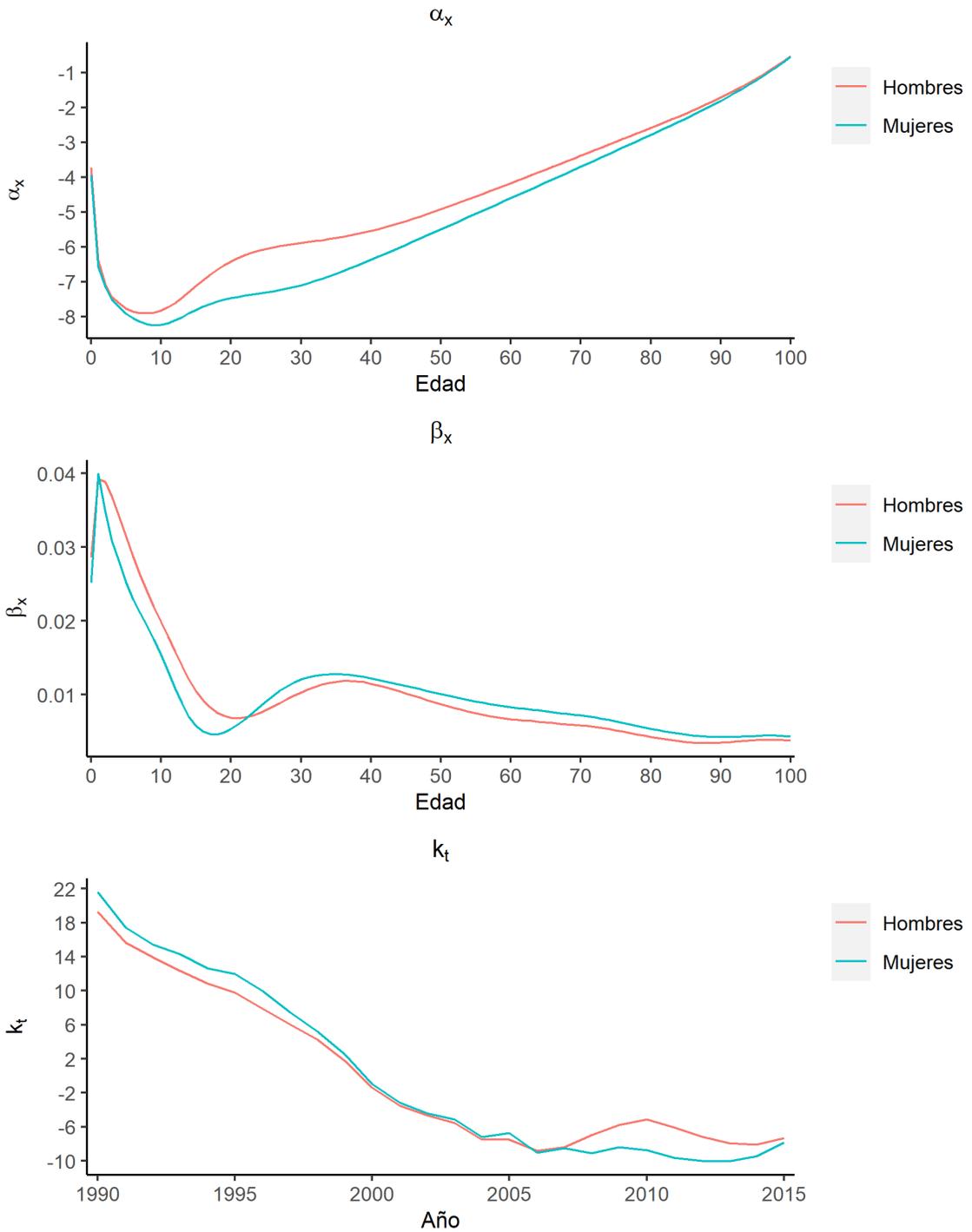
<sup>7</sup> Consultar el artículo de (Rosen & Zepeda, 2015) para mayor información.

Gráfica 4.4a Parámetros estimados del modelo Lee-Carter Poisson según sexo



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4.4b Parámetros estimados del modelo Lee-Carter Binomial según sexo



Fuente: Elaboración propia.

La intensidad de la mortalidad en hombres, es similar a la de las mujeres en el primer año de edad, pero menor durante la adolescencia y esta tiende a incrementar más en comparación a las mujeres a partir de la juventud, sin dejar de lado que es más intensa en la edad avanzada.

Cabe señalar que, existe mayor intensidad de la mortalidad en hombres durante la juventud, esto debido al efecto de los riesgos a los que la población masculina contrae.

De acuerdo a García y Ordorica (2012), el incremento en la intensidad de la mortalidad masculina durante la juventud, se relaciona con las políticas públicas, principalmente porque se ha dejado de lado la importancia de incentivar a los jóvenes a llevar una vida libre de riesgos innecesarios.

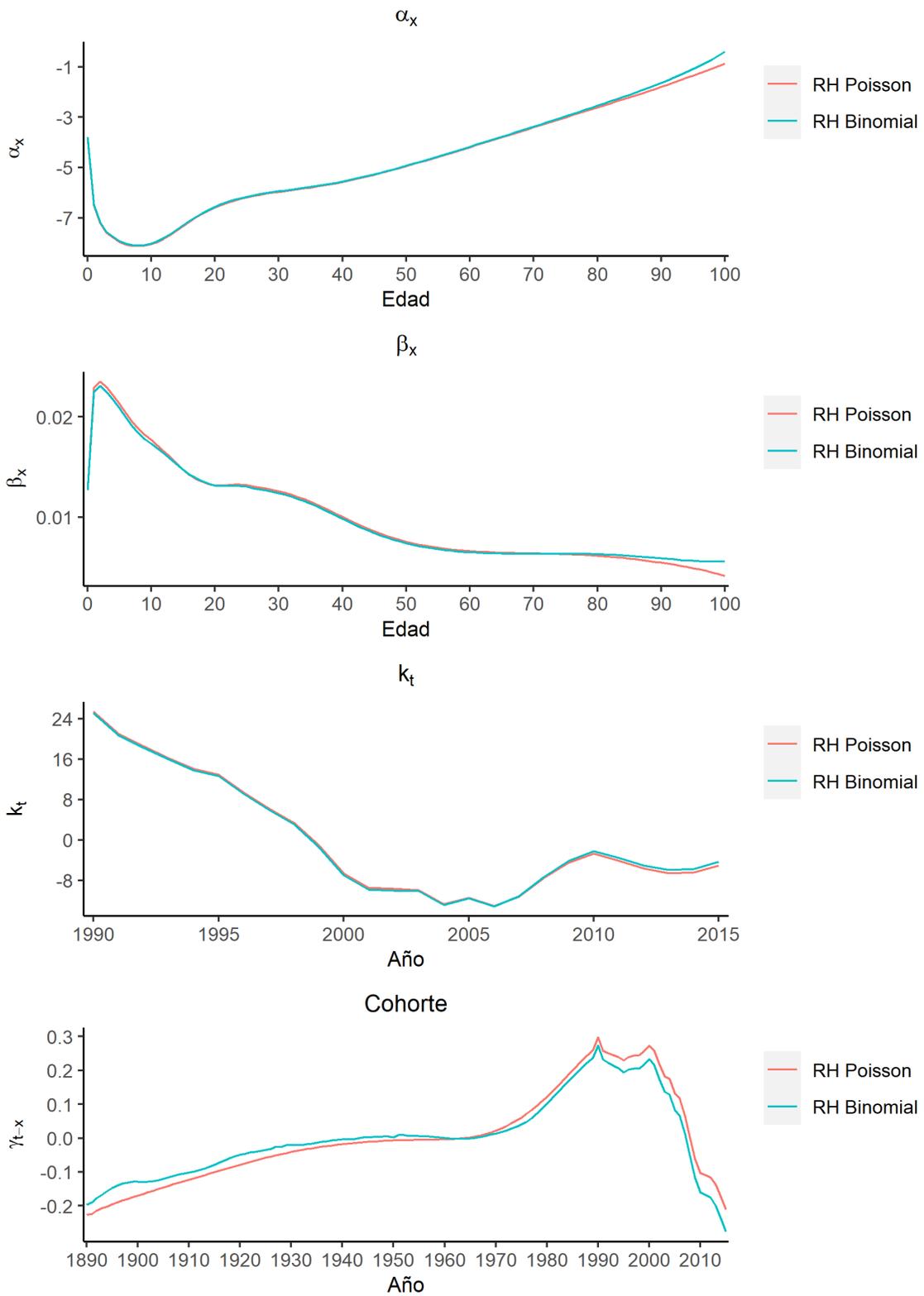
En cuanto al índice de mortalidad  $k_t$  se observa que entre hombres y mujeres la trayectoria es similar durante el periodo 1990 al 2005 pero diferente entre 2005 y 2015, esto último a causa de lo que se conoce como “guerra contra el narcotráfico” la cual causó un número considerable de muertes, y por ende un significativo aumento en la mortalidad masculina por encima de las mujeres.

#### **4.2.2 Modelo Renshaw-Haberman**

El modelo Renshaw-Haberman (RH) se puede estimar bajo el supuesto de que el número de muertes sigue una distribución Poisson o una distribución Binomial. En este caso, se hace uso de ambos supuestos de forma independiente y se presentan los ajustes para ambos sexos.

La Gráfica 4.5a muestra las estimaciones de los parámetros  $\alpha_x$ ,  $\beta_x$ ,  $k_t$  y  $\gamma_{x-t}$  de los modelos RH Poisson y RH Binomial para el caso en hombres. El parámetro  $\alpha_x$  para ambos modelos son similares en los primeros grupos de edad a excepción de las edades avanzadas, donde el modelo RH Binomial tiende a ser mayor al modelo RH Poisson.

**Gráfica 4.5a Parámetros estimados de los modelos Renshaw-Haberman para hombres**



Fuente: Elaboración propia.

A diferencia de los modelos LC, la intensidad de la mortalidad  $\beta_x$  en los modelos RH es mayor, puesto que los valores de la intensidad oscilan entre 0 y 0.025 en comparación a los modelos LC que permanecen entre 0 y 0.04. En el caso de los varones, se observa que, entre los 20 y 30 años de edad, la intensidad de la mortalidad es menor a la vista en los modelos LC.

El índice de mortalidad  $k_t$  masculina es similar en ambos modelos RH, en cambio en el efecto de la cohorte  $\gamma_{x-t}$ , existen pequeñas diferencias entre 1890 y 1960, el modelo RH Poisson se encuentra por debajo del modelo RH Binomial y después de 1960 su comportamiento se invierte. A pesar de lo anterior, se puede ver que el comportamiento del índice de mortalidad en ambos modelos es semejante.

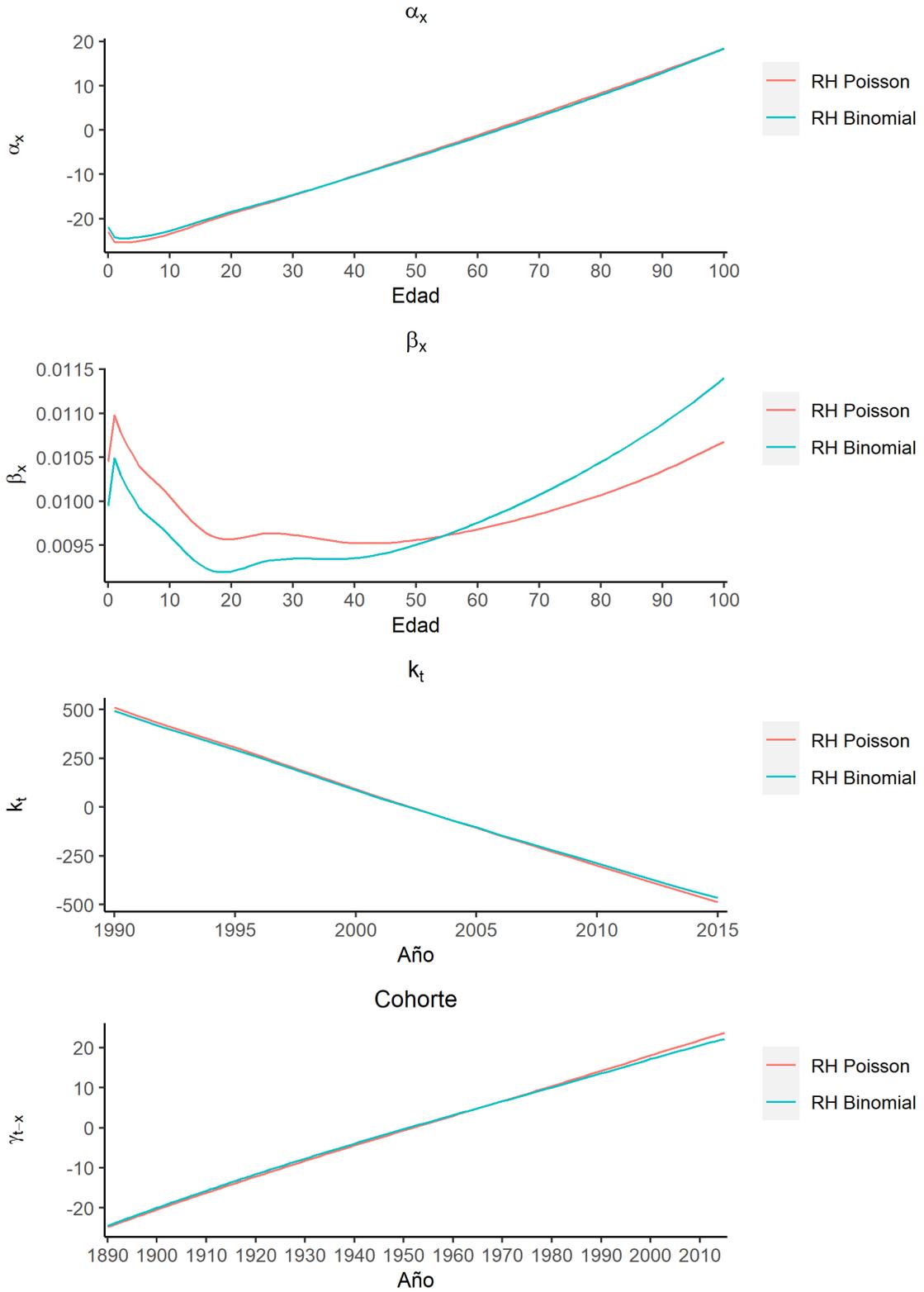
Para el caso de los modelos RH en mujeres, el comportamiento de los parámetros es completamente distinto a los modelos LC antes vistos pero similar entre ellos (ver Gráfica 4.5b). A diferencia de los modelos LC, el comportamiento de  $\alpha_x$  en los modelos RH Poisson y Binomial en mujeres tiene una forma casi lineal y no se percibe lo que se le conoce como la “joroba de accidentes”.

Mientras, la intensidad de la mortalidad  $\beta_x$  se establece en un rango de entre 0 y 0.0115 en ambos modelos RH, sin embargo, el comportamiento de este parámetro difiere entre asumir que el número de muertes sigue una distribución Poisson de una Binomial.

En el caso del modelo RH Poisson, la intensidad de la mortalidad es menor entre las mujeres de 0 y 50 años de edad y mayor después de los 50 años, caso inverso para el modelo RH Binomial.

En cuanto, el índice de mortalidad  $k_t$  decrece de forma lineal a través del tiempo mientras el comportamiento de la cohorte  $\gamma_{t-x}$  tiene el efecto contrario e incrementa año con año para ambos modelos.

**Gráfica 4.5b Parámetros estimados de los modelos Renshaw-Haberman para mujeres**



Fuente: Elaboración propia.

### 4.2.3 Comparación de los modelos estimados

A continuación, en la Tabla 4.1 se muestran los resultados de los criterios de Akaike (AIC) y de Schwarz (BIC) de los modelos de Lee-Carter al considerar que el número de muertes sigue una distribución Poisson o una distribución Binomial según sexo.

**Tabla 4.1 Criterios de información AIC y BIC de los modelos LC**

Modelo	AIC	BIC
LC Poisson Hombres	41365.63	42692.97
LC Binomial Hombres	41408.25	42735.60
LC Poisson Mujeres	30823.26	32150.61
LC Binomial Mujeres	30724.29	32051.64

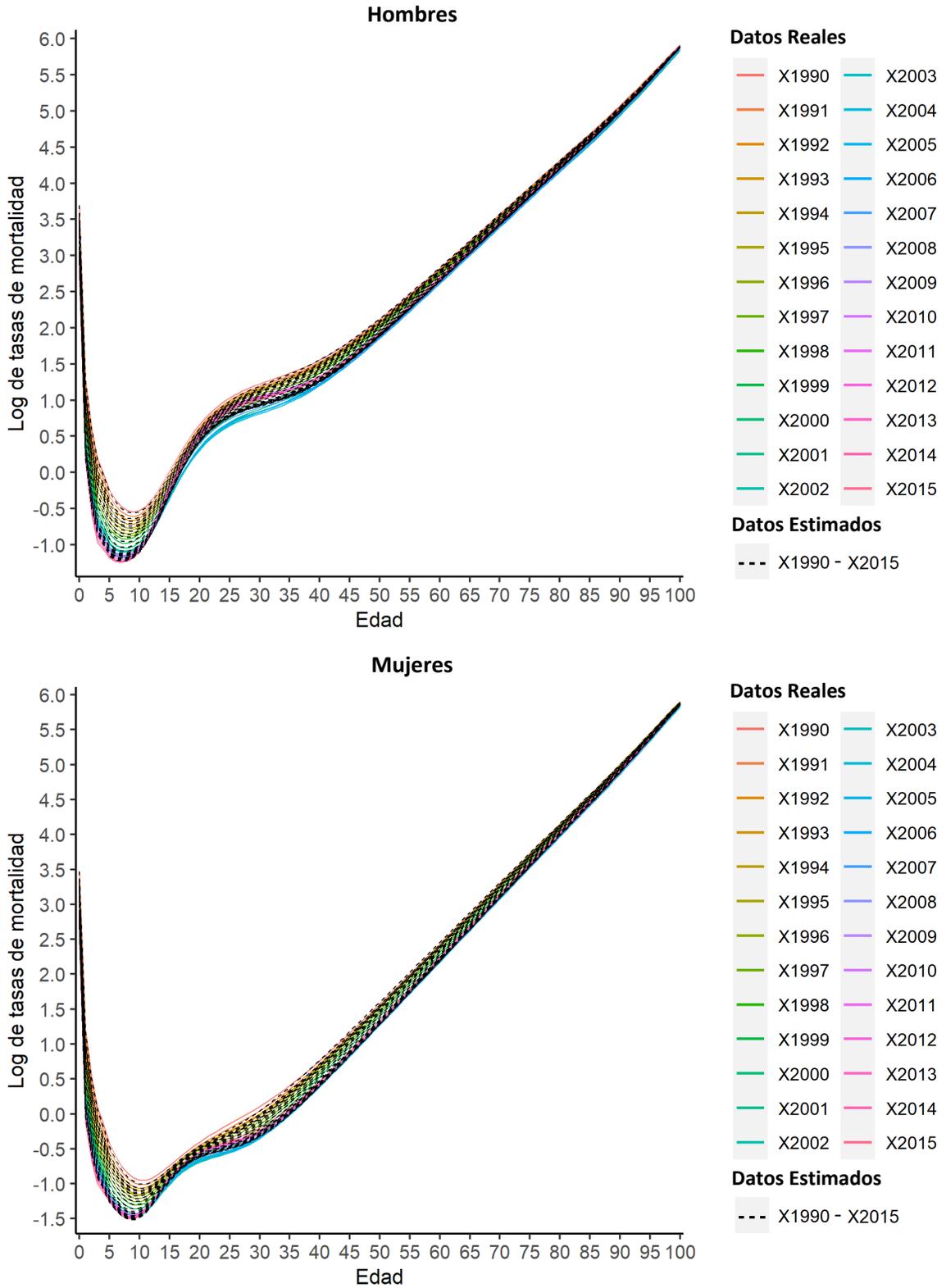
Fuente: Elaboración propia.

Con base a los criterios de información, el modelo Lee-Carter (LC) en el entorno GAPC que mejor ajusta a la mortalidad en México del periodo 1990 al 2015 en edades de entre los 0 a 100 años para el caso en hombres es el modelo LC Poisson y para el caso en mujeres el modelo LC Binomial.

Al analizar los ajustes gráficamente de las tasas logarítmicas de mortalidad mexicana, se observa que los modelos LC al suponer que el número de muertes sigue una distribución Poisson tiene un buen ajuste en general, sin embargo, no captura adecuadamente la “joroba de accidentes” que se presenta durante la etapa joven, esto sucede en ambos casos, es decir, para hombres de 15 a 45 años de edad y mujeres de edades entre los 15 y 30 años (ver Gráfica 4.6a).

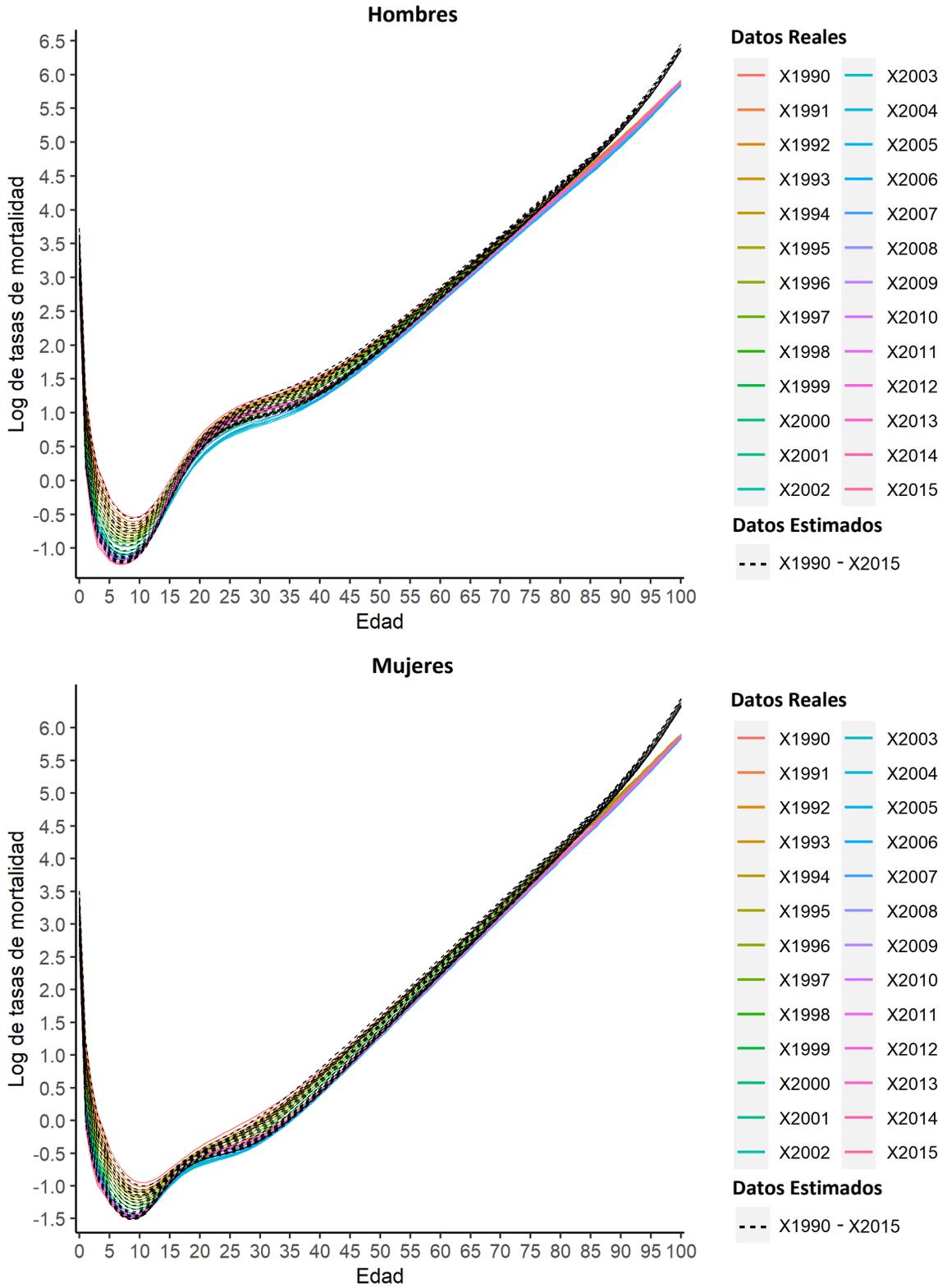
Por otro lado, el modelo LC cuando se supone que el número de muertes sigue una distribución Binomial, se aprecia algo similar al modelo LC Poisson, a excepción de que además de no capturar adecuadamente la “joroba de accidentes”, se muestra que durante las edades avanzadas el modelo LC Binomial no se ajusta adecuadamente, por lo que, la curva es menos amplia (ver Gráfica 4.6b).

**Gráfica 4.6a Ajuste del modelo Lee-Carter Poisson a tasas específicas de mortalidad por sexo y edad simple en México, 1990 – 2015**



Fuente: Elaboración propia

**Gráfica 4.6b Ajuste del modelo Lee-Carter Binomial a tasas específicas de mortalidad por sexo y edad simple en México, 1990 – 2015**



Fuente: Elaboración propia

Al tomar en cuenta los criterios de información y los gráficos de los modelos LC Poisson y Binomial, se concluye que el mejor modelo LC en el entorno GAPC que mejor representa a la mortalidad mexicana en hombres y mujeres es el modelo LC Poisson.

Por otro lado, en la Tabla 4.2 se presentan los criterios de información de los modelos Renshaw Haberman (RH) cuando se asume que el número de muertes sigue una distribución Poisson o una distribución Binomial para hombres y mujeres mexicanas de 0 a 100 años de edad durante el periodo 1990 al 2015.

**Tabla 4.2 Criterios de información AIC y BIC de los modelos RH**

Modelo	AIC	BIC
RH Poisson Hombres	27233.12	29294.62
RH Binomial Hombres	27123.12	29184.62
RH Poisson Mujeres	25464.96	27526.46
RH Binomial Mujeres	25305.98	27367.48

Fuente: Elaboración propia.

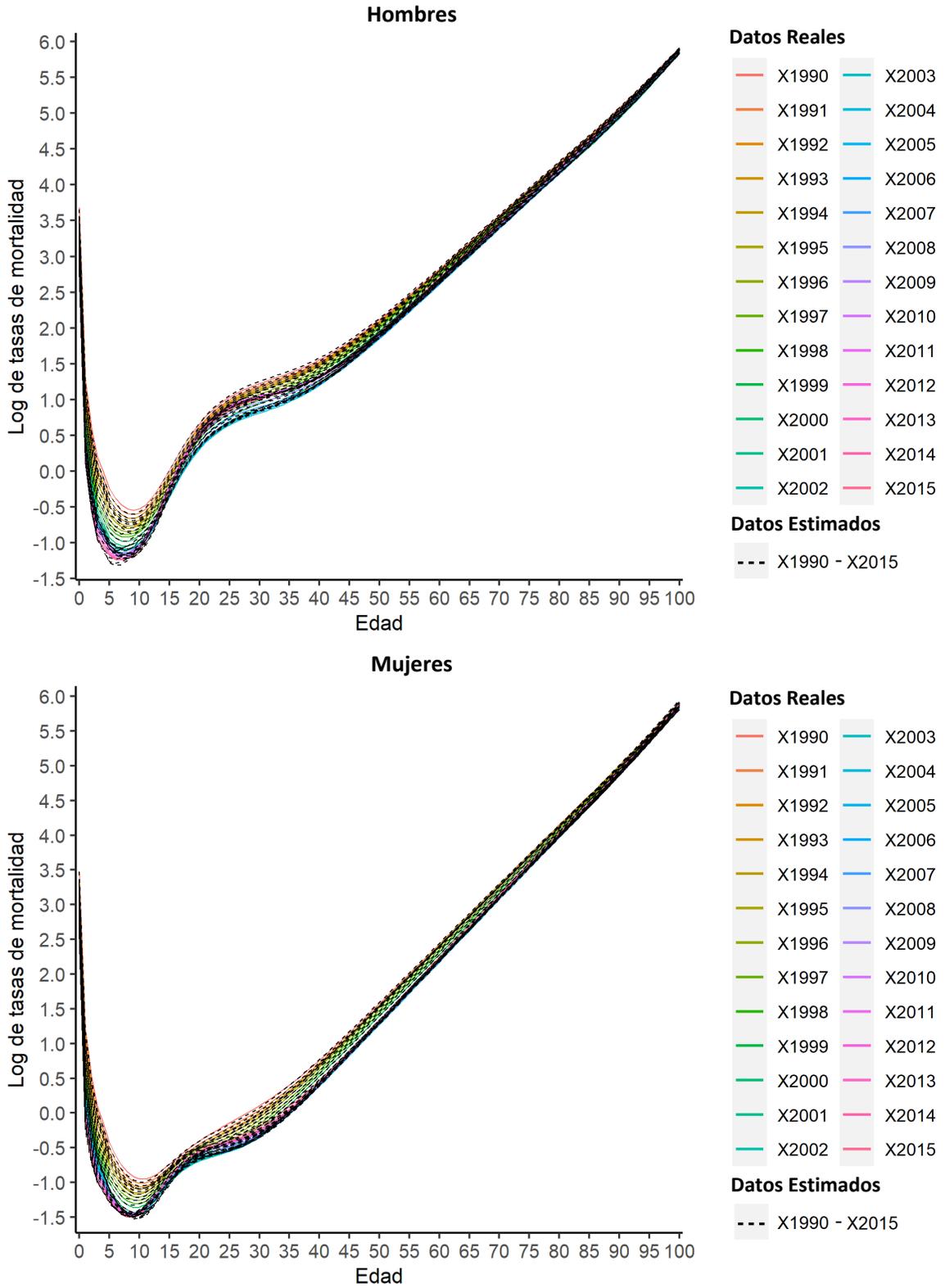
De acuerdo a los resultados de AIC y BIC se puede presuponer que los modelos RH cuando se supone que el número de muertes sigue una distribución Binomial es el mejor modelo que representa a la mortalidad mexicana en hombres y mujeres, esto a razón de que los valores de ambos criterios son los más pequeños.

Sin embargo, para confirmar lo anterior, se presentan los gráficos 4.7a y 4.7b de los ajustes de los modelos RH a las tasas logarítmicas de mortalidad mexicana.

En el primer caso, se muestra el gráfico de los modelos RH Poisson según sexo y edad simple, la gráfica resultante del modelo presenta un buen ajuste en todo el rango de edad y esto se puede apreciar tanto para el caso en hombres como el de las mujeres.

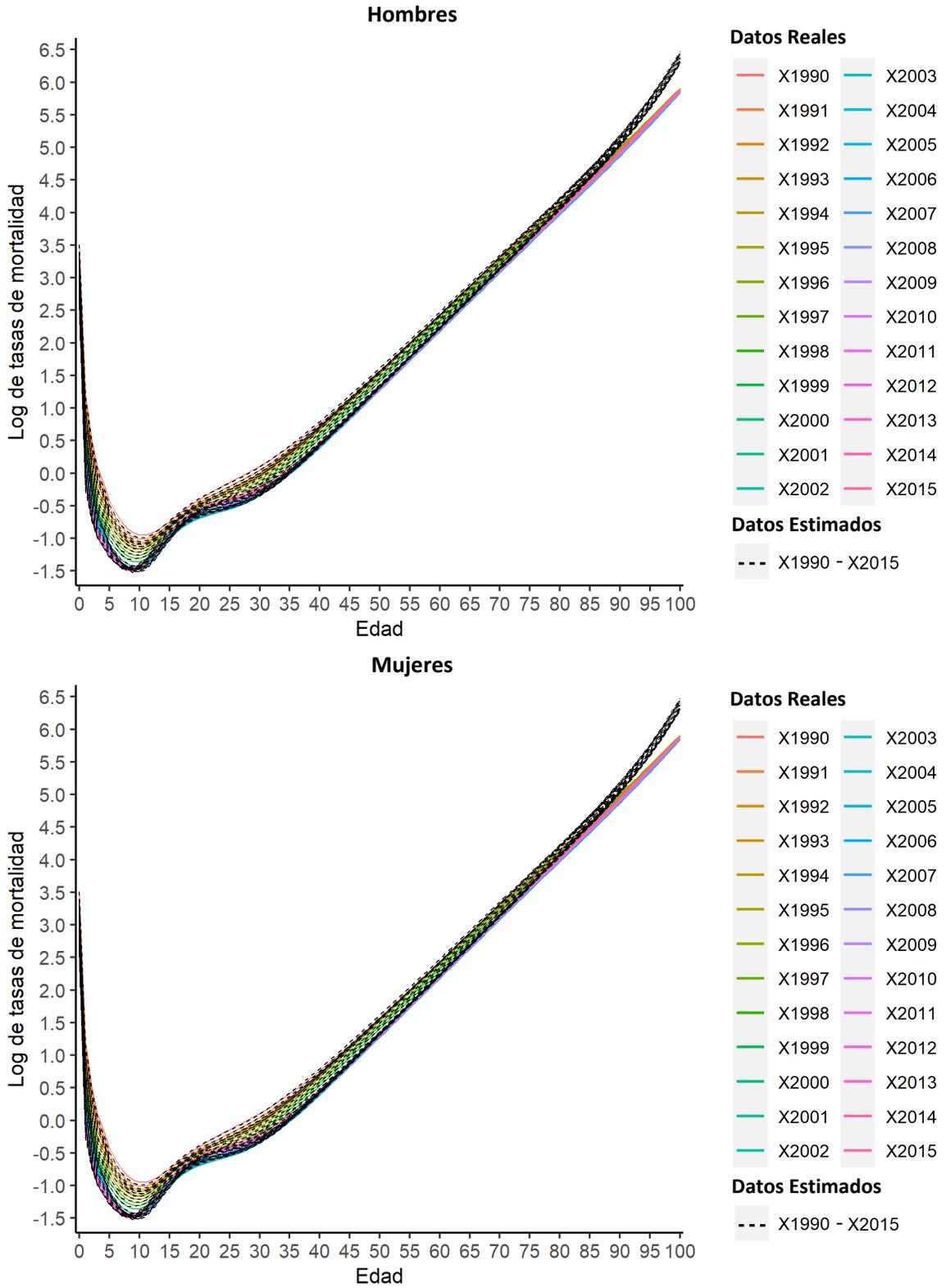
Además, el ajuste del modelo RH Poisson captura el comportamiento de la “joroba de accidentes” y representa de forma similar la conducta de las edades adultas (ver Gráfica 4.7a).

**Gráfica 4.7a Ajuste del modelo Renshaw-Haberman Poisson a tasas específicas de mortalidad por sexo y edad simple en México, 1990 – 2015**



Fuente: Elaboración propia.

**Gráfica 4.7b Ajuste del modelo Renshaw-Haberman Binomial a tasas específicas de mortalidad por sexo y edad simple en México, 1990 – 2015**



Fuente: Elaboración propia.

En tanto, el modelo RH Binomial muestra un desfase en las edades más avanzadas, por lo que su representatividad solo es semejante de los 0 a los 75 años de edad, además de capturar el comportamiento de la “joroba de accidentes” (ver Gráfica 4.7b).

Con base a lo anterior, se puede llegar a la conclusión de que el modelo RH Poisson presenta mejores ajustes a la mortalidad mexicana en hombres y mujeres en todo el rango de edad de 1990 al 2015.

Cabe señalar que, a pesar de que los valores proporcionados por los criterios de información de los modelos RH Binomial son mejores a los dados por los modelos RH Poisson, los resultados se aproximan en ambos modelos, lo que permite tomar al modelo RH Poisson como el mejor a modelar la mortalidad mexicana.

Finalmente, al comparar los resultados proporcionados por los modelos LC y RH suponiendo que el número de muertes sigue una distribución Poisson o Binomial para cada modelo, se concluye que el modelo estocástico RH Poisson se ajusta mejor a la mortalidad de hombres y mujeres de 0 a 100 años de edad en México de 1990 a 2015.

Una vez obtenido el modelo que mejor ajusta a la mortalidad mexicana se procede a realizar los pronósticos del periodo 2016 al 2025.

### **4.3 Pronósticos de la mortalidad en México, 2016 – 2025**

De acuerdo al análisis dado en la sección 4.2.3, se determina que el modelo Renshaw-Haberman Poisson fue el modelo que mejor se ajustó a la mortalidad en hombres y mujeres de edades de entre 0 y 100 años en México del periodo 1990 al 2015, de tal manera que se tomara como base para la realización de los pronósticos de mortalidad general de hombres y mujeres previstos para el periodo 2016 al 2025.

El modelo RH Poisson consta de cuatro parámetros  $\alpha_x$ ,  $\beta_x$ ,  $k_t$  y  $\gamma_{x-t}$ , de los cuales el índice de mortalidad  $k_t$  y el efecto de la cohorte  $\gamma_{x-t}$  dependen del tiempo, por lo cual, ambos parámetros serán modelizados por los modelos ARIMA. Y finalmente los

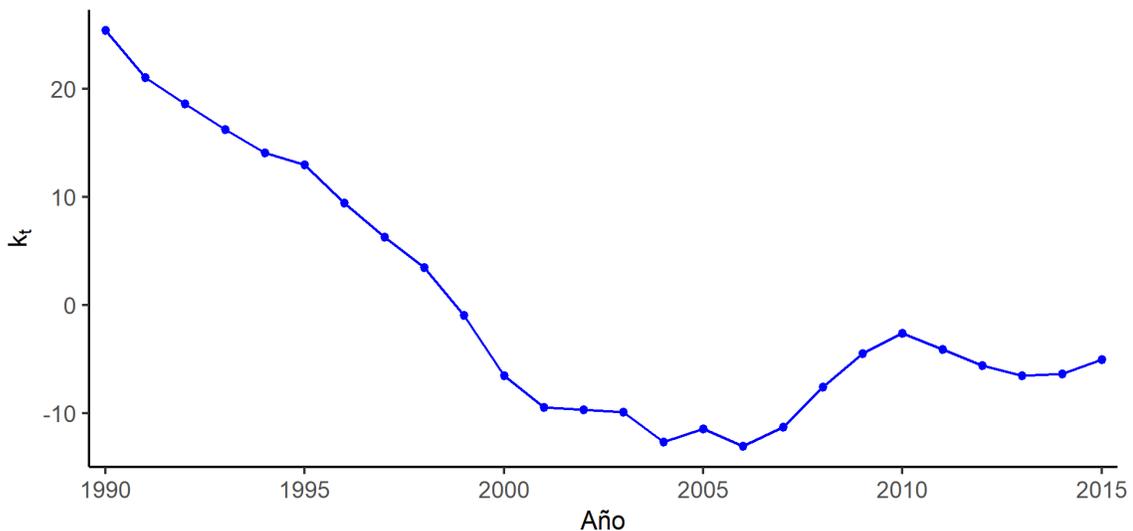
resultados de los pronósticos de cada parámetro se utilizarán para prever la mortalidad mexicana general por sexo y edad simple.

### 4.3.1 Pronóstico de la mortalidad masculina en México, 2016 – 2025

#### Pronóstico del Índice de mortalidad $k_t$ masculina

Siguiendo los pasos de los modelos ARIMA, inicialmente se identifica si la serie del índice de mortalidad  $k_t$  es estacionaria, a través de la revisión del gráfico de la serie original y el correlograma de las funciones de autocorrelación simple (ACF) y parcial (PACF), que se muestran en la Gráfica 4.8a y 4.8b.

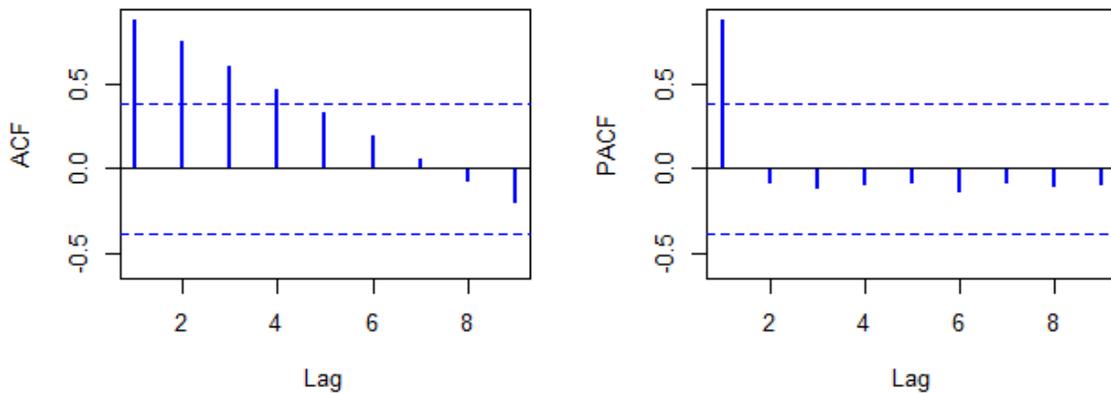
Gráfica 4.8a Índice de mortalidad  $k_t$  masculina en México, 1990 – 2015



Fuente: Elaboración propia.

El índice de mortalidad  $k_t$  no muestra un comportamiento estacional y, además, se observa que la ACF tiene una clara tendencia, mientras, el valor en el primer tag de la PACF perfila la existencia de una alta correlación y la posible no estacionariedad en el proceso.

**Gráfica 4.8b Funciones de autocorrelación simple y parcial de  $k_t$**



Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, se lleva a cabo la prueba de estacionariedad de la serie de  $k_t$  mediante el test KPSS donde se obtuvo un p-value de 0.01458 menor a 0.05, lo que confirma que el proceso es no estacionario.

Como la estacionariedad no es evidente, se procede a realizar las primeras y segundas diferenciaciones con sus respectivas pruebas de estacionariedad.

**Tabla 4.3 Prueba de estacionariedad por diferenciación**

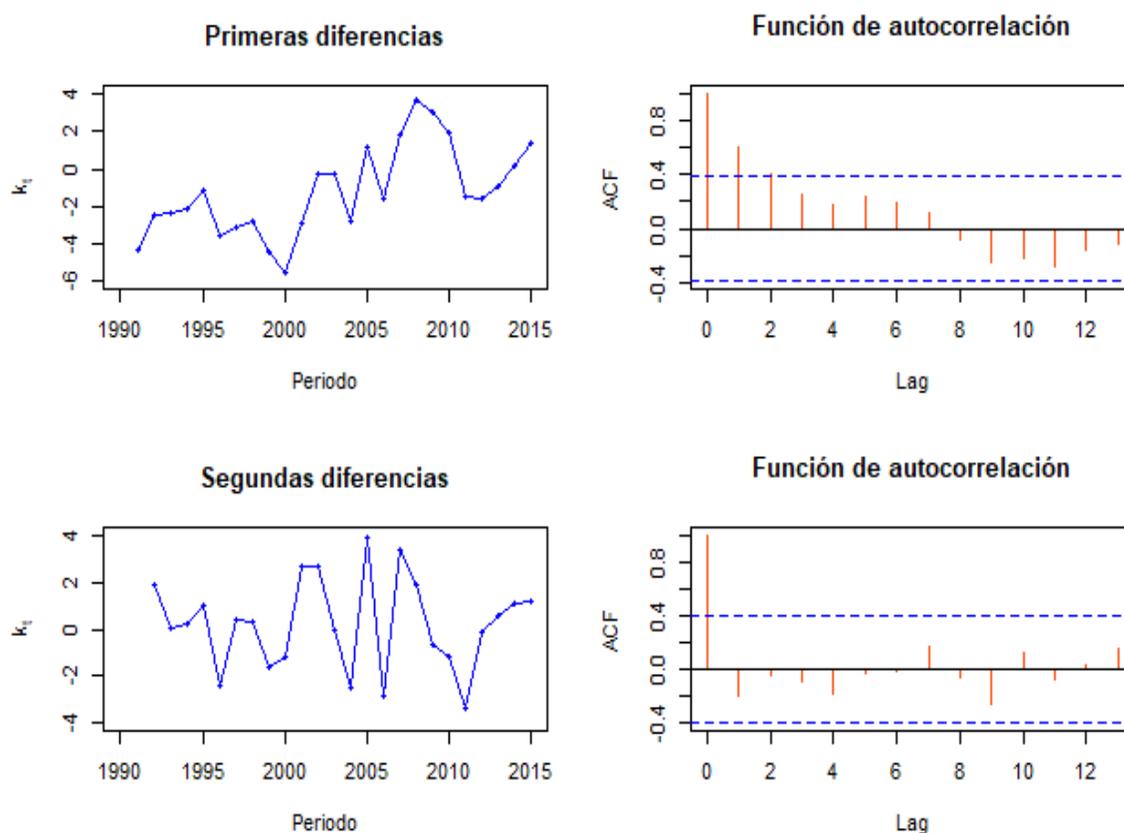
Diferenciación	KPSS (p-value > 0.05)
Primer orden	0.02886
Segundo orden	0.1

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 4.3 se muestran los resultados de la prueba KPSS, donde, los resultados de las primeras diferencias mencionan que el proceso no es estacionario, por lo cual, se procede a realizar las diferencias de segundo orden, donde el estadístico proporciona un p-value mayor a 0.05 y se acepta la obtención de la estacionariedad en la serie  $k_t$ .

Por otro lado, en la Gráfica 4.9, se dan a conocer las funciones de autocorrelación simple (ACF) de las primeras y segundas diferencias. Por lo que, es evidente que se logra la estacionariedad de la serie  $k_t$  en la realización de las segundas diferencias, prueba de ello se encuentra el comportamiento del correlograma que presenta un proceso semejante al ruido blanco.

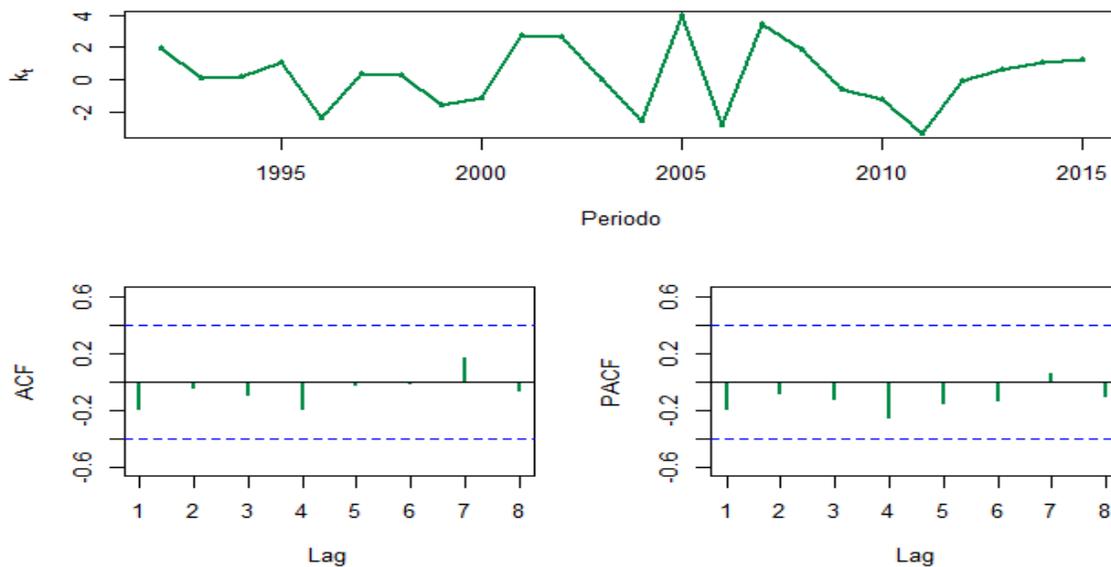
**Gráfica 4.9 Diferenciaciones de  $k_t$  masculina**



Fuente: Elaboración propia.

En base a lo anterior se dice que, para la obtención de la estacionariedad de la serie  $k_t$ , es necesaria una diferenciación de segundo orden y, además, al tomar en consideración el proceder de ACF y PACF de las segundas diferencias, se permite determinar una premisa de los órdenes que podrían tener los componentes  $AR(p)$  y  $MA(q)$ .

**Gráfica 4.10 Diferenciación de segundo orden de  $k_t$  masculina**



Fuente: Elaboración propia.

Para continuar con los pasos del modelo ARIMA, es necesario realizar la selección y evaluación del modelo, el cual debe de cumplir tres aspectos importantes:

1. Los criterios de información Akaike (AIC) y de Schwarz (BIC) deben ser los valores más pequeños con respecto al resto de los modelos propuestos.
2. El modelo ARIMA debe tener el menor número de parámetros.
3. Los residuos del modelo ARIMA se deben asemejar a un ruido blanco.

En la Tabla 4.4 se muestran los tres posibles modelos ARIMA para  $k_t$ , con sus respectivos AIC y BIC.

**Tabla 4.4 Modelos ARIMA(p,d,q) para  $k_t$  masculina**

Modelo	AIC	BIC
ARIMA (0,2,0)	101.96	103.14
ARIMA (0,2,1)	102.95	105.31
ARIMA (1,2,0)	103.16	105.52

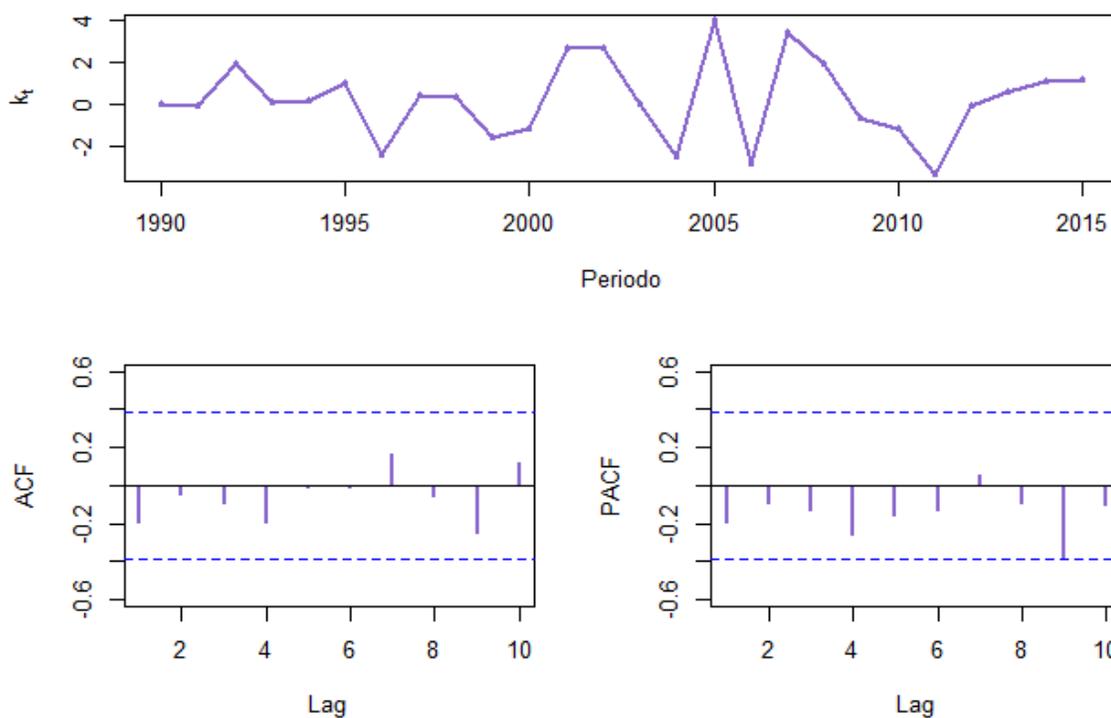
Fuente: Elaboración propia.

De los tres modelos propuestos, es evidente que el modelo ARIMA (0,2,0) cumple con los dos primeros elementos buscados, puesto que el AIC y BIC del modelo son los más pequeños que los dos modelos restantes y además tiene el menor número de parámetros. La ecuación del modelo ARIMA (0,2,0) es la siguiente:

$$Z_t = e_t$$

Para determinar que el modelo es el mejor candidato, se verifica que los residuos se asemejan a un ruido blanco, a través de la prueba del estadístico Ljung-Box y de la visualización gráfica de los mismos.

**Gráfica 4.11 Residuos del modelo ARIMA (0,2,0)**

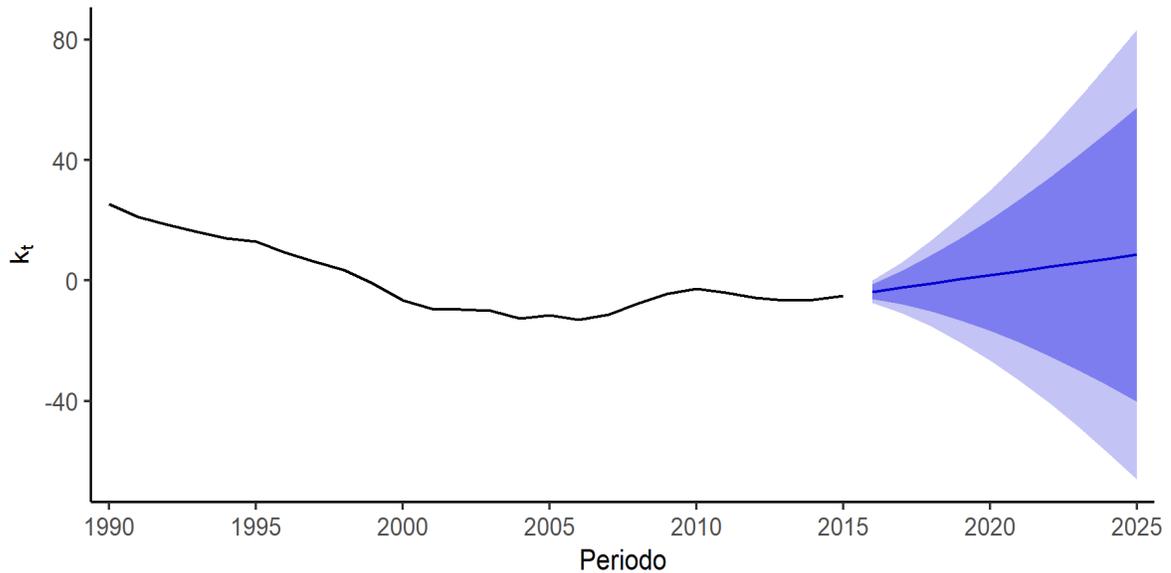


Fuente: Elaboración propia.

La prueba del estadístico Ljung-Box proporciona un p-value igual a 0.2931 mayor a 0.05 lo que confirma que los residuos se asemejan a un ruido blanco, en tanto, la Gráfica 4.11 reafirma lo anterior al mostrar un ACF y PACF con valores dentro de los niveles de significancia.

Una vez obtenido el mejor modelo ARIMA que describe a la serie  $k_t$ , se prosigue a realizar los pronósticos del comportamiento que podría llegar a tener la serie en un horizonte a 10 años, el cual se muestra en la Gráfica 4.12.

**Gráfica 4.12 Pronóstico del índice de mortalidad  $k_t$  masculina en México, 2016 – 2025**



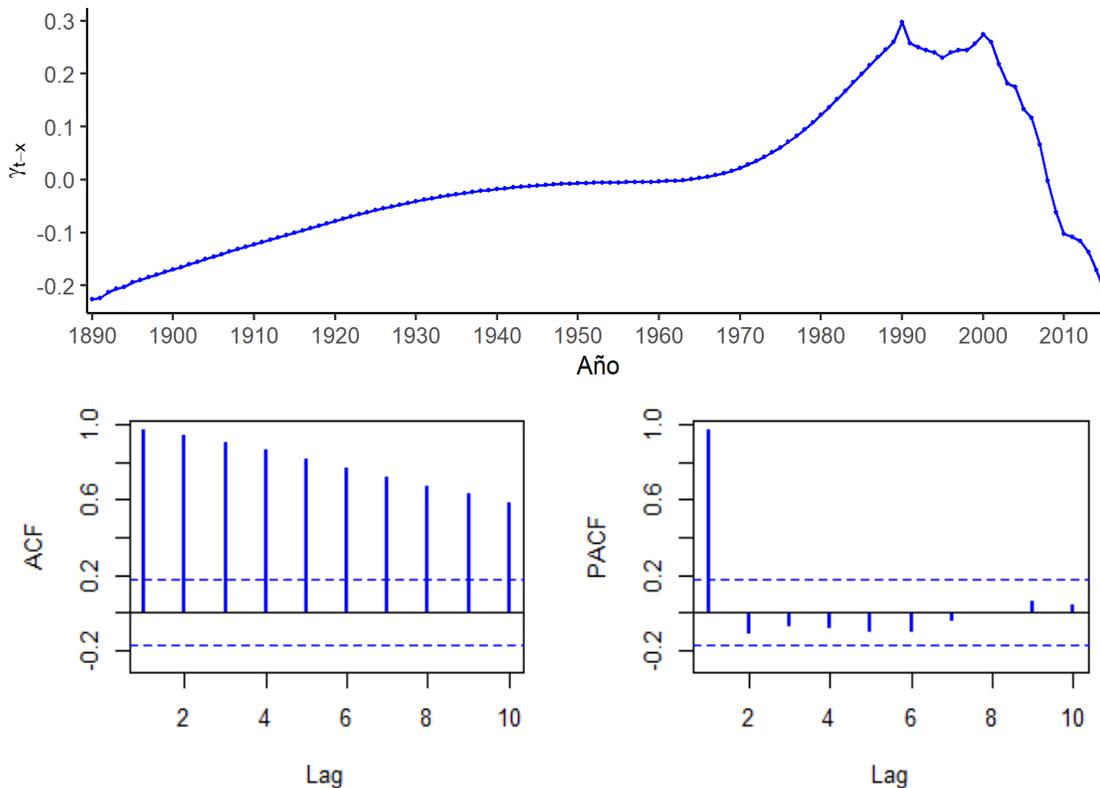
Fuente: Elaboración propia.

El comportamiento previsto por el modelo ARIMA hace referencia a un crecimiento lineal poco perceptible en el índice de mortalidad masculina, por otro lado, los intervalos de confianza proporcionados por el pronóstico hacen alusión a que la dinámica del índice puede aumentar o disminuir visiblemente durante el periodo 2016 al 2025.

### Pronóstico de los efectos de la Cohorte $\gamma_{t-x}$ masculina

El segundo parámetro a modelar es la cohorte  $\gamma_{t-x}$  en hombres mexicanos, la Gráfica 4.13 presenta el comportamiento de la misma durante el periodo 1890 al 2015, lapso de tiempo donde se presenta un crecimiento lento durante las primeras diez décadas y termina con decrementos en determinados periodos a partir de 1990.

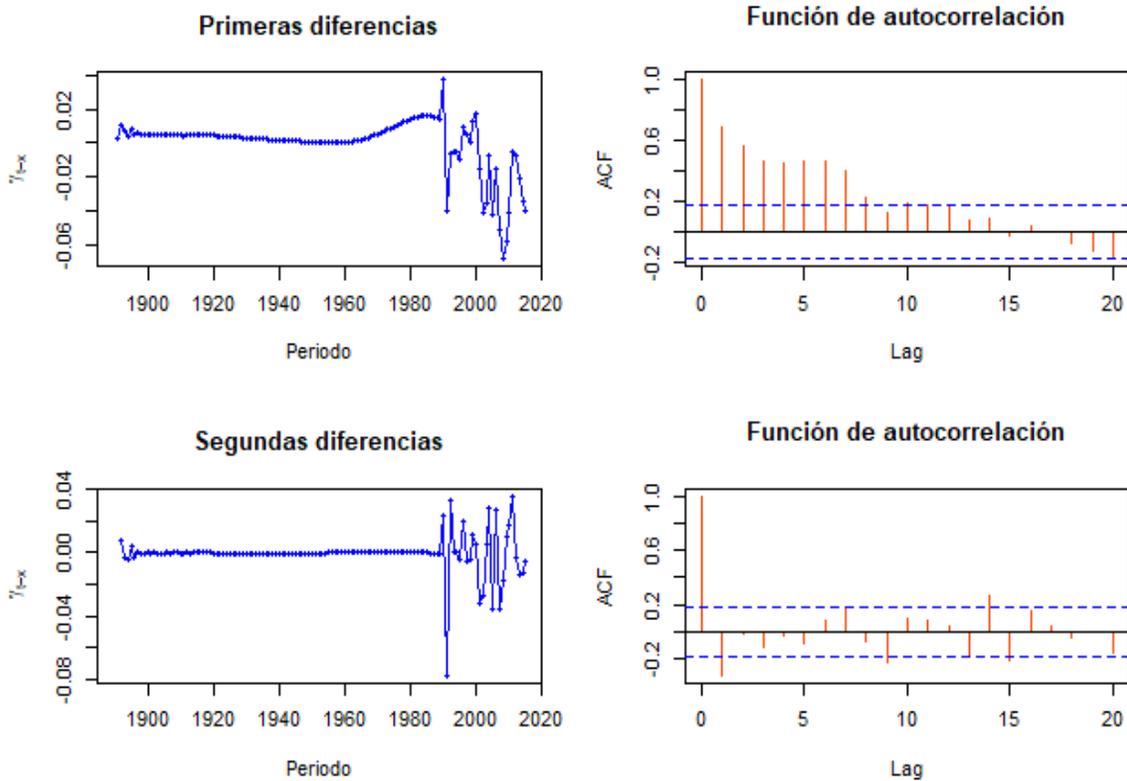
Gráfica 4.13 Efectos de la cohorte  $\gamma_{t-x}$  masculina en México, 1890 – 2015



Fuente: Elaboración propia.

Los correlogramas de ACF y PACF muestran la existencia de una alta correlación y tendencia en la serie lo que indica que la serie es no estacionaria. Para comprobar lo anterior, se emplea la prueba KPSS, la cual confirma que la serie de la cohorte  $\gamma_{t-x}$  es no estacionaria al resultar un valor p igual a 0.01 menor a 0.05.

**Gráfica 4.14 Diferenciaciones de  $\gamma_{t-x}$  masculina**



Fuente: Elaboración propia.

Con base a la metodología ARIMA, se realizan las diferenciaciones de primer y segundo orden con sus respectivas funciones de autocorrelación que se presentan en la Gráfica 4.14. Las primeras diferencias muestran la conducta de una tendencia moderada, mientras que, las segundas diferencias se observa un comportamiento de ruido blanco, indicativo de la estacionariedad de la serie de  $\gamma_{t-x}$ .

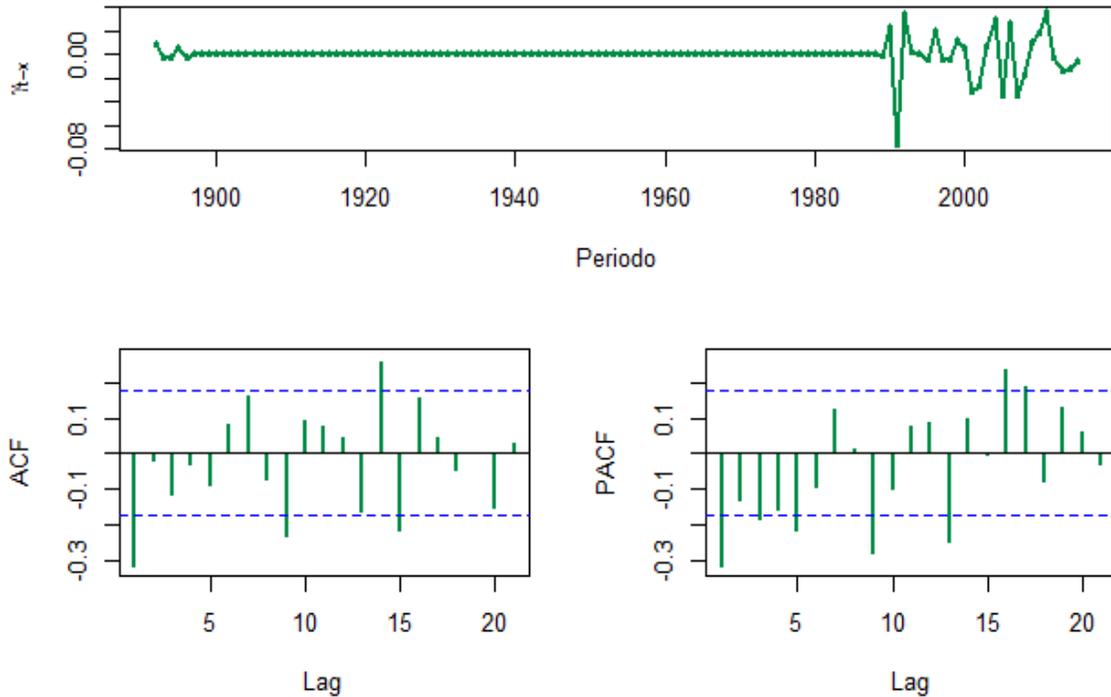
**Tabla 4.5 Prueba de estacionariedad por diferenciación**

Diferenciación	KPSS (p-value > 0.05)
Primer orden	0.01591
Segundo orden	0.1

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 4.5 se verifica la estacionariedad de la serie  $\gamma_{t-x}$  a través del test KPSS, y se verifica que la estacionariedad se logra al realizar la diferenciación de segundo orden.

**Gráfica 4.15 Diferenciación de segundo orden de  $\gamma_{t-x}$  masculina**



Fuente: Elaboración propia.

Al tomarse en cuenta la ACF y PACF de la diferenciación de segundo orden se proponen los modelos ARIMA que se presentan en la Tabla 4.6 con sus respectivos criterios de información AIC y BIC.

**Tabla 4.6 Modelos ARIMA(p,d,q) para  $\gamma_{t-x}$  masculina**

Modelo	AIC	BIC
ARIMA (0,2,3)	-772.44	-761.16
ARIMA (1,2,1)	-773.51	-765.05
ARIMA (2,2,1)	-771.56	-760.28

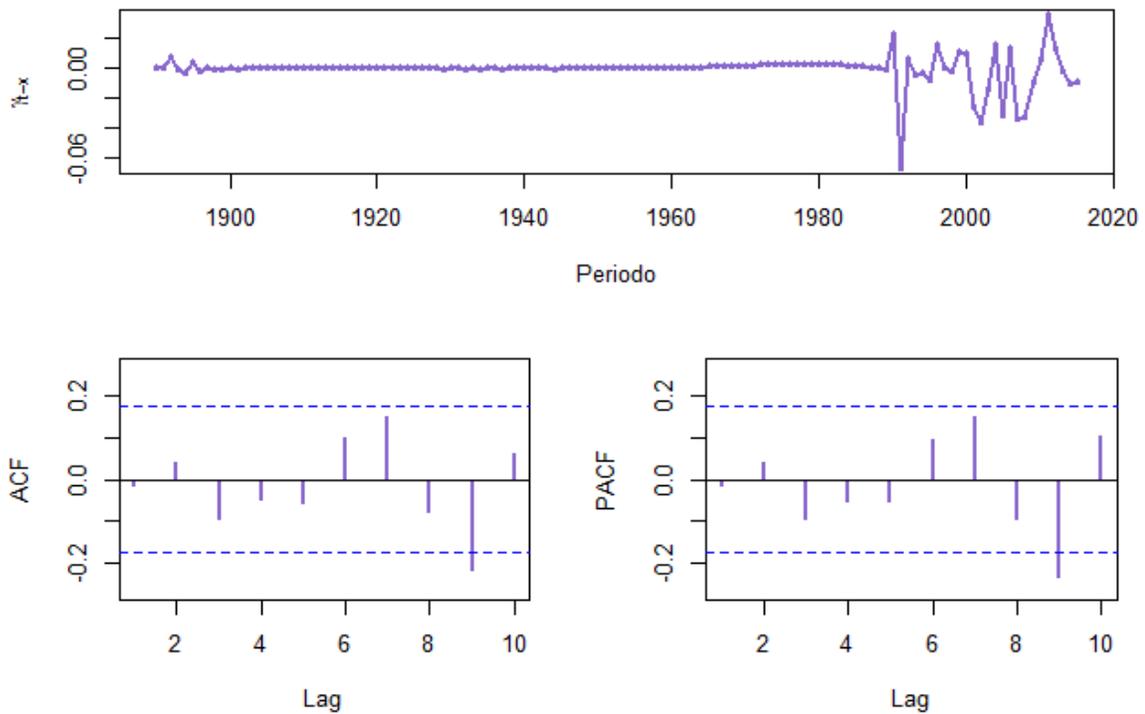
Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la tabla anterior, se determina que el modelo ARIMA (1,2,1) es el mejor modelo que representa a la serie de la cohorte  $\gamma_{t-x}$ . La ecuación del mejor modelo se representa de la siguiente forma:

$$Z_t = 0.3271Y_{t-1} - 0.7830e_{t-1} + e_t$$

Finalmente, se comprueba que los residuos del modelo ARIMA (1,2,1) se asemejan a un ruido blanco, a través de las funciones de autocorrelación y de la prueba de independencia Ljung-Box.

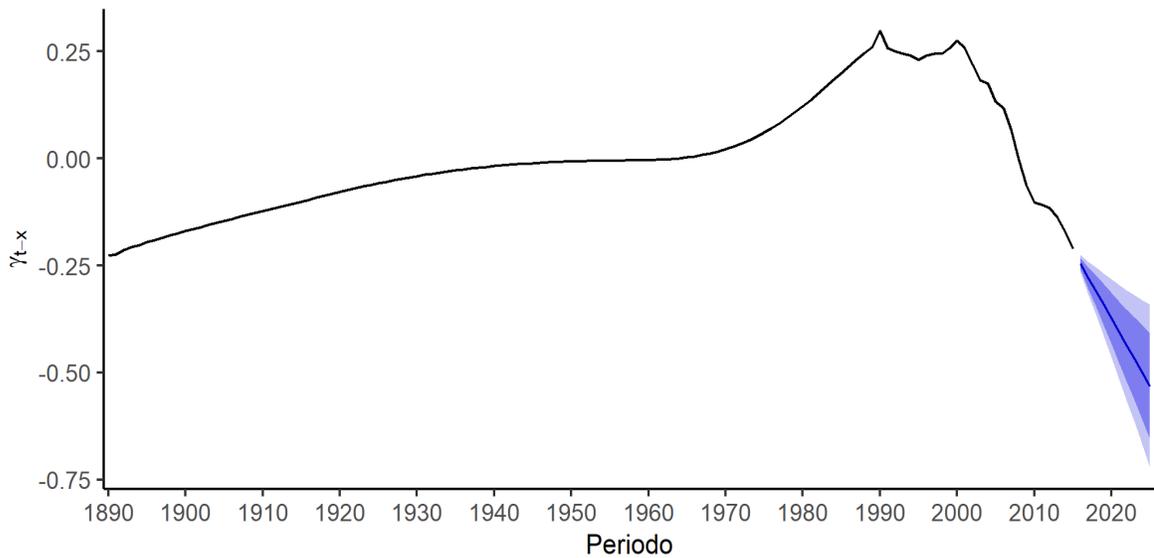
**Gráfica 5.16 Residuos del modelo ARIMA (1,2,1)**



Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a los correlogramas de ACF y PACF se puede deducir que los residuos del modelo se asemejan a un ruido blanco (ver Gráfica 4.16), en tanto, el estadístico Ljung-Box determina la independencia de los residuos al resultar un p-value igual a 0.8635 mayor a 0.05.

**Gráfica 4.17 Pronóstico del efecto de la cohorte masculina, 2016 – 2025**



Fuente: Elaboración propia.

La Gráfica 4.17 presenta el pronóstico de  $\gamma_{t-x}$  previsto a 10 años con sus respectivos intervalos de confianza. El comportamiento previsto del efecto de la cohorte indica que disminuye en forma lineal durante el 2016 y el 2025, sin embargo, la dinámica del mismo puede aumentar o disminuir según las influencias a las que este expuesta la población masculina.

### **Pronóstico de la mortalidad masculina**

Con base a los resultados finales de los pronósticos de  $k_t$  y  $\gamma_{t-x}$ , se procede a estimar los pronósticos de la mortalidad masculina por edad simple del periodo de 2016 al 2025.

Para obtener las previsiones de la mortalidad masculina se hará uso de la ecuación principal del modelo Renshaw-Haberman cuando el número de muertes sigue una distribución Poisson que se muestra a continuación:

$$\eta_{xt} = \alpha_x + \beta_x^{(1)} k_t^{(1)} + \gamma_{t-x}$$

Cada parámetro será sustituido por los valores que le correspondan, es decir, los parámetros  $\alpha_x$  y  $\beta_x^{(1)}$  tomarán los valores dados del ajuste del modelo principal, mientras,  $k_t^{(1)}$  y  $\gamma_{t-x}$  ocuparán los valores del modelo principal y además se agregarán

los valores proporcionados por los pronósticos del índice de mortalidad y del efecto de la cohorte masculina. Por consiguiente, se estimarán los intervalos de confianza al 95%, los cuales para este estudio se utiliza lo siguiente

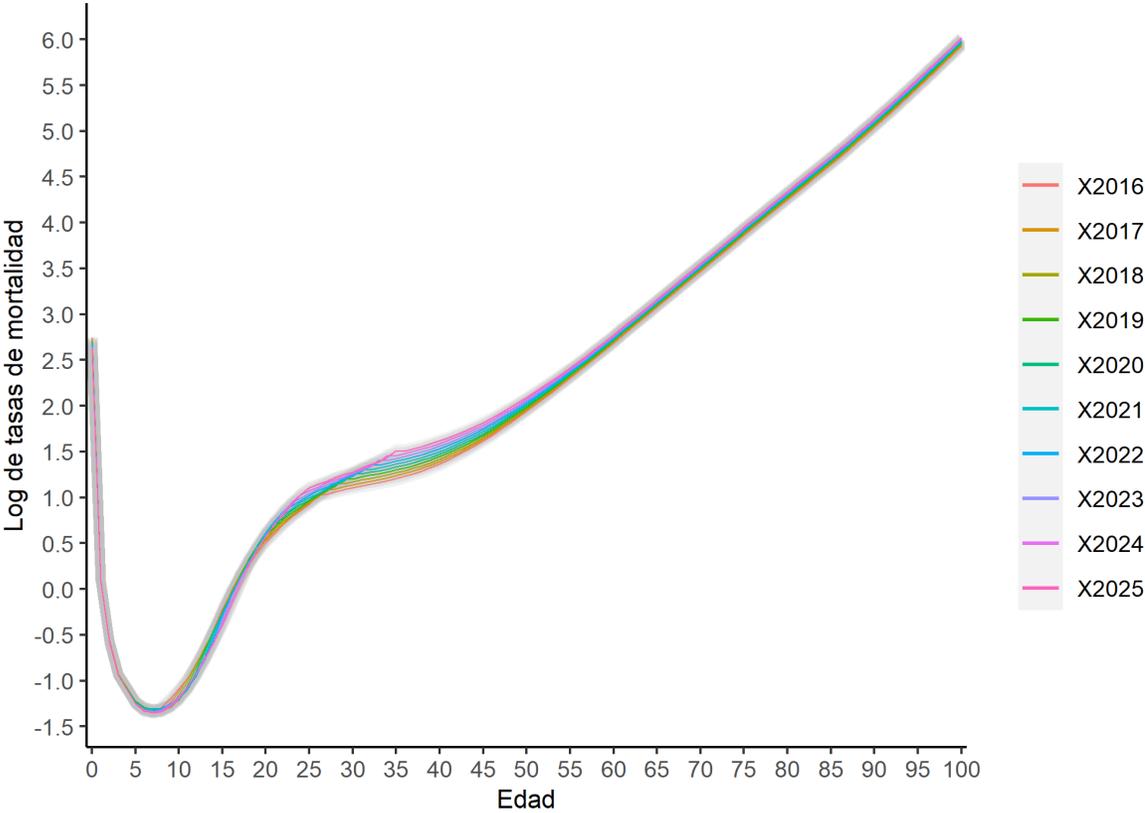
$$\eta_{xt} \pm 1.96 \frac{\sigma}{\sqrt{h}}$$

Finalmente, en la Gráfica 4.18a se presentan los pronósticos anuales de la mortalidad masculina en México del 2016 al 2025 con sus respectivos intervalos de confianza al 95%.

De acuerdo, a los resultados dados por el pronóstico de la mortalidad masculina se esperarí un incremento en la mortalidad en hombres mayores de 25 años.

Los resultados de los pronósticos y de los intervalos de confianza se pueden consultar en la sección Anexos.

**Gráfica 4.18a Pronóstico de la mortalidad masculina por año en México, 2016 – 2025**



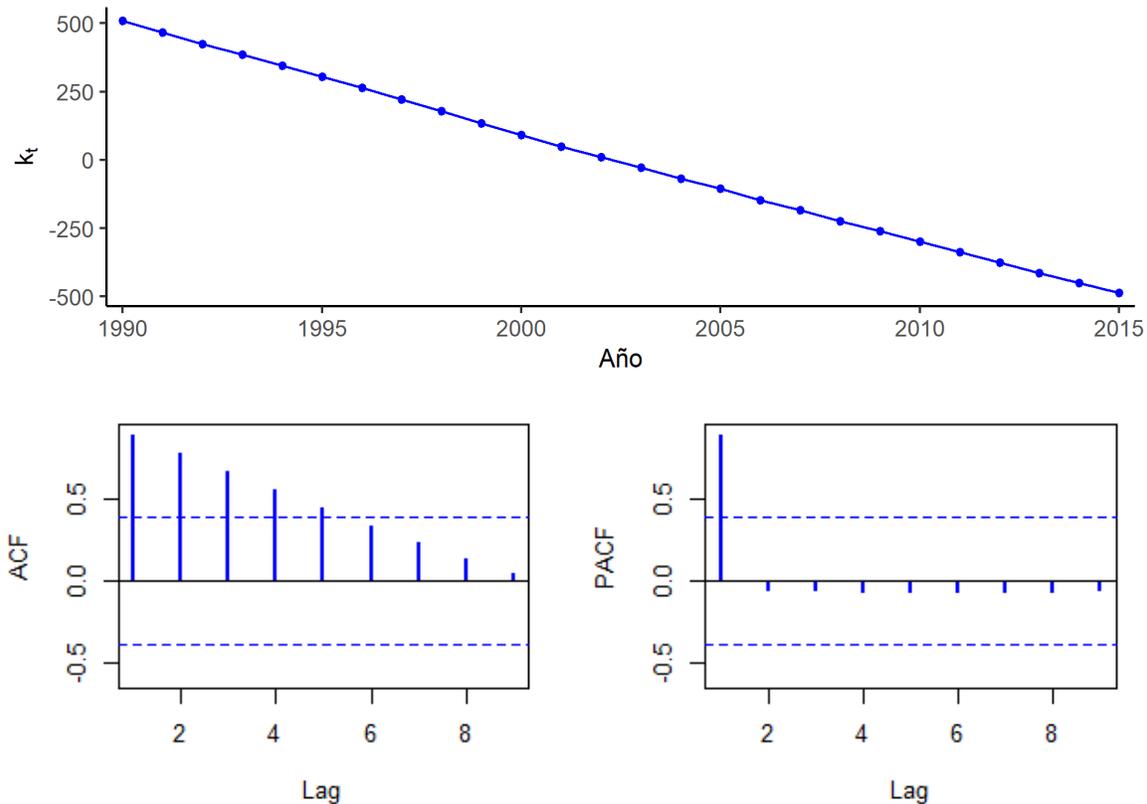
Fuente: Elaboración propia.

### 4.3.2 Pronóstico de la mortalidad femenina en México, 2016 – 2025

#### Pronóstico del Índice de mortalidad $k_t$ femenina

La gráfica 4.19 se da a conocer la dinámica del índice de mortalidad  $k_t$  en mujeres del periodo de 1990 al 2015, junto con sus respectivas funciones de autocorrelación simple (ACF) y parcial (PACF).

Gráfica 4.19 Índice de mortalidad  $k_t$  femenina en México, 1990 – 2015

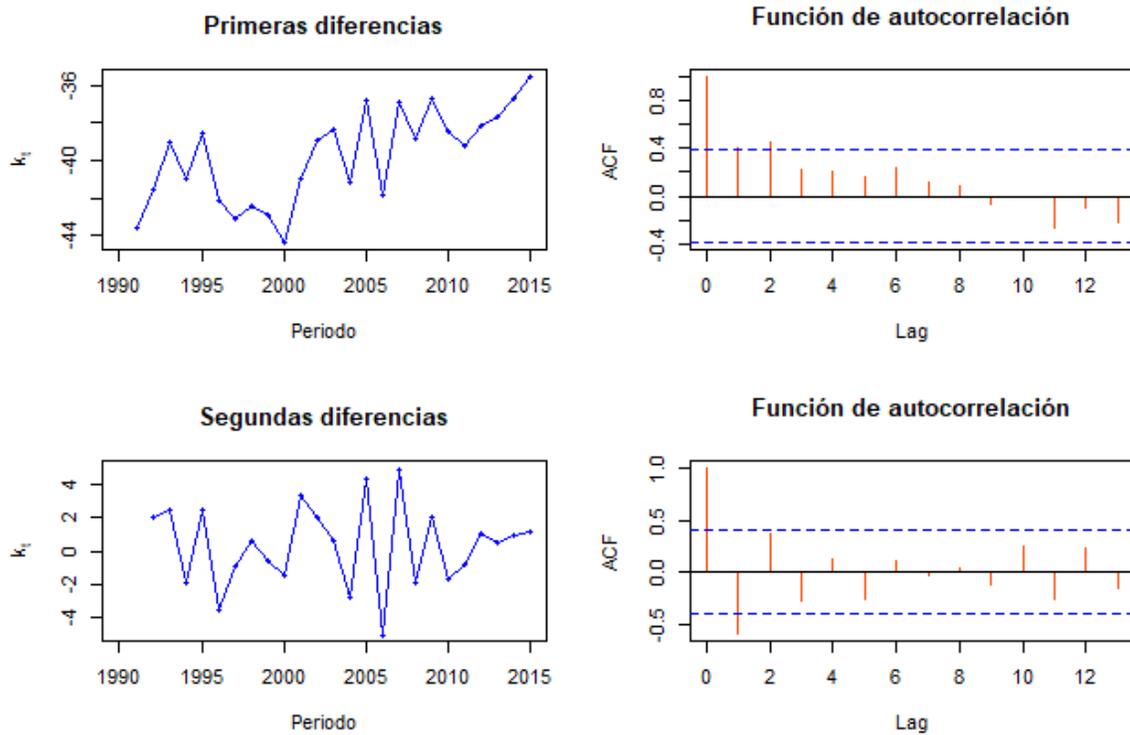


Fuente: Elaboración propia.

La serie  $k_t$  femenina no presenta tendencia estacional, en cambio, muestra un comportamiento lineal decreciente durante todo el periodo de análisis. En cuanto las funciones de autocorrelación simple (ACF) y parcial (PACF) de la serie  $k_t$  confirma la existencia de una alta correlación y una visible tendencia.

La prueba KPSS evidencia la ausencia de la estacionariedad en el proceso, al proporcionar un p-value de 0.01 menor a 0.05.

**Gráfica 4.20 Diferenciaciones de  $k_t$  femenina**



Fuente: Elaboración propia.

Ante la ausencia de la estacionariedad en la serie  $k_t$ , se realizan las diferenciaciones de primer y segundo orden con sus respectivas funciones de autocorrelación simple que se muestran en la Gráfica 4.20.

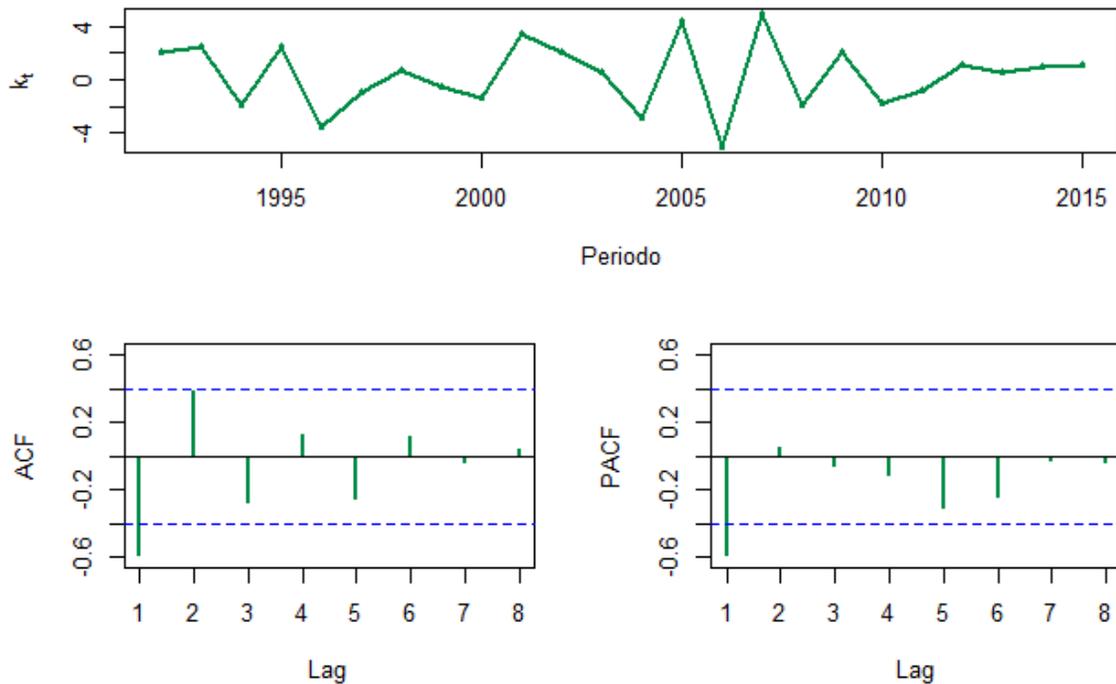
**Tabla 4.7 Prueba de estacionariedad por diferenciación**

Diferenciación	KPSS (p-value > 0.05)
Primer orden	0.01489
Segundo orden	0.1

Fuente: Elaboración propia.

En base a la Tabla 4.7 y a la Gráfica 4.21 se confirma que la estacionariedad de la serie  $k_t$  se logra al realizar las diferencias de segundo orden porque cumple con los dos principales elementos, la prueba KPSS es mayor a 0.05 y en la función de autocorrelación parcial desaparece la tendencia vista en la diferenciación de segundo orden.

**Gráfica 4.21 Diferencias de segundo orden de  $k_t$  femenina**



Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenido el resultado requerido, se proponen los modelos ARIMA de acuerdo a los correlogramas de ACF y PACF de las diferencias de segundo orden vistos en la Gráfica 4.21 y se evalúan bajo los criterios de información AIC y BIC.

**Tabla 4.8 Modelos ARIMA(p,d,q) para  $k_t$  femenina**

Modelo	AIC	BIC
ARIMA (1,2,1)	107.73	111.27
ARIMA (0,2,1)	107.37	111.08
ARIMA (1,2,0)	105.76	108.11

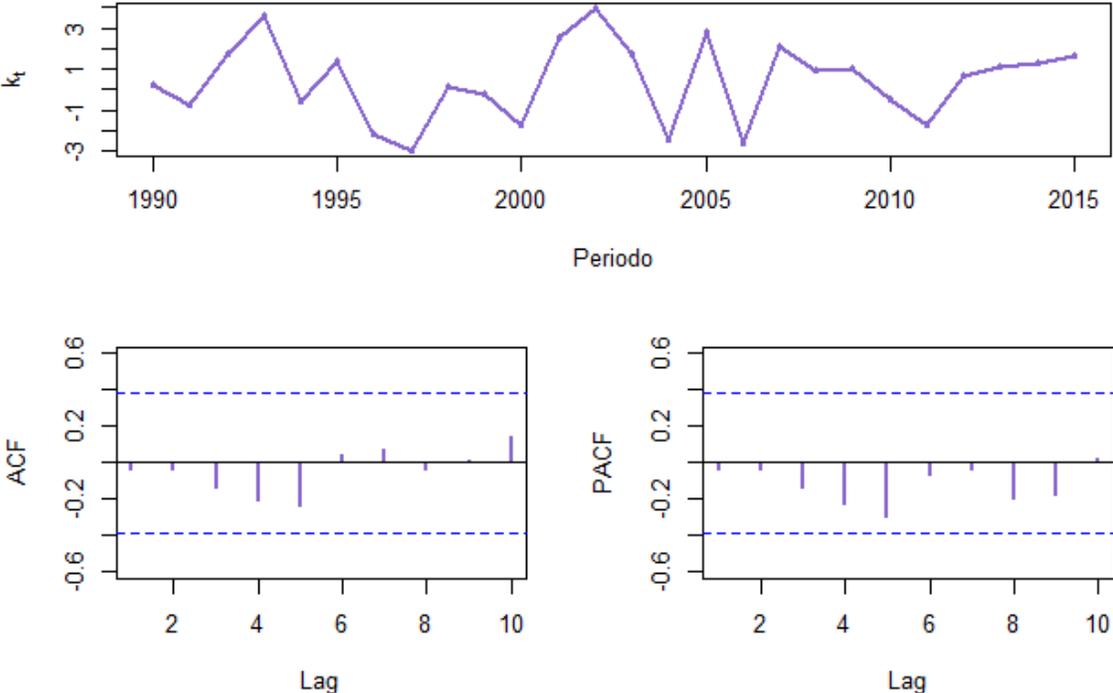
Fuente: Elaboración propia.

El mejor modelo que representa al índice de mortalidad  $k_t$  para mujeres mexicanas es el ARIMA (1,2,0) de acuerdo a los valores más pequeños de AIC y BIC que se presentan en la Tabla 4.8. La ecuación del mejor modelo ARIMA se determina como:

$$Z_t = -0.5666Y_{t-1} + e_t$$

Por consiguiente, se realiza la evaluación de los residuos del modelo ARIMA (1,2,0) que se presentan en la Gráfica 4.22, en la cual es evidente que los residuos se asemejan a un ruido blanco, debido a que sus valores permanecen dentro de los niveles de significancia de ACF y PACF.

**Gráfica 4.22 Residuos del modelo ARIMA (1,2,0)**



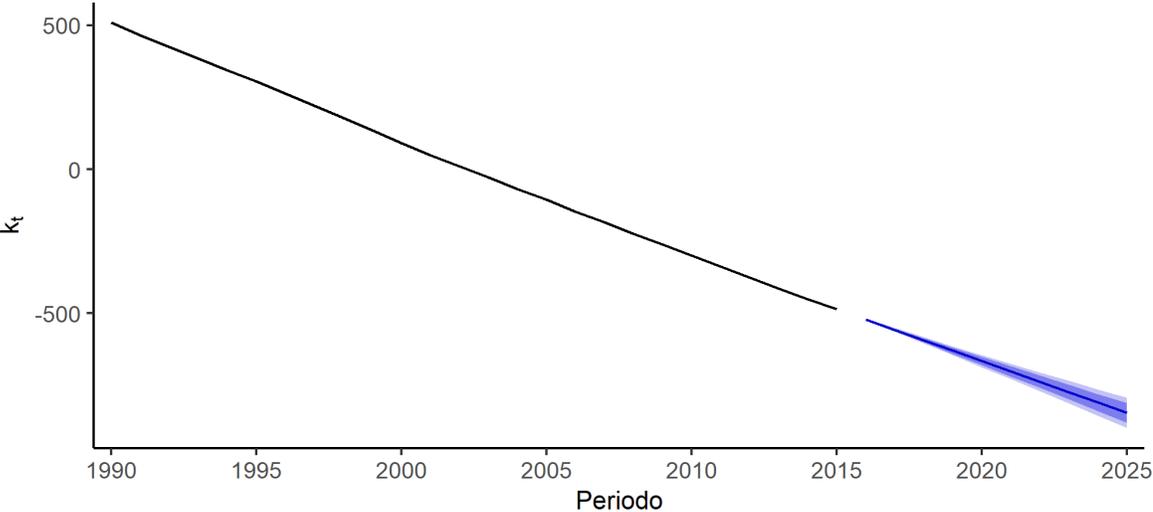
Fuente: Elaboración propia.

Para mayor certeza de lo anterior, se realiza la prueba del estadístico Ljung-Box donde se da un valor p igual a 0.8341 mayor a 0.05, lo que confirma que los residuos son independientes y por ende tienen un comportamiento similar al ruido blanco.

Finalmente se presenta en la Gráfica 4.23 el pronóstico del modelo ARIMA (1,2,0) que modela al índice de mortalidad de mujeres mexicanas para un horizonte de tiempo de 10 años.

El pronóstico del índice de mortalidad femenina señala que durante los próximos diez años se esperaría que continuara disminuyendo de forma constante la mortalidad femenina.

**Gráfica 4.23 Pronóstico del índice de mortalidad  $k_t$  femenina en México, 2016 - 2025**

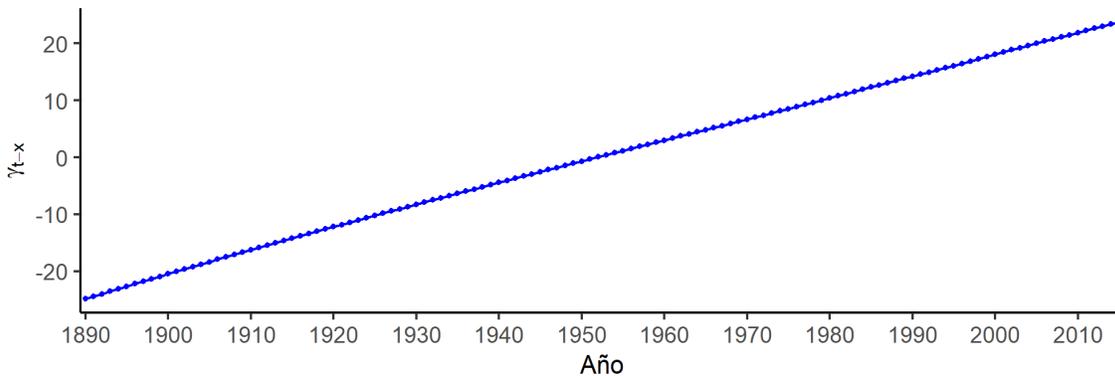


Fuente: Elaboración propia.

### Pronóstico de los efectos de la Cohorte $\gamma_{t-x}$ femenina

Enseguida, se presenta la modelización ARIMA del parámetro  $\gamma_{t-x}$  que representa a la cohorte de las mujeres mexicanas del periodo de 1890 al 2015. La conducta de  $\gamma_{t-x}$  es semejante a un crecimiento lineal, de tal modo que hay ausencia estacional o cíclica.

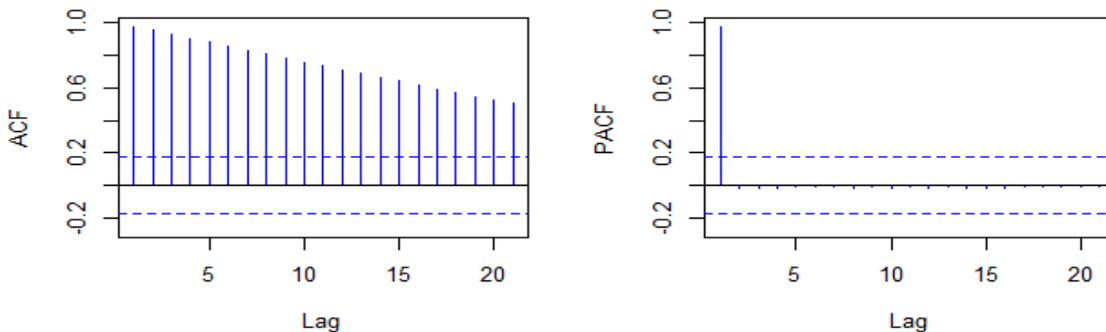
Gráfica 4.24a Efectos de la cohorte  $\gamma_{t-x}$  femenina en México, 1890 – 2015



Fuente: Elaboración propia.

En tanto, la ACF y PACF indican la existencia de una alta tendencia y correlación en la serie, lo que determina que la serie es no estacionaria. La prueba KPSS confirma la no estacionariedad del proceso al proporcionar un valor p igual a 0.01 inferior a 0.05.

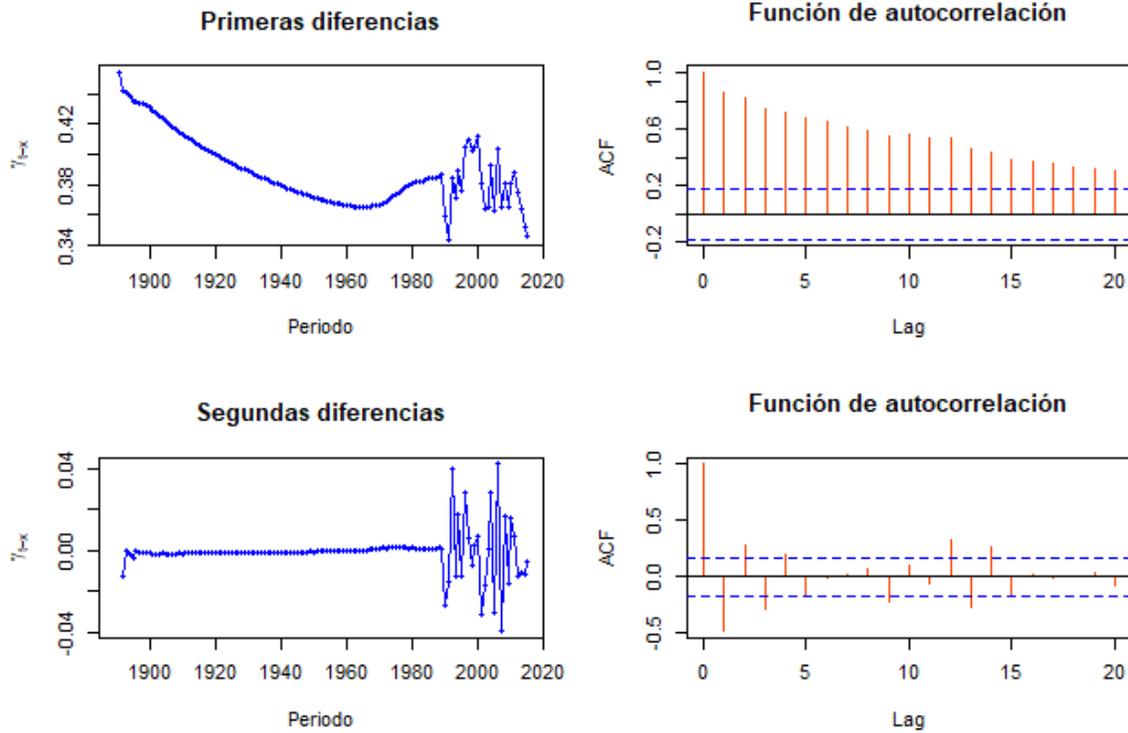
Gráfica 4.24b Funciones de autocorrelación simple y parcial de  $\gamma_{t-x}$



Fuente: Elaboración propia.

Para lograr la estacionariedad en la serie, se procede a realizar las diferenciaciones de primer y segundo orden que se muestran en la Gráfica 4.25.

**Gráfica 4.25 Diferenciaciones de  $\gamma_{t-x}$  femenina**



Fuente: Elaboración propia.

La estacionariedad se presenta al realizar las segundas diferencias, esto de acuerdo al correlograma de la ACF que expone un comportamiento semejante al ruido blanco y la prueba KPSS acepta la estacionariedad del proceso que se muestra en la Tabla 4.9.

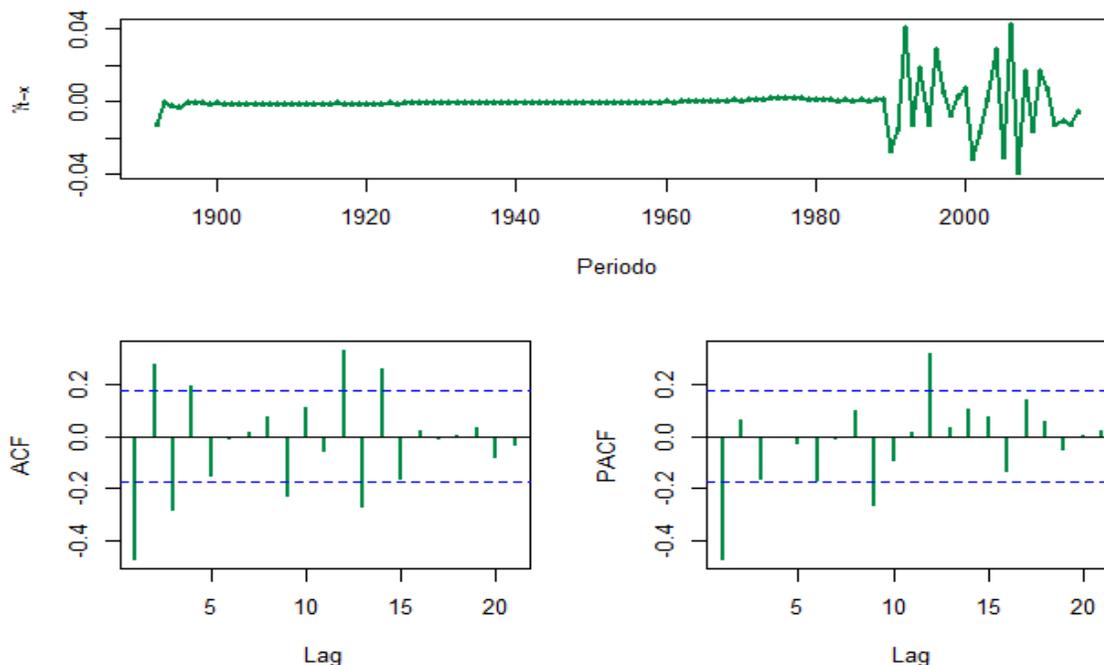
**Tabla 4.9 Prueba de estacionariedad por diferenciación**

Diferencias	KPSS (p-value > 0.05)
Primer orden	0.01
Segundo orden	0.1

Fuente: Elaboración propia.

Ante lo anterior, se revisa detalladamente las funciones de autocorrelación de las segundas diferencias. La ACF y PACF muestran que debe de existir por lo menos un autorregresivo o una media móvil en el modelo ARIMA.

**Gráfica 4.26 Diferencias de segundo orden de  $\gamma_{t-x}$  femenina**



Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 4.10 se muestran los modelos ARIMA candidatos para modelar la cohorte  $\gamma_{t-x}$  y la evaluación de los criterios de información AIC y BIC.

**Tabla 4.10 Modelos ARIMA(p,d,q) para  $\gamma_{t-x}$  femenina**

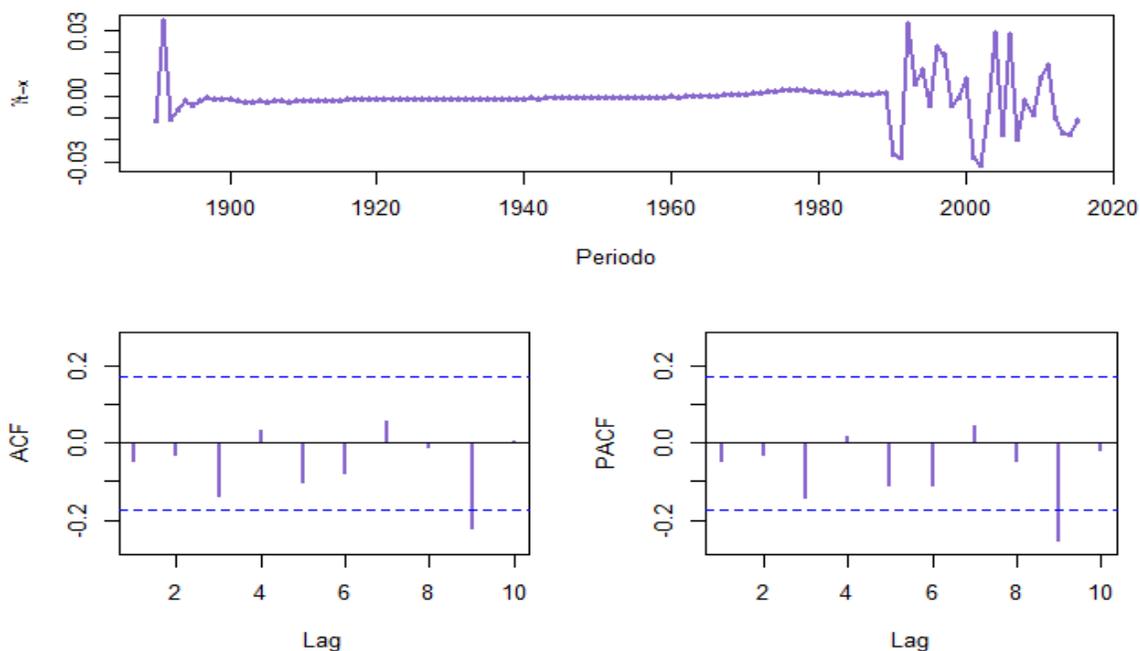
Modelo	AIC	BIC
ARIMA (0,2,1)	-814.15	-808.51
ARIMA (1,2,0)	-819.56	-813.92
ARIMA (1,2,1)	-819.13	-810.67

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la tabla antes mencionada, se determina que el modelo ARIMA (1,2,0) es el mejor modelo, ya que cumple con los dos primeros criterios de selección y evaluación, es decir, el AIC y BIC son los valores más pequeños además del modelo ARIMA (1,2,1), pero que además tiene el menor número de parámetros y proporciona una mayor representatividad a la serie analizada. La ecuación del modelo ARIMA (1,2,0) se define como:

$$Z_t = -0.4679Y_t + e_t$$

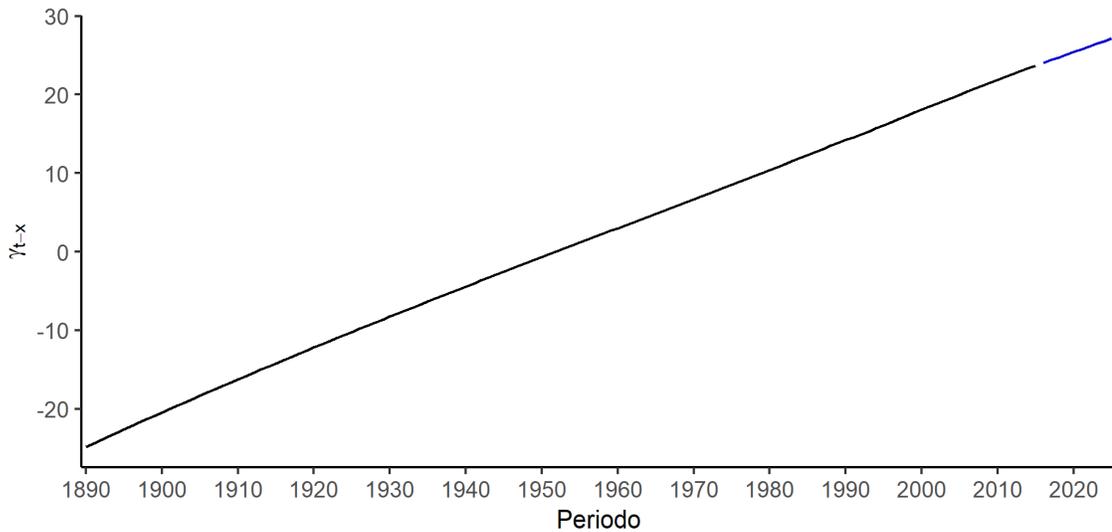
**Gráfica 4.27 Residuos del modelo ARIMA (1,2,0)**



Fuente: Elaboración propia.

Para determinar que el modelo ARIMA (1,2,0) es el mejor modelo se procede a analizar los residuos del modelo que se muestran en la Gráfica 4.27. Los correlogramas de ACF y PACF corresponden a un comportamiento semejante al ruido blanco y la prueba del estadístico Ljung-Box acepta la independencia de los residuos al dar un p-value igual a 0.5836 mayor a 0.05.

**Gráfica 4.28 Pronóstico del efecto de la cohorte femenina, 2016 - 2025**



Fuente: Elaboración propia.

Una vez comprobado que el modelo ARIMA (1,2,0) es el mejor modelo, se realiza el pronóstico a un horizonte de 10 años que se presenta en la Gráfica 4.28. El pronóstico muestra el posible comportamiento que puede tener el efecto de la cohorte femenina a lo largo del periodo del 2016 al 2025, en este caso, la dinámica de  $\gamma_{t-x}$  se mantiene al visto en los años anteriores, es decir, incrementa de forma semejante a una línea recta.

### **Pronóstico de la mortalidad femenina**

A continuación, se presenta el pronóstico de la mortalidad femenina de 2016 al 2025, la realización del mismo se basa a los resultados del modelo Renshaw-Haberman Poisson, modelo que presento mejor ajuste a la mortalidad en mujeres de 1990 al 2015.

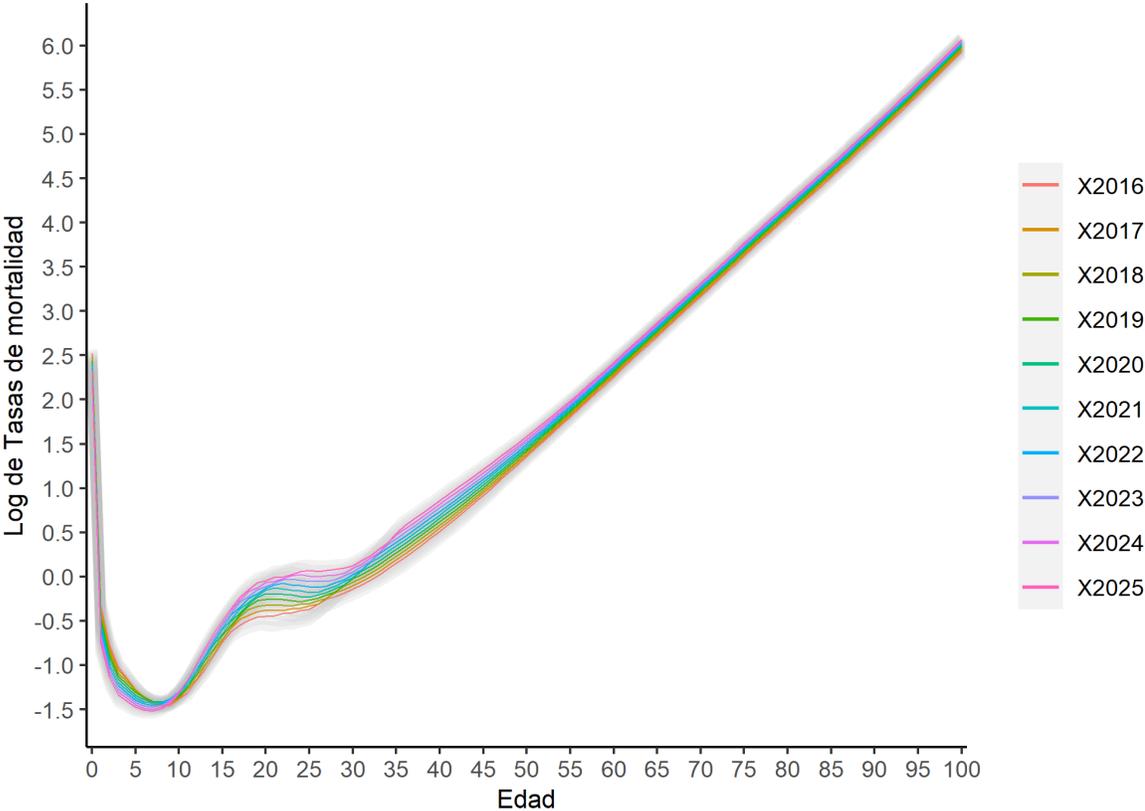
El procedimiento para el cálculo del pronóstico es el mismo al aplicado en el caso de los hombres. Se toman los resultados del ajuste del modelo original y los dados por los pronósticos de los parámetros que dependen del tiempo  $\gamma_{t-x}$  y  $k_t$ .

La Gráfica 4.29 muestra el resultado final del pronóstico de la mortalidad femenina con sus respectivos intervalos de confianza al 95%.

Con base a los resultados del pronóstico realizado se observa el comportamiento de las curvas de mortalidad en mujeres, donde muestra un incremento en las tasas logarítmicas de mortalidad a partir de la edad de 10 años en adelante, además la “joroba de accidentes” tiene una mayor amplitud, la cual se relacionaría con el aumento de muertes en mujeres jóvenes de entre 20 y 25 años de edad.

Sin embargo, la amplitud no solo se delimita dentro de la “joroba de accidentes”, sino que esta también se muestra en mujeres mayores de 25 años de edad, lo que implicaría un aumento en la probabilidad de fallecimiento en mujeres jóvenes y adultas. En cuanto, al comportamiento en edades menores a 10 años, se esperaría que la mortalidad infantil disminuyera durante el 2016 y el 2025.

**Gráfica 4.29 Pronóstico de la mortalidad femenina en México, 2016 – 2025**



Fuente: Elaboración propia.

## **Conclusiones**

La dinámica de la mortalidad ha tratado de ser explicada mediante las teorías de la TD y la TE, sin embargo, en la actualidad se desconocen los hechos futuros que podrían ocurrir, como guerras, epidemias, pandemias e inclusive las nuevas problemáticas a las que nos enfrentamos que son los problemas ambientales (cambio climático, escasez de agua, degradación del suelo, por solo mencionar algunas). De hecho, la actual pandemia por la enfermedad ocasionada por el virus SARS-CoV-2 muestra parte de los efectos que un proceso biológico y social puede tener sobre la dinámica de la mortalidad: en México, las defunciones por COVID-19 ocuparon el primer lugar como causa de muerte durante los años 2020 y 2021.

A pesar de lo anterior, la importancia de estudiar la dinámica de la mortalidad mediante el análisis de las curvas radica en distintos ámbitos de los cuales se comentan dos. Primero, dada su trascendencia como elemento fundamental para determinar los posibles escenarios futuros dentro de la política de la población o de salud. Segundo, al jugar un papel importante para mantener la solvencia de los sistemas de seguros, así como la planificación de los sistemas de seguridad social.

Ante su importancia y su papel en diversos estudios de la demografía y la ciencia actuarial, este trabajo de investigación tuvo como finalidad ajustar las curvas de mortalidad mexicana de 1990 a 2015, mediante la aplicación de modelos de mortalidad estocástica edad-periodo-cohorte generalizados (GAPC) y lograr identificar el mejor modelo que lograra describir a los datos observados para poder generar un pronóstico fiable en el periodo 2016 – 2025.

Después de llevar a cabo la correspondiente revisión de la literatura, los modelos empleados para estudiar y pronosticar la dinámica de la mortalidad mexicana fueron Lee-Carter (1992) y Renshaw-Haberman (2011) cuando se suponen que el número de muertes sigue una distribución Poisson o una distribución Binomial.

De acuerdo, a los resultados de los ajustes de las curvas de mortalidad en hombres y mujeres de México de 1990 a 2015, se logró identificar algunas conclusiones sobresalientes:

Los modelos Lee-Carter y Renshaw-Haberman, al suponer que el número de muertes siguen una distribución Poisson, capturan mejor el comportamiento de las curvas de mortalidad mexicana en todo el rango de edad. En tanto, cuando los modelos suponen que el número de muertes siguen una distribución Binomial, existe un desajuste en los últimos grupos de edad.

Por otro lado, si se toma como base cuando el modelo no incluye el efecto de la cohorte, como es el caso del modelo Lee-Carter, el modelo no captura el comportamiento de la “joroba de accidentes” o el exceso de mortalidad que abarca el periodo comprendido entre la pubertad y las edades adultas jóvenes que, en el caso de los hombres se relaciona con la mortalidad por accidentes y violencia, mientras en las mujeres se asocia con defunciones por causas maternas (Silva, Islas, & Guerrero, 2022). En cambio, el modelo Renshaw-Haberman, al incorporar el efecto de la cohorte, muestra un mejor ajuste al dinamismo de la misma.

Cabe mencionar que los modelos Renshaw-Haberman obtuvieron los menores valores en los criterios de información AIC y BIC, por lo que se podría decir que son los mejores candidatos a modelar la mortalidad mexicana. Sin embargo, cuando se es posible ver los gráficos de los ajustes realizados sería bueno analizarlos para poder determinar qué modelo describe mejor en este caso a la mortalidad mexicana.

De tal forma que, al compararse los modelos Lee-Carter Poisson, Lee-Carter Binomial, Renshaw-Haberman Poisson y Renshaw-Haberman Binomial, con base a la representación gráfica y los criterios de información AIC y BIC de cada modelo, se logró concluir que, los modelos Renshaw-Haberman que suponen que el número de muertes sigue una distribución Poisson se ajustan mejor a la mortalidad mexicana de hombres y mujeres de 1990 al 2015.

Esto último, responde a la pregunta de investigación de esta tesis: ¿Cuál de los modelos estocásticos Lee-Carter o Renshaw-Haberman describe mejor el patrón de mortalidad general en México en el periodo 1990 – 2015? Y, por consiguiente, se permite aceptar la hipótesis expuesta inicialmente, la cual indica que el modelo estocástico Renshaw-Haberman describe mejor el patrón de mortalidad general en México durante el periodo de 1990 – 2015.

Al identificar que el modelo Renshaw-Haberman Poisson fue el mejor modelo en ajustarse a las curvas de mortalidad mexicana de hombres y mujeres, se procedió a realizar los pronósticos de mortalidad según sexo para el periodo 2016 al 2025. El resultado de esta tesis constituye un referente en el análisis de las curvas de mortalidad para mujeres y hombres en México, pues como se dijo no se encontraron antecedentes de este tipo de análisis.

El modelo Renshaw-Haberman Poisson permite modelar a través de modelos ARIMA dos de sus parámetros, el índice de mortalidad y el efecto de la cohorte que dependen del tiempo.

Para el caso de los hombres, el pronóstico resultante del índice de mortalidad mostró un incremento lineal poco perceptible, mientras el pronóstico del efecto de la cohorte tuvo un comportamiento opuesto al mostrarse un descenso constante.

En el caso de las mujeres, los pronósticos resultantes mostraron un comportamiento adverso al caso de los hombres, es decir, el índice de mortalidad mostró una disminución para los próximos diez años y el efecto de la cohorte un incremento poco perceptible.

Finalmente, se obtuvieron los pronósticos finales de la mortalidad de México de hombres y mujeres, en los cuales, los resultados de los mismos muestran un incremento en las tasas logarítmicas de mortalidad mexicana principalmente en jóvenes y adultos.

En resumen, este trabajo de investigación muestra una alternativa al modelaje de la mortalidad mexicana por sexo y edad simple, mediante la aplicación de modelos de mortalidad estocástica edad-periodo-cohorta generalizados (GAPC), modelos que logran ajustarse a las curvas de mortalidad en todo el rango de edad y proporcionan buenos resultados, además permiten realizar pronósticos a corto, mediano y largo plazo, de acuerdo con la información histórica que se disponga.

Sin embargo, este trabajo muestra algunas limitaciones relacionadas con la temporalidad de los datos empleados y que cubren solo 26 observaciones anuales. Esto es importante porque en tal periodo de tiempo se han sucedido una serie de acontecimientos sociales, económicos y de la salud pública que pueden afectar el patrón de la mortalidad analizado.

Otra limitación de esta tesis se relaciona con el estudio de la mortalidad en todo el rango de edades. Esto captura diferentes dinámicas como las muertes relacionadas con la violencia por la cual atraviesa el país lo cual modifica las tasas de mortalidad comprendidas en las edades jóvenes. En este sentido, es importante que los resultados de esta investigación se consideren bajo la luz de estas limitaciones, pues, por ejemplo, existe un elevado número de defunciones que no se registran y que se asocian con la violencia (Aburto, Riffe, & Canudas, 2018).

## REFERENCIAS

- Aburto, J. M. (2014). La mortalidad evitable: su contribución a la esperanza de vida durante la primera década del siglo XXI. *Tesis de Maestría*. Obtenido de <http://localhost/files/5138jf20k>
- Aburto, J. M., & García, V. M. (2015). El modelo aditivo doble multiplicativo. Una aplicación a la mortalidad mexicana. *Papeles de población*, 21(84), 9-44. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=11239488002>
- Aburto, J. M., Riffe, T., & Canudas, V. (2018). Trends in avoidable mortality over the life course in Mexico, 1990–2015: a cross-sectional demographic analysis. *BMJ Journals*, 8(7). Obtenido de <https://bmjopen.bmj.com/content/8/7/e022350>
- Aguilar, E. (2013). Estimación y proyección de la mortalidad para Costa Rica con la aplicación del método Lee-Carter con dos variantes. *Población y Salud en Mesoamerica*, 11(1), 1-23. Obtenido de <https://biblat.unam.mx/hevila/Poblacionysaludenmesoamerica/2013/vol11/no1/3.pdf>
- Alarcón, V. (2019). Medición de riesgo en portafolios aplicando un modelo GARCH-EVT-CÓPULA. *Tesis*. Obtenido de <https://cimat.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1008/1022/1/TE%20747.pdf>
- Arango, J. (1980). La Teoría de la Transición Demográfica y la experiencia histórica. *Revista Española de Investigaciones Sociológicas*(10), 168-198. Obtenido de [https://reis.cis.es/REIS/PDF/REIS\\_010\\_101247209136081.pdf](https://reis.cis.es/REIS/PDF/REIS_010_101247209136081.pdf)
- Arnau, J. (1996). *Metodos y tecnicas avanzadas de análisis de datos en ciencias del comportamiento*. *Manual*. Barcelona.
- Bayarre, H., Pérez, J., & Menéndez, J. (2006). Las transiciones demográfica y epidemiológica y la calidad de vida objetiva en la tercera edad. *GEROINFO*, 1(3). Obtenido de

[http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/gericuba/las\\_transiciones\\_demografica\\_y\\_epi\\_demiologica\\_y\\_la\\_calidad\\_de\\_vida\\_objetiva\\_en\\_la\\_tercera\\_edad.pdf](http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/gericuba/las_transiciones_demografica_y_epi_demiologica_y_la_calidad_de_vida_objetiva_en_la_tercera_edad.pdf)

- Benítez, R., & Cabrera, G. (1967). *Tablas abreviadas de mortalidad de la población de México, 1930, 1940, 1950*. (1a. ed.). México: El Colegio de México. Obtenido de <https://libros.colmex.mx/tienda/tablas-abreviadas-de-mortalidad-de-la-poblacion-de-mexico-1930-1940-1950-1960/>
- Brouhns, N., Denuit, M., & Vermunt, J. (2002). A Poisson log-bilinear regression approach to the construction of projected lifetables. *Insurance: Mathematics and Economics*, 31(3), 373-393.
- Camposortega, S. (1989). La evolución de la mortalidad en México, 1940-1980. *Estudios Demográficos y Urbanos*, 4(2), 229-264. doi:<https://doi.org/10.24201/edu.v4i2.718>
- CEPAL-CELADE-BID. (1996). *Impacto de las tendencias demográficas sobre los sectores sociales en América Latina (contribución al diseño de políticas y programas)*. Santiago de Chile. Obtenido de <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/9786>
- CONAPO. (2018). *Proyecciones de la Población de México y de las Entidades Federativas, 2016-2050 y Conciliación Demográfica de México, 1950 -2015*. México.
- Cordero, E. (1968). La subestimación de la mortalidad infantil en México. *Estudios Demográficos y Urbanos*, 2(01), 44-62. doi:<https://doi.org/10.24201/edu.v2i01.61>
- Dávila, C. (2012). Ajuste matemático de la mortalidad general en México 2000, 2005 y 2010. *Papeles de Población*, 18(74), 1-34. Obtenido de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-74252012000400006](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-74252012000400006)
- Escobedo, J. (2013). Transición epidemiológica de México y la evolución de su mortalidad. *Desigualdades y Estructura Social: Producción, reproducción y cambio*. Buenos Aires. Recuperado el 2021, de <https://www.academica.org/000-076/324>

- García, V., & Ordorica, M. (2012). Proyección estocástica de la mortalidad mexicana por medio del método de Lee-Carter. *Estudios demográficos y urbanos*, 27(2), 409-448.
- Gómez, O., & Frenk, J. (2019). Crónica de un siglo de salud pública en México: de la salubridad pública a la protección social en salud. *Ensayo*, 61(2). doi:<https://doi.org/10.21149/10122>
- González, M. P. (2009). *Análisis de series de tiempo: Modelos ARIMA*. SarriKo-on.
- González, S., González, A., & Chickris, A. (Mayo-Agosto de 2015). La transición demográfica en México. *Cultura Científica y Tecnológica*(65), 61-74.
- Haberman, S., & Renshaw, A. (2011). A Comparative Study of Parametric Mortality Projection. *Insurance Mathematics and Economics*, 48(1), 35-55. doi:10.1016/j.insmatheco.2010.09.003
- Hyndman, R., & Athanasopoulos, G. (2021). *Forecasting: Principles and Practice* (3rd edition ed.). OTexts: Melbourne. Obtenido de <https://otexts.com/fpp3/>
- Hyndman, R., Koehler, A., Ord, K., & Snyder, R. (2008). *Forecasting with exponential smoothing. The state space approach*. Berlin: Springer. Obtenido de ISBN 978-3-540-71916-8
- INEGI. (2017). Estadísticas a propósito del día de muertos. *Comunicación social*. Obtenido de [https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/aproposito/2017/muertos2017\\_nal.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/aproposito/2017/muertos2017_nal.pdf)
- Kabeer, N. (1996). *Gender, demographic transition and the economics of family size: Population policy for a human-centred development*. UNRISD Occasional Paper, No. 7, United Nations Research Institute for Social Development (UNRISD), Geneva. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10419/148813>
- Kumate, J. (2002). La transición epidemiológica del siglo XX: ¿vino nuevo en odres viejos? *Revista de la Facultad de Medicina de la UNAM*, 45(3), 97-102. Obtenido de <https://www.medigraphic.com/pdfs/facmed/un-2002/un023b.pdf>

- Lee, R., & Carter, L. (1992). Modeling and Forecasting U.S. Mortality. *Journal of the American Statistical Association*, 87(419), 659-671. Obtenido de <http://www.jstor.org/stable/2290201>
- Lee, R., & Rofman, R. (1994). Modelación y proyección de la mortalidad en Chile. *Notas de Población*, 183-213. Obtenido de <http://hdl.handle.net/11362/12494>
- Lopes, N. (1973). Transición demográfica: ¿Resumen histórico o teoría de población? *Demografía y economía*, 7(1), 86 - 95. Obtenido de [file:///C:/Users/Usuariccc/Downloads/231-Texto%20del%20art%C3%ADculo-233-1-10-20160706%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Usuariccc/Downloads/231-Texto%20del%20art%C3%ADculo-233-1-10-20160706%20(1).pdf)
- Manzano, F. A. (2016). La teoría de la transición demográfica y su inexactitud para América Latina, periodo 1950-2000. *Revista de Geografía (Recife)*, 33(3), 29-47.
- Martínez, C., & Leal, G. (2002). La transición epidemiológica en México: un caso de políticas de salud mal diseñadas y desprovistas de evidencia. *Estudios demográficos y urbanos*, 17(3), 547-569. doi:<http://dx.doi.org/10.24201/edu.v17i3.1150>
- Martínez, J. (2008). Modelos de series de tiempo y precisión del pronóstico del crecimiento económico en México (1993-2006), mediante el indicador global de la actividad económica (IGAE). *Tesina por diplomado*. Obtenido de <http://132.248.9.195/ptd2008/agosto/0630346/0630346.pdf>
- Mendonza, M., Contreras, A., & Gutiérrez, E. (2015). Inferencia bayesiana y tablas de mortalidad en México. *Revista internacional de estadística y geografía*, 6(1). Obtenido de [https://rde.inegi.org.mx/rde\\_14/doctos/rde\\_14\\_opt.pdf](https://rde.inegi.org.mx/rde_14/doctos/rde_14_opt.pdf)
- Mina, A. (2001). Funciones de sobrevivencia empleadas en el análisis demográfico. *Papeles de Población*, 7(28), 131-154. Obtenido de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-74252001000200005](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-74252001000200005)
- Mina, A. (2010). Evolución de la mortalidad: pasado, presente y futuro. En B. García, & M. Ordorica, *Los grandes problemas de México. I Población* (Primera Edición ed.,

- págs. 79-104). México: El Colegio de México, A.C. Obtenido de <https://libros.colmex.mx/wp-content/plugins/documentos/descargas/l.pdf>
- Mina, A. (2011). La obtención y proyección de tablas de mortalidad empleando curvas spline. *Papeles de Población*, 17(69), 49-72. Obtenido de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-74252012000400006](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-74252012000400006)
- Miró, C. (2003). Transición demográfica y envejecimiento demográfico. *Papeles de población*, 9(35). Obtenido de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-74252003000100002](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-74252003000100002)
- Ochoa, C. (2015). El modelo Lee-Carter para estimar y pronosticar mortalidad: Una aplicación para Colombia. *Tesis o trabajo de grado*. Colombia.
- Omran, A. (1971). The epidemiologic transition: A theory of epidemiology of population change. *The Milbank Memorial Fund Quarterly*, 49(4), 509-538. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1468-0009.2005.00398.x>
- Omran, A. (1998). The epidemiologic transition theory revisited thirty years later. *World Health Statistics Quarterly*, 51((2, 3, 4)), 99-119. Obtenido de <https://apps.who.int/iris/handle/10665/330604>
- Ordorica, M. (1976). *Tablas abreviadas de mortalidad para ocho regiones de México, 1970*. Secretaría de Industria y Comercio, Dirección General de Estadística, México, D.F. Obtenido de <https://books.google.com.mx/books?id=VbDdDAAAQBAJ>
- Ordorica, M. (2004). Pronóstico de las defunciones por medio de los modelos autorregresivos integrados de promedios móviles. *Papeles de Población*, 10(42), 249-264. Obtenido de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-74252004000400009&script=sci\\_abstract](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-74252004000400009&script=sci_abstract)
- Organización Panamericana de la Salud, Unidad de información y Análisis de Salud. (2015). Glosario de Indicadores. *Glosario de Indicadores Básicos de la OPS*.

Washington DC. Obtenido de  
<https://www.paho.org/hq/dmdocuments/2015/glosario-spa-2014.pdf>

Ornelas, A., & Montserrat, G. (2013). A Comparison between General Population Mortality and Life Tables for Insurance in Mexico under Gender Proportion Inequality. *Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa*, 16, 46-67. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/2331/233129568003.pdf>

Partida, V. (1980). Patrones modelo de mortalidad para México. *Tesis de Maestría, Repositorio de El Colegio de México*. México. Obtenido de [https://repositorio.colmex.mx/concern/theses/70795793h?f%5Bresource\\_type\\_sim%5D%5B%5D=Tesis+de+Maestr%C3%ADa&f%5Bsubject\\_sim%5D%5B%5D=Mortalidad&locale=es&per\\_page=100&sort=title\\_sim+asc](https://repositorio.colmex.mx/concern/theses/70795793h?f%5Bresource_type_sim%5D%5B%5D=Tesis+de+Maestr%C3%ADa&f%5Bsubject_sim%5D%5B%5D=Mortalidad&locale=es&per_page=100&sort=title_sim+asc)

Partida, V. (2005). La transición demográfica y el proceso de envejecimiento en México. *Papeles de Población*, 11(45), 9-27. Recuperado el 2021, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-74252005000300002](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-74252005000300002)

Pascariu, M. (2018). *Modelling and forecasting mortality*. Odense, Denmark: Print & Sing, SDU. Obtenido de [https://www.scor.com/sites/default/files/pascariu\\_-\\_2018\\_-\\_modelling\\_and\\_forecasting\\_mortality.pdf](https://www.scor.com/sites/default/files/pascariu_-_2018_-_modelling_and_forecasting_mortality.pdf)

Peña, J. I. (2014). Análisis de Series Temporales utilizando Modelos Arima y su Aplicación en la Predicción de Indicadores del Ministerio de Salud en el Departamento de Santa Ana. *Trabajo de investigación*. Obtenido de <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/13526/1/An%C3%A1lisis%20de%20Series%20Temporales%20utilizando%20Modelos%20Arima%20y%20su%20Aplicaci%C3%B3n%20en.pdf>

Perdigón, G., & Fernández, S. (2008). Principales causas de muerte en la población general e infantil en México, 1922-2005. *Medigraphic*, 65, 238-240.

Remund, A., Camarda, C. G., & Riffe, T. (2021). Is young adult excess mortality a natural phenomenon? *Population & Societies*, 590(6), 1-4. Obtenido de [https://www.cairn-int.info/article-E\\_POPSOC\\_590\\_0001--is-young-adult-excess-mortality-a.htm](https://www.cairn-int.info/article-E_POPSOC_590_0001--is-young-adult-excess-mortality-a.htm)

- Renshaw, A., & Haberman, S. (2006). A cohort-based extension to the Lee–Carter model for mortality reduction factors. *Insurance: Mathematics and Economics*, 38(3), 556-570. doi:<https://doi.org/10.1016/j.insmatheco.2005.12.001>
- Renshaw, A., & Haberman, S. (2011). A Comparative Study of Parametric Mortality Projection. *Insurance Mathematics and Economics*, 48(1), 35-55. doi:10.1016/j.insmatheco.2010.09.003
- Rosen, J. D., & Zepeda, R. (2015). La guerra contra el narcotráfico en México: una guerra perdida. *Reflexiones*, 94(1), 153-168. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/729/72941346011.pdf>
- Santos, J. I. (2002). El Programa Nacional de Vacunación: orgullo de México. *Revista Facultad de Medicina, UNAM*, 45(3), 142-153. Obtenido de <https://www.medigraphic.com/pdfs/facmed/un-2002/un023g.pdf>
- SEMARNAT. (2021). Tasa Global de Fecundidad. *Consulta Temática*. Obtenido de [http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi\\_apps/WFServlet?IBIF\\_ex=D1\\_DEMOG RAF02\\_01\\_D&IBIC\\_user=dgeia\\_mce&IBIC\\_pass=dgeia\\_mce&NOMBREENTIDAD=\\* &NOMBREANIO=\\*](http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D1_DEMOG RAF02_01_D&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce&NOMBREENTIDAD=* &NOMBREANIO=*)
- Silva, E., Islas, A., & Guerrero, V. M. (2022). Esperanza de vida en torno a la joroba de mortalidad masculina en México, con suavizamiento controlado por segmentos. *Estudios demográficos y urbanos*, 37(1). Obtenido de <https://doi.org/10.24201/edu.v37i1.2054>
- Silva, E., Ramos, A., & Olvera, K. (2018). Inferences on mortality using the Heligman-Pollard model: the Mexican case. *Communications in Statistics - Simulation and Computation*, 1-13. doi:10.1080/03610918.2018.1538454
- Soto, G., Moreno, L., & Pahuja, D. (2016). Panorama epidemiológico de México, principales causas de morbilidad y mortalidad. *Revista de la Facultad de Medicina de la UNAM*, 59(6), 8-22. Obtenido de <https://www.medigraphic.com/pdfs/facmed/un-2016/un166b.pdf>
- Villegas, A., Millossovich, P., & Kaishev, V. (2018). StMoMo: An R package for stochastic mortality modeling. *Journal of Statistical Software*, 84(3). doi:10.18637/jss.v084.i03

Zavala, M. E. (2014). *La transición demográfica en México (1895-2010)*. Fondo de Cultura Económica, Sección de Obras de Sociología. Recuperado el 2021, de <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00968364>

## ANEXOS

### Anexo 1. Pronósticos Mortalidad Masculina con IC al 95% en México, 2016-2025

Los datos mostrados en la tabla están representados por cada mil habitantes

Edad	2016	INF	SUP	2017	INF	SUP	2018	INF	SUP	2019	INF	SUP	2020	INF	SUP
0	15.57	15.45	15.69	15.34	15.21	15.46	15.11	14.99	15.24	14.90	14.77	15.02	14.69	14.56	14.81
1	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.09	1.10
2	0.57	0.57	0.57	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56
3	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39
4	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34
5	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.30	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
6	0.26	0.26	0.26	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.28	0.28	0.28	0.28	0.27	0.27	0.28
7	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27
8	0.27	0.27	0.28	0.27	0.27	0.27	0.26	0.26	0.26	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27
9	0.30	0.30	0.30	0.29	0.29	0.29	0.28	0.28	0.28	0.27	0.27	0.28	0.28	0.28	0.28
10	0.34	0.33	0.34	0.33	0.33	0.33	0.31	0.31	0.32	0.30	0.30	0.30	0.30	0.29	0.30
11	0.38	0.37	0.38	0.38	0.38	0.38	0.37	0.37	0.37	0.35	0.35	0.36	0.34	0.34	0.34
12	0.45	0.44	0.45	0.44	0.43	0.44	0.44	0.44	0.44	0.43	0.42	0.43	0.41	0.40	0.41
13	0.53	0.52	0.53	0.53	0.53	0.54	0.52	0.52	0.53	0.53	0.52	0.53	0.51	0.50	0.52
14	0.65	0.64	0.65	0.64	0.63	0.64	0.65	0.64	0.65	0.63	0.63	0.64	0.64	0.63	0.64
15	0.81	0.80	0.82	0.79	0.78	0.80	0.78	0.77	0.79	0.79	0.78	0.80	0.77	0.76	0.78
16	0.98	0.97	0.99	0.98	0.97	0.99	0.96	0.95	0.97	0.94	0.93	0.95	0.96	0.95	0.96
17	1.13	1.12	1.14	1.17	1.16	1.18	1.18	1.17	1.19	1.15	1.14	1.16	1.13	1.12	1.14
18	1.30	1.29	1.31	1.34	1.33	1.35	1.39	1.38	1.39	1.39	1.39	1.40	1.36	1.35	1.37
19	1.48	1.48	1.49	1.51	1.50	1.52	1.56	1.55	1.57	1.62	1.61	1.62	1.62	1.61	1.63
20	1.66	1.65	1.68	1.70	1.69	1.71	1.73	1.72	1.75	1.79	1.78	1.80	1.85	1.84	1.86
21	1.83	1.81	1.85	1.88	1.86	1.90	1.92	1.90	1.94	1.96	1.94	1.98	2.02	2.00	2.04
22	2.02	2.00	2.04	2.04	2.01	2.06	2.09	2.07	2.12	2.14	2.12	2.17	2.18	2.16	2.20
23	2.20	2.17	2.22	2.23	2.20	2.25	2.24	2.22	2.27	2.31	2.28	2.34	2.36	2.33	2.39
24	2.37	2.33	2.40	2.40	2.36	2.43	2.43	2.40	2.46	2.45	2.42	2.48	2.52	2.48	2.55
25	2.53	2.50	2.56	2.56	2.53	2.59	2.59	2.56	2.62	2.62	2.59	2.66	2.65	2.61	2.68
26	2.79	2.76	2.81	2.72	2.70	2.75	2.75	2.73	2.78	2.79	2.76	2.81	2.82	2.80	2.85
27	2.81	2.79	2.84	2.97	2.95	3.00	2.91	2.88	2.93	2.94	2.91	2.97	2.97	2.95	3.00
28	2.90	2.87	2.92	2.99	2.96	3.02	3.16	3.13	3.19	3.09	3.06	3.12	3.12	3.09	3.15
29	2.97	2.93	3.00	3.06	3.03	3.10	3.16	3.13	3.19	3.34	3.31	3.37	3.26	3.23	3.30
30	3.03	2.99	3.07	3.13	3.09	3.17	3.23	3.19	3.27	3.33	3.30	3.37	3.52	3.48	3.56
31	3.09	3.04	3.13	3.19	3.14	3.24	3.29	3.25	3.34	3.40	3.36	3.45	3.51	3.46	3.56
32	3.14	3.09	3.20	3.25	3.20	3.30	3.36	3.30	3.41	3.47	3.41	3.52	3.58	3.52	3.63
33	3.20	3.14	3.27	3.31	3.25	3.37	3.42	3.36	3.48	3.53	3.47	3.59	3.65	3.58	3.71
34	3.27	3.20	3.34	3.38	3.31	3.44	3.49	3.42	3.55	3.60	3.53	3.67	3.72	3.65	3.78
35	3.34	3.27	3.42	3.45	3.38	3.52	3.56	3.49	3.63	3.67	3.60	3.75	3.79	3.72	3.87
36	3.43	3.36	3.50	3.53	3.46	3.61	3.64	3.57	3.72	3.76	3.69	3.83	3.88	3.81	3.95
37	3.53	3.46	3.60	3.63	3.56	3.70	3.74	3.67	3.81	3.86	3.78	3.93	3.98	3.90	4.05
38	3.64	3.57	3.72	3.75	3.67	3.82	3.85	3.78	3.93	3.97	3.89	4.04	4.09	4.01	4.16
39	3.78	3.70	3.85	3.88	3.80	3.95	3.98	3.91	4.06	4.10	4.02	4.17	4.22	4.14	4.29
40	3.93	3.86	4.00	4.03	3.95	4.10	4.13	4.06	4.21	4.25	4.17	4.32	4.37	4.29	4.44
41	4.10	4.03	4.18	4.20	4.13	4.28	4.31	4.23	4.38	4.42	4.34	4.49	4.54	4.46	4.61
42	4.30	4.23	4.37	4.40	4.32	4.47	4.50	4.43	4.58	4.61	4.54	4.69	4.73	4.66	4.80
43	4.52	4.45	4.60	4.62	4.55	4.69	4.72	4.65	4.80	4.83	4.76	4.91	4.95	4.88	5.02
44	4.77	4.70	4.85	4.87	4.80	4.94	4.97	4.90	5.05	5.08	5.01	5.15	5.20	5.12	5.27
45	5.05	4.98	5.13	5.15	5.08	5.22	5.25	5.18	5.32	5.36	5.28	5.43	5.47	5.40	5.55
46	5.37	5.29	5.44	5.46	5.39	5.53	5.56	5.49	5.63	5.67	5.59	5.74	5.78	5.71	5.86
47	5.71	5.64	5.78	5.80	5.73	5.88	5.90	5.83	5.98	6.01	5.94	6.08	6.13	6.05	6.20
48	6.09	6.02	6.16	6.18	6.11	6.26	6.28	6.21	6.36	6.39	6.32	6.46	6.51	6.43	6.58
49	6.51	6.44	6.58	6.60	6.53	6.68	6.70	6.63	6.78	6.81	6.74	6.88	6.92	6.85	7.00
50	6.97	6.90	7.05	7.07	6.99	7.14	7.17	7.09	7.24	7.27	7.20	7.35	7.39	7.31	7.46
51	7.48	7.41	7.55	7.57	7.50	7.65	7.67	7.60	7.75	7.78	7.71	7.86	7.90	7.82	7.97
52	8.03	7.96	8.11	8.13	8.06	8.20	8.23	8.16	8.31	8.34	8.27	8.41	8.46	8.38	8.53
53	8.64	8.57	8.72	8.74	8.67	8.82	8.84	8.77	8.92	8.95	8.88	9.03	9.07	8.99	9.14

54	9.31	9.23	9.38	9.41	9.33	9.48	9.51	9.44	9.59	9.62	9.55	9.70	9.74	9.66	9.81
55	10.03	9.95	10.10	10.13	10.06	10.21	10.24	10.17	10.32	10.36	10.28	10.43	10.47	10.40	10.55
56	10.82	10.74	10.89	10.92	10.85	11.00	11.04	10.96	11.11	11.15	11.08	11.23	11.28	11.20	11.35
57	11.67	11.59	11.75	11.79	11.71	11.87	11.90	11.82	11.98	12.03	11.95	12.10	12.15	12.07	12.23
58	12.60	12.52	12.69	12.72	12.64	12.81	12.85	12.77	12.93	12.97	12.89	13.06	13.11	13.02	13.19
59	13.61	13.53	13.70	13.74	13.66	13.83	13.87	13.79	13.96	14.01	13.92	14.09	14.14	14.06	14.23
60	14.71	14.62	14.80	14.85	14.76	14.94	14.99	14.90	15.08	15.13	15.04	15.22	15.27	15.18	15.36
61	15.90	15.81	15.99	16.05	15.95	16.14	16.19	16.10	16.29	16.35	16.25	16.44	16.50	16.40	16.59
62	17.19	17.09	17.29	17.35	17.25	17.45	17.51	17.41	17.61	17.67	17.57	17.77	17.83	17.73	17.93
63	18.59	18.48	18.69	18.76	18.65	18.86	18.93	18.82	19.03	19.10	19.00	19.21	19.28	19.17	19.38
64	20.10	19.98	20.21	20.28	20.17	20.40	20.47	20.36	20.58	20.66	20.54	20.77	20.84	20.73	20.96
65	21.74	21.61	21.86	21.94	21.82	22.06	22.14	22.02	22.26	22.34	22.22	22.46	22.54	22.42	22.67
66	23.51	23.38	23.64	23.73	23.60	23.86	23.95	23.82	24.08	24.17	24.04	24.30	24.39	24.26	24.52
67	25.43	25.28	25.57	25.66	25.52	25.81	25.90	25.76	26.05	26.14	26.00	26.28	26.38	26.24	26.52
68	27.50	27.35	27.66	27.76	27.61	27.92	28.02	27.87	28.18	28.28	28.13	28.44	28.54	28.39	28.70
69	29.74	29.58	29.91	30.03	29.86	30.20	30.31	30.14	30.48	30.60	30.43	30.76	30.88	30.71	31.05
70	32.17	31.99	32.36	32.48	32.30	32.66	32.79	32.61	32.97	33.10	32.92	33.28	33.41	33.23	33.59
71	34.79	34.60	34.99	35.13	34.94	35.33	35.47	35.27	35.67	35.81	35.61	36.01	36.15	35.95	36.34
72	37.63	37.41	37.85	38.00	37.78	38.22	38.37	38.15	38.59	38.74	38.52	38.96	39.11	38.89	39.32
73	40.69	40.46	40.93	41.10	40.86	41.33	41.50	41.26	41.74	41.90	41.67	42.14	42.30	42.07	42.54
74	44.00	43.74	44.26	44.44	44.18	44.70	44.88	44.62	45.14	45.32	45.06	45.58	45.76	45.50	46.02
75	47.57	47.29	47.85	48.05	47.77	48.34	48.54	48.25	48.82	49.02	48.73	49.30	49.49	49.21	49.78
76	51.43	51.12	51.73	51.95	51.64	52.26	52.48	52.17	52.79	53.00	52.69	53.31	53.52	53.22	53.83
77	55.59	55.25	55.92	56.16	55.82	56.50	56.73	56.40	57.07	57.30	56.97	57.64	57.88	57.54	58.21
78	60.08	59.71	60.44	60.70	60.34	61.07	61.33	60.96	61.69	61.95	61.58	62.31	62.57	62.20	62.94
79	64.92	64.52	65.31	65.60	65.20	66.00	66.28	65.88	66.67	66.95	66.55	67.35	67.63	67.23	68.03
80	70.14	69.70	70.57	70.87	70.44	71.31	71.61	71.18	72.05	72.35	71.92	72.78	73.08	72.65	73.52
81	75.76	75.29	76.23	76.56	76.09	77.03	77.36	76.89	77.83	78.17	77.69	78.64	78.97	78.49	79.44
82	81.81	81.30	82.33	82.69	82.18	83.20	83.56	83.05	84.07	84.43	83.92	84.94	85.30	84.79	85.81
83	88.33	87.78	88.89	89.28	88.72	89.83	90.23	89.67	90.78	91.17	90.62	91.73	92.11	91.56	92.67
84	95.34	94.74	95.94	96.37	95.77	96.97	97.40	96.80	98.00	98.42	97.82	99.03	99.45	98.85	100.05
85	103.03	102.38	103.69	104.15	103.50	104.80	105.26	104.61	105.92	106.38	105.72	107.03	107.49	106.83	108.14
86	111.47	110.76	112.18	112.69	111.98	113.40	113.89	113.19	114.60	115.10	114.39	115.81	116.31	115.60	117.02
87	120.75	119.98	121.52	122.06	121.29	122.83	123.38	122.61	124.15	124.69	123.92	125.46	126.00	125.23	126.77
88	130.95	130.11	131.79	132.38	131.54	133.22	133.81	132.98	134.65	135.24	134.40	136.08	136.66	135.82	137.50
89	142.16	141.25	143.07	143.72	142.81	144.63	145.28	144.37	146.19	146.83	145.92	147.74	148.38	147.47	149.29
90	154.53	153.54	155.52	156.23	155.24	157.23	157.93	156.94	158.93	159.62	158.63	160.62	161.31	160.32	162.30
91	168.13	167.05	169.21	169.99	168.91	171.07	171.84	170.76	172.92	173.68	172.60	174.76	175.51	174.43	176.59
92	183.15	181.97	184.33	185.17	183.99	186.35	187.19	186.01	188.37	189.20	188.03	190.38	191.21	190.03	192.39
93	199.76	198.47	201.04	201.95	200.67	203.24	204.15	202.87	205.44	206.35	205.07	207.63	208.54	207.25	209.82
94	218.07	216.67	219.47	220.48	219.08	221.88	222.86	221.46	224.26	225.25	223.85	226.65	227.64	226.24	229.04
95	238.31	236.78	239.84	240.92	239.39	242.45	243.54	242.01	245.07	246.14	244.61	247.67	248.74	247.21	250.27
96	260.75	259.08	262.42	263.59	261.92	265.26	266.44	264.77	268.11	269.29	267.62	270.96	272.12	270.45	273.79
97	285.46	283.64	287.27	288.54	286.72	290.35	291.62	289.81	293.44	294.71	292.90	296.52	297.80	295.99	299.62
98	312.93	310.97	314.89	316.25	314.28	318.21	319.58	317.62	321.54	322.92	320.96	324.88	326.26	324.29	328.22
99	343.15	341.02	345.29	346.73	344.59	348.86	350.33	348.20	352.46	353.95	351.82	356.09	357.58	355.45	359.71
100	376.43	374.14	378.72	380.25	377.96	382.54	384.10	381.81	386.39	387.98	385.69	390.27	391.88	389.59	394.17

Edad	2021	INF	SUP	2022	INF	SUP	2023	INF	SUP	2024	INF	SUP	2025	INF	SUP
0	14.48	14.35	14.60	14.27	14.15	14.40	14.07	13.95	14.19	13.87	13.75	13.99	13.67	13.55	13.80
1	1.09	1.09	1.10	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09
2	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56
3	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39
4	0.34	0.34	0.34	0.34	0.33	0.34	0.33	0.33	0.34	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
5	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.28	0.29
6	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27
7	0.27	0.27	0.27	0.26	0.26	0.27	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
8	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.26	0.26	0.27	0.26	0.26	0.26
9	0.28	0.28	0.29	0.29	0.28	0.29	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.27	0.28
10	0.30	0.30	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.30	0.31	0.30	0.30	0.30
11	0.33	0.33	0.34	0.34	0.34	0.34	0.35	0.34	0.35	0.35	0.34	0.35	0.34	0.34	0.35
12	0.39	0.39	0.40	0.39	0.38	0.39	0.39	0.39	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
13	0.49	0.48	0.49	0.47	0.46	0.47	0.46	0.45	0.47	0.47	0.46	0.47	0.47	0.47	0.48
14	0.62	0.61	0.62	0.59	0.58	0.60	0.57	0.56	0.57	0.56	0.55	0.56	0.56	0.56	0.57
15	0.77	0.77	0.78	0.75	0.74	0.76	0.71	0.71	0.72	0.69	0.68	0.70	0.67	0.66	0.68
16	0.93	0.92	0.94	0.94	0.93	0.95	0.91	0.90	0.92	0.86	0.85	0.87	0.83	0.82	0.84
17	1.15	1.14	1.15	1.12	1.11	1.13	1.12	1.11	1.13	1.09	1.08	1.09	1.03	1.03	1.04
18	1.34	1.33	1.34	1.35	1.35	1.36	1.32	1.31	1.33	1.32	1.32	1.33	1.28	1.28	1.29
19	1.58	1.57	1.59	1.56	1.55	1.56	1.57	1.56	1.58	1.54	1.53	1.54	1.54	1.53	1.55
20	1.86	1.84	1.87	1.81	1.80	1.83	1.78	1.77	1.79	1.80	1.79	1.81	1.76	1.75	1.77
21	2.09	2.07	2.11	2.10	2.08	2.11	2.05	2.03	2.07	2.01	1.99	2.03	2.03	2.02	2.05
22	2.25	2.23	2.27	2.33	2.31	2.35	2.34	2.31	2.36	2.28	2.26	2.31	2.24	2.22	2.27
23	2.40	2.38	2.43	2.48	2.45	2.51	2.57	2.54	2.60	2.58	2.55	2.60	2.52	2.49	2.54
24	2.57	2.54	2.61	2.62	2.59	2.65	2.70	2.67	2.74	2.80	2.77	2.83	2.81	2.78	2.84
25	2.72	2.69	2.75	2.78	2.75	2.82	2.84	2.80	2.87	2.92	2.89	2.95	3.03	3.00	3.06
26	2.85	2.82	2.87	2.93	2.90	2.95	2.99	2.97	3.02	3.05	3.02	3.07	3.14	3.11	3.17
27	3.01	2.99	3.04	3.04	3.01	3.06	3.12	3.10	3.15	3.19	3.17	3.22	3.25	3.22	3.28
28	3.16	3.13	3.19	3.20	3.17	3.23	3.22	3.19	3.25	3.31	3.28	3.34	3.39	3.36	3.41
29	3.30	3.27	3.33	3.34	3.31	3.37	3.38	3.35	3.41	3.40	3.37	3.44	3.50	3.47	3.53
30	3.44	3.40	3.48	3.48	3.44	3.51	3.52	3.48	3.55	3.56	3.52	3.60	3.59	3.55	3.62
31	3.71	3.66	3.75	3.62	3.57	3.67	3.66	3.61	3.70	3.70	3.65	3.74	3.74	3.70	3.79
32	3.69	3.64	3.74	3.89	3.84	3.95	3.80	3.75	3.86	3.84	3.79	3.90	3.88	3.83	3.94
33	3.76	3.70	3.82	3.88	3.82	3.94	4.09	4.03	4.15	4.00	3.93	4.06	4.03	3.97	4.10
34	3.83	3.77	3.90	3.96	3.89	4.02	4.08	4.01	4.15	4.30	4.23	4.37	4.20	4.13	4.27
35	3.91	3.84	3.99	4.04	3.96	4.11	4.16	4.09	4.24	4.29	4.22	4.36	4.52	4.45	4.60
36	4.00	3.93	4.07	4.13	4.06	4.20	4.26	4.19	4.33	4.39	4.32	4.46	4.52	4.45	4.59
37	4.10	4.03	4.17	4.23	4.16	4.30	4.36	4.29	4.43	4.50	4.42	4.57	4.63	4.56	4.71
38	4.21	4.14	4.29	4.34	4.27	4.42	4.48	4.40	4.55	4.62	4.54	4.69	4.76	4.68	4.83
39	4.34	4.27	4.42	4.47	4.40	4.55	4.61	4.54	4.68	4.75	4.68	4.83	4.90	4.82	4.97
40	4.49	4.42	4.57	4.62	4.55	4.70	4.76	4.69	4.83	4.90	4.83	4.98	5.05	4.98	5.13
41	4.66	4.59	4.73	4.79	4.72	4.87	4.93	4.86	5.01	5.08	5.00	5.15	5.23	5.15	5.30
42	4.85	4.78	4.93	4.99	4.91	5.06	5.12	5.05	5.20	5.27	5.20	5.34	5.42	5.35	5.50
43	5.07	5.00	5.15	5.20	5.13	5.28	5.34	5.27	5.42	5.49	5.42	5.56	5.64	5.57	5.72
44	5.32	5.25	5.39	5.45	5.38	5.52	5.59	5.52	5.66	5.74	5.66	5.81	5.89	5.82	5.97
45	5.60	5.52	5.67	5.73	5.65	5.80	5.87	5.79	5.94	6.01	5.94	6.09	6.17	6.10	6.24
46	5.90	5.83	5.98	6.04	5.96	6.11	6.17	6.10	6.25	6.32	6.25	6.39	6.48	6.40	6.55
47	6.25	6.17	6.32	6.38	6.30	6.45	6.52	6.44	6.59	6.66	6.59	6.74	6.82	6.75	6.90
48	6.63	6.55	6.70	6.76	6.68	6.83	6.90	6.82	6.97	7.04	6.97	7.12	7.20	7.13	7.27
49	7.05	6.97	7.12	7.18	7.10	7.25	7.32	7.24	7.39	7.46	7.39	7.54	7.62	7.55	7.70
50	7.51	7.44	7.58	7.64	7.57	7.71	7.78	7.71	7.85	7.93	7.85	8.00	8.09	8.01	8.16
51	8.02	7.95	8.09	8.15	8.08	8.22	8.29	8.22	8.36	8.44	8.36	8.51	8.60	8.52	8.67
52	8.58	8.50	8.65	8.71	8.64	8.78	8.85	8.78	8.92	9.00	8.93	9.07	9.16	9.09	9.23
53	9.19	9.12	9.27	9.32	9.25	9.40	9.47	9.39	9.54	9.62	9.54	9.69	9.78	9.70	9.85
54	9.86	9.79	9.94	10.00	9.92	10.07	10.14	10.06	10.21	10.29	10.22	10.37	10.45	10.38	10.53
55	10.60	10.52	10.68	10.73	10.66	10.81	10.88	10.80	10.95	11.03	10.95	11.11	11.20	11.12	11.27
56	11.40	11.33	11.48	11.54	11.46	11.62	11.69	11.61	11.76	11.84	11.76	11.92	12.01	11.93	12.08

57	12.28	12.20	12.36	12.42	12.34	12.50	12.57	12.49	12.65	12.73	12.65	12.80	12.89	12.81	12.97
58	13.24	13.16	13.32	13.38	13.30	13.47	13.53	13.45	13.62	13.69	13.61	13.78	13.86	13.78	13.94
59	14.28	14.20	14.37	14.43	14.35	14.52	14.59	14.50	14.67	14.75	14.66	14.83	14.92	14.84	15.01
60	15.42	15.33	15.51	15.57	15.48	15.66	15.73	15.64	15.82	15.90	15.81	15.99	16.08	15.99	16.17
61	16.66	16.56	16.75	16.82	16.72	16.91	16.98	16.89	17.08	17.16	17.06	17.25	17.34	17.24	17.43
62	18.00	17.90	18.10	18.17	18.07	18.27	18.34	18.24	18.44	18.52	18.42	18.62	18.71	18.61	18.81
63	19.45	19.35	19.56	19.64	19.53	19.74	19.82	19.71	19.93	20.01	19.90	20.12	20.21	20.10	20.31
64	21.04	20.92	21.15	21.23	21.12	21.34	21.42	21.31	21.54	21.63	21.51	21.74	21.83	21.72	21.95
65	22.75	22.63	22.87	22.96	22.83	23.08	23.17	23.04	23.29	23.38	23.26	23.50	23.60	23.48	23.72
66	24.61	24.48	24.74	24.83	24.70	24.96	25.06	24.93	25.19	25.29	25.15	25.42	25.52	25.39	25.65
67	26.62	26.48	26.76	26.86	26.72	27.00	27.10	26.96	27.25	27.35	27.21	27.49	27.60	27.46	27.74
68	28.80	28.65	28.96	29.06	28.91	29.22	29.33	29.17	29.48	29.59	29.44	29.74	29.86	29.70	30.01
69	31.16	30.99	31.33	31.44	31.28	31.61	31.73	31.56	31.90	32.02	31.85	32.18	32.30	32.14	32.47
70	33.72	33.54	33.90	34.03	33.84	34.21	34.34	34.15	34.52	34.65	34.46	34.83	34.96	34.78	35.14
71	36.48	36.28	36.68	36.82	36.62	37.02	37.16	36.96	37.35	37.49	37.29	37.69	37.83	37.63	38.03
72	39.47	39.26	39.69	39.84	39.62	40.06	40.21	39.99	40.42	40.57	40.36	40.79	40.94	40.72	41.16
73	42.70	42.47	42.94	43.10	42.87	43.34	43.50	43.27	43.74	43.90	43.67	44.14	44.30	44.07	44.54
74	46.20	45.94	46.46	46.64	46.38	46.89	47.07	46.81	47.33	47.51	47.25	47.76	47.94	47.68	48.20
75	49.97	49.69	50.26	50.45	50.17	50.73	50.93	50.64	51.21	51.40	51.12	51.68	51.87	51.59	52.16
76	54.05	53.74	54.35	54.57	54.26	54.88	55.09	54.78	55.39	55.60	55.30	55.91	56.12	55.81	56.43
77	58.44	58.11	58.78	59.01	58.67	59.35	59.58	59.24	59.91	60.14	59.80	60.48	60.70	60.37	61.04
78	63.19	62.82	63.56	63.81	63.44	64.17	64.42	64.06	64.79	65.04	64.67	65.40	65.65	65.28	66.02
79	68.30	67.91	68.70	68.98	68.58	69.38	69.65	69.25	70.04	70.32	69.92	70.71	70.98	70.59	71.38
80	73.82	73.38	74.25	74.55	74.12	74.98	75.28	74.85	75.71	76.01	75.57	76.44	76.73	76.30	77.16
81	79.76	79.29	80.23	80.55	80.08	81.02	81.35	80.88	81.82	82.14	81.67	82.61	82.93	82.46	83.40
82	86.16	85.65	86.68	87.03	86.52	87.54	87.89	87.38	88.40	88.75	88.24	89.26	89.61	89.09	90.12
83	93.05	92.50	93.61	93.99	93.44	94.55	94.92	94.37	95.48	95.85	95.30	96.41	96.79	96.23	97.34
84	100.46	99.86	101.07	101.48	100.88	102.08	102.50	101.90	103.10	103.51	102.91	104.11	104.51	103.91	105.12
85	108.60	107.94	109.25	109.70	109.04	110.35	110.80	110.15	111.45	111.90	111.25	112.55	112.99	112.34	113.64
86	117.51	116.80	118.22	118.71	118.00	119.42	119.90	119.19	120.61	121.09	120.38	121.80	122.28	121.57	122.99
87	127.30	126.53	128.08	128.61	127.84	129.38	129.91	129.14	130.68	131.20	130.43	131.97	132.49	131.72	133.26
88	138.08	137.24	138.92	139.49	138.66	140.33	140.91	140.07	141.75	142.31	141.48	143.15	143.71	142.87	144.55
89	149.92	149.01	150.83	151.46	150.55	152.37	152.99	152.08	153.90	154.52	153.61	155.43	156.04	155.13	156.95
90	162.99	162.00	163.99	164.67	163.67	165.66	166.34	165.35	167.33	168.00	167.01	168.99	169.66	168.67	170.66
91	177.34	176.26	178.42	179.17	178.09	180.25	180.98	179.90	182.06	182.79	181.71	183.87	184.59	183.51	185.67
92	193.20	192.02	194.38	195.19	194.01	196.37	197.17	195.99	198.35	199.14	197.96	200.32	201.11	199.93	202.29
93	210.71	209.43	212.00	212.88	211.59	214.16	215.04	213.75	216.32	217.19	215.90	218.47	219.32	218.04	220.61
94	230.01	228.61	231.41	232.38	230.98	233.78	234.73	233.33	236.12	237.06	235.67	238.46	239.40	238.00	240.80
95	251.34	249.81	252.87	253.92	252.39	255.45	256.49	254.96	258.02	259.04	257.52	260.57	261.59	260.06	263.11
96	274.96	273.29	276.63	277.79	276.12	279.45	280.60	278.93	282.27	283.39	281.72	285.06	286.17	284.50	287.84
97	300.87	299.06	302.69	303.94	302.13	305.76	307.01	305.19	308.82	310.05	308.23	311.86	313.07	311.26	314.89
98	329.60	327.64	331.57	332.92	330.95	334.88	336.23	334.27	338.20	339.54	337.57	341.50	342.82	340.85	344.78
99	361.21	359.07	363.34	364.84	362.70	366.97	368.43	366.30	370.56	372.03	369.89	374.16	375.61	373.48	377.74
100	395.78	393.49	398.08	399.68	397.39	401.97	403.58	401.29	405.87	407.44	405.15	409.73	411.30	409.01	413.59

Fuente: Elaboración propia

## Anexo 2. Pronósticos Mortalidad Femenina con IC al 95% en México, 2016-2025

Los datos mostrados en la tabla están representados por cada mil habitantes

Edad	2016	INF	SUP	2017	INF	SUP	2018	INF	SUP	2019	INF	SUP	2020	INF	SUP
0	12.48	11.89	13.07	12.14	11.55	12.73	11.79	11.20	12.38	11.46	10.87	12.05	11.13	10.54	11.72
1	0.72	0.67	0.78	0.69	0.64	0.75	0.66	0.61	0.71	0.63	0.58	0.68	0.6	0.55	0.65
2	0.46	0.43	0.49	0.44	0.41	0.47	0.42	0.40	0.45	0.41	0.38	0.44	0.39	0.36	0.42
3	0.36	0.34	0.38	0.35	0.33	0.37	0.34	0.32	0.36	0.32	0.30	0.35	0.31	0.29	0.33
4	0.32	0.30	0.33	0.31	0.30	0.33	0.31	0.29	0.32	0.3	0.28	0.31	0.29	0.27	0.30
5	0.28	0.27	0.29	0.28	0.27	0.29	0.28	0.26	0.29	0.27	0.26	0.28	0.26	0.25	0.27
6	0.25	0.24	0.26	0.26	0.25	0.26	0.26	0.25	0.27	0.26	0.25	0.26	0.25	0.24	0.26
7	0.24	0.23	0.24	0.24	0.23	0.24	0.24	0.24	0.25	0.24	0.24	0.25	0.24	0.24	0.25
8	0.23	0.23	0.24	0.23	0.23	0.24	0.24	0.23	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.25
9	0.23	0.23	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.25	0.25	0.24	0.25
10	0.25	0.25	0.26	0.25	0.25	0.26	0.26	0.25	0.26	0.26	0.25	0.26	0.26	0.26	0.27
11	0.27	0.26	0.28	0.28	0.27	0.29	0.28	0.27	0.29	0.29	0.28	0.30	0.29	0.28	0.30
12	0.31	0.30	0.32	0.31	0.30	0.33	0.33	0.31	0.34	0.33	0.32	0.34	0.34	0.33	0.35
13	0.35	0.33	0.37	0.37	0.35	0.39	0.37	0.35	0.39	0.39	0.37	0.41	0.39	0.37	0.41
14	0.41	0.39	0.44	0.42	0.39	0.44	0.44	0.41	0.46	0.44	0.42	0.46	0.46	0.44	0.49
15	0.48	0.45	0.51	0.49	0.46	0.52	0.49	0.47	0.52	0.52	0.49	0.55	0.52	0.50	0.55
16	0.54	0.51	0.57	0.56	0.52	0.59	0.57	0.53	0.60	0.58	0.54	0.61	0.61	0.57	0.64
17	0.58	0.53	0.62	0.62	0.58	0.66	0.64	0.60	0.68	0.65	0.61	0.69	0.66	0.62	0.71
18	0.61	0.56	0.66	0.65	0.60	0.70	0.69	0.64	0.74	0.72	0.67	0.77	0.73	0.68	0.78
19	0.63	0.57	0.69	0.67	0.61	0.73	0.71	0.65	0.77	0.76	0.70	0.82	0.79	0.73	0.85
20	0.64	0.57	0.71	0.68	0.62	0.75	0.73	0.66	0.79	0.77	0.71	0.84	0.83	0.76	0.89
21	0.64	0.57	0.72	0.68	0.61	0.76	0.73	0.66	0.80	0.77	0.70	0.85	0.82	0.75	0.90
22	0.66	0.58	0.74	0.68	0.60	0.76	0.72	0.65	0.80	0.77	0.69	0.85	0.82	0.74	0.90
23	0.67	0.58	0.75	0.7	0.61	0.78	0.72	0.63	0.80	0.76	0.68	0.84	0.81	0.73	0.89
24	0.68	0.60	0.77	0.7	0.62	0.78	0.73	0.65	0.81	0.75	0.67	0.84	0.8	0.72	0.88
25	0.69	0.61	0.77	0.72	0.64	0.80	0.74	0.66	0.82	0.77	0.69	0.85	0.79	0.71	0.87
26	0.74	0.66	0.81	0.73	0.66	0.81	0.76	0.69	0.83	0.78	0.71	0.85	0.81	0.74	0.89
27	0.78	0.71	0.84	0.79	0.72	0.85	0.78	0.72	0.85	0.81	0.75	0.88	0.83	0.77	0.90
28	0.8	0.74	0.86	0.83	0.78	0.89	0.84	0.79	0.90	0.84	0.79	0.90	0.87	0.82	0.93
29	0.83	0.78	0.88	0.86	0.81	0.92	0.9	0.85	0.95	0.91	0.86	0.96	0.91	0.86	0.96
30	0.87	0.82	0.92	0.9	0.85	0.95	0.94	0.89	0.99	0.98	0.93	1.03	0.99	0.94	1.04
31	0.91	0.85	0.97	0.95	0.89	1.00	0.98	0.93	1.04	1.03	0.97	1.08	1.07	1.01	1.12
32	0.96	0.90	1.02	1	0.94	1.06	1.04	0.98	1.10	1.08	1.02	1.15	1.13	1.06	1.19
33	1.02	0.95	1.09	1.06	0.99	1.13	1.1	1.03	1.18	1.15	1.07	1.22	1.19	1.12	1.27
34	1.09	1.00	1.17	1.13	1.04	1.22	1.17	1.09	1.26	1.22	1.13	1.31	1.27	1.18	1.36
35	1.16	1.06	1.26	1.21	1.11	1.31	1.25	1.15	1.35	1.3	1.20	1.41	1.36	1.26	1.46
36	1.24	1.13	1.36	1.29	1.18	1.41	1.34	1.23	1.46	1.4	1.28	1.51	1.45	1.34	1.56
37	1.33	1.21	1.45	1.39	1.27	1.51	1.44	1.32	1.56	1.5	1.38	1.62	1.56	1.44	1.68
38	1.44	1.31	1.56	1.49	1.36	1.62	1.55	1.42	1.68	1.61	1.48	1.74	1.67	1.54	1.80
39	1.55	1.41	1.68	1.61	1.47	1.74	1.66	1.53	1.80	1.73	1.59	1.87	1.8	1.66	1.93
40	1.67	1.53	1.81	1.73	1.59	1.87	1.79	1.65	1.94	1.86	1.72	2.01	1.93	1.79	2.08
41	1.81	1.65	1.96	1.87	1.72	2.02	1.93	1.78	2.08	2	1.85	2.16	2.08	1.93	2.23
42	1.96	1.80	2.12	2.02	1.86	2.18	2.09	1.93	2.25	2.16	2.00	2.32	2.24	2.08	2.40
43	2.12	1.96	2.29	2.19	2.02	2.36	2.26	2.09	2.42	2.33	2.17	2.50	2.41	2.25	2.58
44	2.31	2.14	2.48	2.38	2.20	2.55	2.45	2.27	2.62	2.52	2.35	2.70	2.61	2.43	2.78
45	2.51	2.34	2.69	2.58	2.40	2.76	2.65	2.48	2.83	2.73	2.55	2.91	2.82	2.64	2.99
46	2.74	2.55	2.92	2.81	2.63	2.99	2.88	2.70	3.06	2.96	2.78	3.15	3.05	2.87	3.23
47	2.99	2.80	3.17	3.06	2.87	3.25	3.14	2.95	3.32	3.22	3.03	3.40	3.31	3.12	3.49
48	3.26	3.07	3.45	3.34	3.15	3.53	3.41	3.22	3.60	3.5	3.31	3.69	3.59	3.40	3.78
49	3.56	3.36	3.75	3.64	3.45	3.84	3.72	3.53	3.92	3.81	3.62	4.01	3.91	3.71	4.10
50	3.89	3.69	4.09	3.98	3.78	4.18	4.06	3.86	4.26	4.16	3.96	4.36	4.25	4.05	4.45
51	4.25	4.05	4.46	4.35	4.14	4.55	4.44	4.23	4.64	4.54	4.33	4.74	4.64	4.43	4.84

52	4.65	4.44	4.86	4.75	4.54	4.97	4.85	4.64	5.06	4.95	4.74	5.16	5.06	4.84	5.27
53	5.09	4.87	5.31	5.2	4.98	5.42	5.3	5.08	5.52	5.41	5.19	5.63	5.52	5.30	5.74
54	5.57	5.34	5.80	5.69	5.45	5.92	5.8	5.56	6.03	5.91	5.68	6.15	6.03	5.80	6.26
55	6.09	5.85	6.34	6.22	5.98	6.47	6.34	6.10	6.59	6.47	6.22	6.71	6.59	6.35	6.84
56	6.67	6.41	6.93	6.81	6.55	7.07	6.94	6.68	7.20	7.08	6.82	7.34	7.21	6.95	7.47
57	7.3	7.03	7.58	7.46	7.18	7.74	7.6	7.32	7.87	7.74	7.46	8.02	7.89	7.61	8.16
58	8	7.70	8.30	8.16	7.87	8.46	8.31	8.02	8.61	8.47	8.18	8.77	8.63	8.33	8.93
59	8.76	8.44	9.08	8.94	8.62	9.26	9.1	8.78	9.42	9.27	8.95	9.59	9.44	9.12	9.76
60	9.59	9.24	9.93	9.79	9.44	10.13	9.96	9.62	10.31	10.15	9.81	10.50	10.33	9.99	10.68
61	10.5	10.13	10.87	10.72	10.34	11.09	10.91	10.54	11.28	11.11	10.74	11.49	11.31	10.94	11.68
62	11.5	11.10	11.90	11.73	11.33	12.14	11.95	11.54	12.35	12.17	11.76	12.57	12.38	11.98	12.78
63	12.59	12.15	13.03	12.85	12.41	13.29	13.08	12.64	13.52	13.32	12.88	13.76	13.55	13.12	13.99
64	13.79	13.31	14.26	14.07	13.60	14.55	14.32	13.85	14.80	14.59	14.11	15.06	14.84	14.36	15.31
65	15.1	14.58	15.62	15.41	14.89	15.93	15.68	15.17	16.20	15.97	15.46	16.49	16.25	15.73	16.76
66	16.54	15.97	17.10	16.88	16.31	17.44	17.18	16.61	17.74	17.49	16.93	18.05	17.79	17.23	18.35
67	18.11	17.50	18.72	18.48	17.87	19.09	18.81	18.20	19.42	19.15	18.54	19.77	19.48	18.87	20.09
68	19.83	19.16	20.49	20.24	19.57	20.90	20.59	19.93	21.26	20.97	20.31	21.64	21.33	20.66	22.00
69	21.71	20.98	22.44	22.16	21.43	22.88	22.55	21.83	23.28	22.96	22.24	23.69	23.35	22.63	24.08
70	23.77	22.98	24.56	24.26	23.47	25.05	24.69	23.90	25.48	25.14	24.35	25.94	25.57	24.78	26.36
71	26.02	25.16	26.89	26.56	25.70	27.43	27.04	26.17	27.90	27.53	26.67	28.40	28	27.13	28.87
72	28.49	27.54	29.43	29.08	28.13	30.03	29.6	28.66	30.55	30.14	29.20	31.09	30.65	29.70	31.60
73	31.18	30.15	32.22	31.83	30.80	32.86	32.4	31.37	33.44	33	31.96	34.03	33.55	32.52	34.59
74	34.13	33.00	35.26	34.84	33.71	35.97	35.47	34.34	36.60	36.12	34.99	37.25	36.73	35.60	37.86
75	37.35	36.12	38.59	38.13	36.90	39.37	38.82	37.59	40.06	39.53	38.30	40.77	40.2	38.97	41.44
76	40.87	39.52	42.22	41.73	40.38	43.08	42.48	41.13	43.83	43.26	41.91	44.61	43.99	42.64	45.34
77	44.72	43.24	46.19	45.66	44.18	47.13	46.48	45.01	47.96	47.34	45.86	48.81	48.14	46.67	49.62
78	48.92	47.31	50.53	49.95	48.34	51.56	50.85	49.24	52.47	51.79	50.18	53.40	52.67	51.05	54.28
79	53.51	51.74	55.27	54.64	52.87	56.40	55.63	53.87	57.39	56.65	54.89	58.42	57.61	55.85	59.38
80	58.51	56.58	60.43	59.75	57.82	61.68	60.84	58.91	62.76	61.96	60.03	63.89	63.01	61.08	64.93
81	63.97	61.86	66.07	65.33	63.22	67.43	66.52	64.42	68.63	67.75	65.65	69.86	68.9	66.79	71.00
82	69.92	67.63	72.22	71.41	69.12	73.71	72.72	70.42	75.02	74.07	71.77	76.36	75.32	73.02	77.62
83	76.41	73.90	78.92	78.05	75.54	80.56	79.48	76.97	81.99	80.95	78.44	83.46	82.32	79.81	84.83
84	83.47	80.73	86.21	85.26	82.53	88.00	86.83	84.09	89.57	88.44	85.70	91.18	89.93	87.19	92.67
85	91.26	88.27	94.24	93.21	90.22	96.20	94.93	91.94	97.91	96.69	93.70	99.68	98.32	95.33	101.31
86	99.83	96.57	103.09	101.98	98.72	105.24	103.85	100.59	107.11	105.78	102.52	109.04	107.57	104.31	110.83
87	109.28	105.72	112.84	111.64	108.08	115.20	113.69	110.13	117.25	115.79	112.23	119.35	117.75	114.19	121.31
88	119.71	115.83	123.59	122.29	118.41	126.17	124.54	120.66	128.42	126.85	122.96	130.73	128.97	125.09	132.85
89	131.23	126.99	135.46	134.06	129.82	138.30	136.52	132.28	140.76	139.05	134.81	143.28	141.38	137.14	145.62
90	143.95	139.32	148.57	147.05	142.43	151.68	149.75	145.12	154.37	152.51	147.89	157.13	155.06	150.43	159.68
91	158	152.95	163.05	161.41	156.36	166.45	164.36	159.31	169.40	167.39	162.34	172.43	170.16	165.12	175.21
92	173.57	168.06	179.07	177.3	171.80	182.81	180.54	175.03	186.04	183.85	178.34	189.35	186.89	181.38	192.40
93	190.8	184.79	196.81	194.91	188.89	200.92	198.45	192.44	204.46	202.07	196.06	208.08	205.39	199.38	211.40
94	209.88	203.32	216.44	214.39	207.83	220.95	218.27	211.71	224.83	222.24	215.68	228.80	225.87	219.31	232.44
95	231.06	223.89	238.23	236.01	228.84	243.18	240.27	233.10	247.44	244.62	237.45	251.79	248.6	241.43	255.76
96	254.57	246.73	262.41	260.01	252.17	267.86	264.69	256.84	272.53	269.46	261.62	277.31	273.82	265.98	281.66
97	280.69	272.11	289.28	286.71	278.12	295.29	291.85	283.26	300.43	297.08	288.50	305.67	301.86	293.28	310.45
98	309.63	300.23	319.04	316.24	306.83	325.65	321.92	312.51	331.32	327.68	318.27	337.08	332.91	323.50	342.31
99	341.78	331.48	352.09	349.06	338.76	359.37	355.29	344.98	365.59	361.64	351.34	371.95	367.39	357.08	377.70
100	377.72	366.33	389.11	385.8	374.41	397.19	392.69	381.30	404.08	399.71	388.32	411.09	406.09	394.70	417.47

Edad	2021	INF	SUP	2022	INF	SUP	2023	INF	SUP	2024	INF	SUP	2025	INF	SUP
0	10.82	10.22	11.41	10.51	9.92	11.10	10.21	9.62	10.81	9.92	9.33	10.52	9.64	9.05	10.23
1	0.57	0.52	0.62	0.55	0.49	0.60	0.52	0.47	0.57	0.5	0.44	0.55	0.47	0.42	0.53
2	0.38	0.35	0.41	0.36	0.33	0.39	0.35	0.32	0.38	0.33	0.30	0.36	0.32	0.29	0.35
3	0.3	0.28	0.32	0.29	0.27	0.31	0.28	0.26	0.30	0.27	0.25	0.29	0.26	0.24	0.28
4	0.28	0.26	0.29	0.27	0.25	0.28	0.26	0.24	0.28	0.25	0.24	0.27	0.24	0.23	0.26
5	0.26	0.24	0.27	0.25	0.24	0.26	0.24	0.23	0.25	0.24	0.22	0.25	0.23	0.22	0.24
6	0.24	0.24	0.25	0.24	0.23	0.25	0.23	0.22	0.24	0.23	0.22	0.23	0.22	0.21	0.23
7	0.24	0.23	0.24	0.23	0.23	0.24	0.23	0.22	0.23	0.22	0.22	0.23	0.22	0.21	0.22
8	0.24	0.24	0.25	0.24	0.23	0.24	0.23	0.23	0.24	0.23	0.23	0.23	0.22	0.22	0.23
9	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.24	0.25	0.24	0.24	0.25	0.24	0.24	0.24
10	0.27	0.26	0.28	0.27	0.27	0.28	0.27	0.27	0.28	0.27	0.27	0.28	0.27	0.26	0.27
11	0.3	0.29	0.31	0.31	0.30	0.32	0.31	0.30	0.32	0.31	0.30	0.32	0.31	0.30	0.32
12	0.34	0.33	0.36	0.35	0.34	0.36	0.36	0.35	0.38	0.37	0.36	0.38	0.37	0.36	0.39
13	0.4	0.39	0.42	0.41	0.39	0.43	0.42	0.40	0.44	0.44	0.42	0.45	0.45	0.43	0.46
14	0.47	0.45	0.50	0.49	0.46	0.51	0.49	0.47	0.52	0.51	0.48	0.53	0.53	0.50	0.55
15	0.55	0.53	0.58	0.56	0.53	0.59	0.58	0.55	0.61	0.59	0.56	0.62	0.61	0.58	0.64
16	0.62	0.58	0.65	0.65	0.62	0.69	0.66	0.63	0.70	0.69	0.65	0.72	0.7	0.67	0.74
17	0.7	0.65	0.74	0.71	0.67	0.75	0.75	0.71	0.79	0.77	0.72	0.81	0.79	0.75	0.84
18	0.75	0.70	0.80	0.78	0.73	0.83	0.8	0.75	0.85	0.85	0.80	0.90	0.86	0.81	0.91
19	0.81	0.75	0.87	0.82	0.76	0.88	0.86	0.81	0.92	0.88	0.82	0.94	0.93	0.88	0.99
20	0.86	0.79	0.92	0.87	0.81	0.94	0.89	0.82	0.96	0.94	0.87	1.00	0.95	0.89	1.02
21	0.88	0.80	0.95	0.91	0.84	0.99	0.93	0.85	1.00	0.95	0.87	1.02	0.99	0.92	1.07
22	0.87	0.79	0.95	0.93	0.85	1.01	0.96	0.88	1.04	0.98	0.90	1.06	1	0.92	1.08
23	0.86	0.78	0.94	0.91	0.83	1.00	0.97	0.89	1.06	1.01	0.93	1.09	1.03	0.95	1.11
24	0.85	0.77	0.94	0.9	0.82	0.99	0.96	0.87	1.04	1.02	0.94	1.11	1.06	0.97	1.14
25	0.84	0.76	0.92	0.89	0.81	0.97	0.95	0.87	1.02	1	0.92	1.08	1.07	0.99	1.15
26	0.84	0.77	0.91	0.89	0.82	0.96	0.95	0.88	1.02	1	0.93	1.07	1.06	0.99	1.13
27	0.87	0.81	0.93	0.9	0.83	0.96	0.95	0.89	1.01	1.01	0.95	1.08	1.07	1.01	1.13
28	0.9	0.84	0.95	0.94	0.88	0.99	0.96	0.91	1.02	1.02	0.96	1.08	1.09	1.03	1.14
29	0.94	0.89	1.00	0.97	0.92	1.02	1.01	0.96	1.06	1.04	0.99	1.09	1.1	1.05	1.16
30	0.99	0.94	1.04	1.03	0.98	1.08	1.05	1.00	1.10	1.1	1.05	1.15	1.13	1.08	1.18
31	1.08	1.03	1.14	1.08	1.02	1.14	1.12	1.07	1.18	1.15	1.10	1.21	1.2	1.15	1.26
32	1.17	1.11	1.24	1.19	1.13	1.25	1.19	1.12	1.25	1.24	1.17	1.30	1.27	1.20	1.33
33	1.24	1.17	1.32	1.3	1.22	1.37	1.31	1.24	1.39	1.31	1.24	1.39	1.37	1.29	1.44
34	1.32	1.24	1.41	1.38	1.29	1.46	1.44	1.35	1.52	1.46	1.37	1.55	1.46	1.37	1.54
35	1.41	1.31	1.51	1.47	1.37	1.57	1.53	1.43	1.64	1.6	1.50	1.70	1.62	1.52	1.73
36	1.51	1.40	1.62	1.57	1.46	1.69	1.64	1.53	1.75	1.71	1.60	1.82	1.79	1.67	1.90
37	1.62	1.50	1.74	1.69	1.57	1.81	1.76	1.64	1.88	1.83	1.71	1.95	1.91	1.79	2.03
38	1.74	1.61	1.87	1.81	1.68	1.94	1.89	1.76	2.02	1.97	1.84	2.10	2.05	1.92	2.18
39	1.87	1.73	2.01	1.95	1.81	2.08	2.03	1.89	2.16	2.11	1.97	2.25	2.2	2.06	2.34
40	2.01	1.87	2.15	2.09	1.95	2.24	2.18	2.03	2.32	2.27	2.12	2.41	2.36	2.22	2.51
41	2.16	2.01	2.31	2.25	2.09	2.40	2.34	2.19	2.49	2.43	2.28	2.59	2.54	2.38	2.69
42	2.32	2.17	2.48	2.42	2.26	2.58	2.51	2.35	2.67	2.61	2.45	2.77	2.72	2.56	2.88
43	2.5	2.34	2.67	2.6	2.43	2.76	2.7	2.53	2.87	2.81	2.64	2.97	2.92	2.75	3.09
44	2.7	2.52	2.87	2.8	2.62	2.97	2.9	2.73	3.07	3.02	2.84	3.19	3.14	2.96	3.31
45	2.91	2.73	3.09	3.01	2.83	3.19	3.12	2.94	3.30	3.24	3.06	3.42	3.37	3.19	3.54
46	3.14	2.96	3.33	3.25	3.07	3.43	3.36	3.18	3.54	3.48	3.30	3.66	3.61	3.43	3.80
47	3.4	3.22	3.59	3.51	3.32	3.69	3.62	3.44	3.81	3.75	3.56	3.93	3.88	3.70	4.07
48	3.69	3.50	3.88	3.8	3.61	3.99	3.91	3.72	4.10	4.04	3.85	4.23	4.18	3.99	4.37
49	4.01	3.81	4.20	4.11	3.92	4.31	4.23	4.04	4.43	4.36	4.16	4.55	4.5	4.31	4.69
50	4.36	4.16	4.55	4.46	4.27	4.66	4.58	4.38	4.78	4.71	4.51	4.91	4.85	4.65	5.05
51	4.74	4.54	4.95	4.85	4.65	5.06	4.98	4.77	5.18	5.11	4.90	5.31	5.25	5.04	5.45
52	5.17	4.95	5.38	5.28	5.07	5.50	5.41	5.19	5.62	5.54	5.33	5.75	5.68	5.47	5.90
53	5.64	5.41	5.86	5.76	5.53	5.98	5.88	5.66	6.11	6.02	5.80	6.24	6.17	5.94	6.39
54	6.15	5.92	6.39	6.28	6.05	6.51	6.41	6.18	6.64	6.55	6.32	6.78	6.7	6.46	6.93

55	6.72	6.47	6.97	6.85	6.61	7.10	6.99	6.74	7.24	7.13	6.89	7.38	7.28	7.04	7.53
56	7.35	7.09	7.61	7.48	7.22	7.75	7.63	7.37	7.89	7.78	7.52	8.04	7.94	7.67	8.20
57	8.03	7.75	8.31	8.18	7.90	8.46	8.33	8.05	8.61	8.49	8.21	8.77	8.65	8.37	8.93
58	8.79	8.49	9.08	8.94	8.65	9.24	9.1	8.81	9.40	9.27	8.97	9.57	9.44	9.14	9.74
59	9.61	9.29	9.93	9.78	9.46	10.10	9.95	9.63	10.27	10.13	9.81	10.45	10.3	9.98	10.62
60	10.52	10.17	10.86	10.7	10.35	11.04	10.88	10.54	11.23	11.07	10.72	11.41	11.25	10.91	11.60
61	11.51	11.14	11.88	11.7	11.33	12.08	11.9	11.53	12.27	12.1	11.73	12.47	12.3	11.92	12.67
62	12.6	12.19	13.00	12.81	12.40	13.21	13.02	12.62	13.42	13.23	12.83	13.63	13.44	13.04	13.85
63	13.79	13.35	14.22	14.02	13.58	14.45	14.25	13.81	14.68	14.47	14.03	14.91	14.7	14.26	15.14
64	15.09	14.62	15.57	15.34	14.87	15.82	15.59	15.11	16.06	15.83	15.36	16.31	16.07	15.60	16.55
65	16.52	16.01	17.04	16.79	16.28	17.31	17.06	16.54	17.58	17.32	16.81	17.84	17.59	17.07	18.10
66	18.09	17.53	18.65	18.38	17.82	18.94	18.67	18.11	19.23	18.96	18.40	19.52	19.24	18.68	19.80
67	19.81	19.20	20.42	20.13	19.51	20.74	20.44	19.83	21.05	20.75	20.14	21.36	21.05	20.44	21.66
68	21.69	21.02	22.35	22.03	21.37	22.70	22.37	21.71	23.04	22.71	22.04	23.37	23.03	22.37	23.70
69	23.74	23.02	24.47	24.12	23.39	24.85	24.49	23.76	25.22	24.85	24.12	25.58	25.21	24.48	25.93
70	26	25.20	26.79	26.41	25.61	27.20	26.81	26.02	27.60	27.2	26.41	27.99	27.58	26.79	28.37
71	28.46	27.60	29.33	28.91	28.04	29.78	29.35	28.48	30.22	29.77	28.91	30.64	30.19	29.32	31.06
72	31.16	30.21	32.10	31.65	30.70	32.59	32.12	31.18	33.07	32.59	31.64	33.53	33.03	32.09	33.98
73	34.11	33.07	35.14	34.64	33.61	35.67	35.16	34.13	36.19	35.66	34.63	36.70	36.15	35.12	37.18
74	37.34	36.21	38.47	37.92	36.79	39.05	38.48	37.36	39.61	39.03	37.90	40.16	39.56	38.43	40.69
75	40.87	39.63	42.10	41.5	40.26	42.73	42.11	40.88	43.35	42.71	41.48	43.94	43.28	42.05	44.52
76	44.72	43.37	46.07	45.41	44.06	46.76	46.08	44.73	47.43	46.73	45.38	48.08	47.35	46.00	48.70
77	48.93	47.46	50.41	49.69	48.21	51.16	50.42	48.95	51.90	51.13	49.65	52.60	51.8	50.33	53.28
78	53.53	51.92	55.15	54.36	52.75	55.97	55.16	53.55	56.77	55.93	54.31	57.54	56.66	55.05	58.27
79	58.56	56.80	60.32	59.46	57.70	61.22	60.33	58.57	62.10	61.17	59.41	62.93	61.97	60.21	63.73
80	64.04	62.12	65.97	65.03	63.10	66.95	65.98	64.05	67.91	66.89	64.96	68.81	67.76	65.83	69.68
81	70.03	67.92	72.13	71.1	69.00	73.21	72.14	70.04	74.24	73.13	71.02	75.23	74.07	71.97	76.18
82	76.55	74.26	78.85	77.72	75.42	80.02	78.86	76.56	81.16	79.93	77.63	82.23	80.96	78.66	83.26
83	83.67	81.16	86.18	84.95	82.44	87.46	86.18	83.67	88.69	87.35	84.84	89.86	88.46	85.95	90.97
84	91.41	88.67	94.14	92.8	90.06	95.54	94.14	91.40	96.88	95.41	92.67	98.14	96.62	93.88	99.36
85	99.93	96.94	102.91	101.44	98.46	104.43	102.91	99.92	105.89	104.28	101.30	107.27	105.59	102.60	108.58
86	109.32	106.06	112.58	110.97	107.71	114.23	112.56	109.30	115.82	114.06	110.80	117.33	115.48	112.22	118.75
87	119.66	116.10	123.22	121.46	117.90	125.02	123.19	119.63	126.75	124.82	121.26	128.38	126.36	122.80	129.92
88	131.06	127.18	134.95	133.03	129.14	136.91	134.9	131.02	138.79	136.67	132.79	140.55	138.34	134.46	142.22
89	143.65	139.41	147.89	145.79	141.55	150.03	147.84	143.60	152.07	149.75	145.52	153.99	151.56	147.32	155.80
90	157.54	152.92	162.17	159.87	155.24	164.49	162.09	157.47	166.72	164.17	159.55	168.80	166.13	161.50	170.75
91	172.88	167.83	177.93	175.42	170.37	180.46	177.82	172.78	182.87	180.09	175.04	185.13	182.2	177.16	187.25
92	189.85	184.34	195.35	192.61	187.11	198.12	195.24	189.73	200.74	197.68	192.17	203.18	199.97	194.46	205.48
93	208.63	202.62	214.64	211.64	205.63	217.65	214.49	208.48	220.50	217.15	211.14	223.16	219.61	213.60	225.62
94	229.4	222.84	235.96	232.69	226.12	239.25	235.79	229.22	242.35	238.67	232.10	245.23	241.34	234.78	247.90
95	252.45	245.28	259.62	256.02	248.85	263.19	259.41	252.24	266.58	262.52	255.36	269.69	265.42	258.25	272.59
96	278.04	270.19	285.88	281.94	274.10	289.78	285.62	277.77	293.46	289.01	281.17	296.86	292.14	284.30	299.98
97	306.48	297.89	315.07	310.74	302.16	319.33	314.75	306.17	323.34	318.44	309.85	327.02	321.84	313.25	330.42
98	337.97	328.56	347.37	342.63	333.22	352.03	347	337.59	356.41	351.01	341.60	360.42	354.69	345.28	364.09
99	372.92	362.61	383.23	378.02	367.71	388.33	382.79	372.48	393.10	387.15	376.84	397.46	391.14	380.83	401.45
100	412.2	400.82	423.59	417.81	406.43	429.20	423.08	411.69	434.46	427.87	416.48	439.26	432.24	420.85	443.63

Fuente: Elaboración propia