

Índice

Presentación.....	7
Modelo de transición logística aplicado a la población de México.....	11
<i>Gerardo Núñez Medina</i>	
Proyecciones de la población argentina a lo largo del siglo XXI	37
<i>Leandro M. González</i>	
Descenso y transición epidemiológica de la mortalidad infantil en América Latina y el Caribe	59
<i>Alejandro Aguirre, Fortino Vela Peón</i>	
Distribución territorial y determinantes de la fecundidad adolescente en Colombia	79
<i>Víctor Hugo Álvarez Castaño</i>	
Los entornos y el envejecimiento en Iberoamérica: análisis a partir de las condiciones de la vivienda	109
<i>Sagrario Garay Villegas, Verónica Montes de Oca Zavala, Mirna Hebrero Martínez</i>	
Del rejuvenecimiento al envejecimiento de la población ¿o viceversa?: Chile en el contexto de América Latina, 1950-2050	127
<i>Rodrigo Rivero-Cantillano, Jeroen Spijker</i>	
Subutilización de las capacidades de los profesionales mexicanos de las ciencias y la tecnología y su vínculo con la migración a los Estados Unidos	157
<i>Fernando Lozano Ascencio, Telésforo Ramírez-García</i>	
La actitud positiva y el bienestar: un análisis del ciclo vital de la esperanza de vida sana y la esperanza de vida feliz a nivel individual en el Brasil y México.....	187
<i>Gilvan R. Guedes, Cristina G. Rodrigues, Luisa P. Terra</i>	
El yo y el otro: alteridad próxima en la declaración del color y la raza en preguntas abiertas	219
<i>Kaizô Iwakami Beltrão, Moema De Poli Teixeira</i>	

Presentación

Llega a los lectores la edición número 101 de *Notas de Población*, que contiene nueve artículos sobre temas de gran actualidad y relevancia futura en el campo de la investigación sociodemográfica en América Latina y el Caribe. La variada gama de asuntos que se abordan en la presente edición empieza con la aplicación del modelo de transición logística y las proyecciones de población, pasando por el análisis de la transición epidemiológica de la mortalidad infantil en América Latina y los determinantes de la fecundidad adolescente y su relación con la distribución territorial. Continúa con el envejecimiento, su relación con las condiciones de la vivienda, la migración calificada y el análisis del ciclo vital de las personas en relación con una esperanza de vida sana. Concluye con la percepción de la alteridad en la declaración del color y la raza en la encuesta de empleo del Brasil.

Coincidiendo con el reciente lanzamiento de la edición 2015 de *World Population Prospects* por parte de la División de Población del Departamento de Asuntos Económicos y Sociales (DAES) de las Naciones Unidas, el presente número de *Notas* se inicia con dos artículos sobre proyecciones de la población. El primero de ellos, “Modelo de transición logística aplicado a la población de México”, de Gerardo Núñez Medina, contiene una propuesta metodológica orientada a acotar el límite máximo que puede alcanzar una población en las proyecciones de largo plazo. En el segundo artículo, “Proyecciones de la población argentina a lo largo del siglo XXI”, Leandro González presenta un esbozo de los posibles escenarios que podría seguir la población argentina a lo largo del siglo XXI, de acuerdo a la dinámica demográfica reciente. Sobre la base de la población censada en el año 2010, propone cuatro escenarios demográficos a partir de diversos niveles futuros de fecundidad.

También en el plano metodológico, y combinando el análisis de un problema prioritario, el siguiente trabajo, “Descenso y transición epidemiológica de la mortalidad infantil en América Latina y el Caribe”, de Alejandro Aguirre y Fortino Vela-Peón, se propone dar respuesta a algunos interrogantes sobre la medición adecuada de la mortalidad infantil en América Latina, la confiabilidad de las estadísticas vitales para estimar la tasa de mortalidad infantil y la utilidad de las estadísticas vitales para el conocimiento del perfil epidemiológico de dicha mortalidad. Mediante la comparación de las estimaciones obtenidas por el método de Brass con las que se obtienen directamente de las estadísticas vitales, los autores analizan la pertinencia de la utilización de esta técnica indirecta para contar con estimaciones confiables de la mortalidad infantil en la región.

Los artículos que siguen vinculan los temas de fecundidad adolescente y envejecimiento, respectivamente, con el de territorio. En “Distribución territorial y determinantes de la fecundidad adolescente en Colombia”, Víctor Hugo Álvarez Castaño explora el uso inédito del registro de nacimientos como fuente primaria para describir el grado y el patrón de

la fecundidad adolescente en niveles geográficos y grupos de edad más desagregados, complementado con una revisión analítica de los determinantes próximos que influyen en posibles diferencias regionales. Por su parte, en el artículo “Los entornos y el envejecimiento en Iberoamérica: análisis a partir de las condiciones de la vivienda”, de Sagrario Garay Villegas, Verónica Montes de Oca Zavala y Mirna Hebrero Martínez, las autoras llaman la atención sobre la relevancia que tienen las condiciones de la vivienda, el acceso a los servicios públicos y la configuración física y social de los entornos en los cuales reside la población adulta mayor a la hora de analizar los desafíos que plantea el envejecimiento demográfico. En este marco, el artículo propone la exploración de las características de la vivienda y el acceso a servicios públicos de la población adulta mayor en países seleccionados de la región iberoamericana.

A continuación, Rodrigo Rivero-Cantillano y Jeroen Spijker, en el artículo “Del rejuvenecimiento al envejecimiento de la población ¿o viceversa?: Chile en el contexto de América Latina, 1950-2050”, proponen un nuevo enfoque para analizar el envejecimiento demográfico —que denominan “la perspectiva prospectiva”— y lo aplican al caso de la población de Chile. Dicho enfoque considera las mejoras en la esperanza de vida para calcular la edad umbral de la vejez como alternativa al uso de una edad fija, como es los 60 o 65 años.

El tema de la migración internacional se aborda en el artículo de Fernando Lozano Ascencio y Telésforo Ramírez-García, “Subutilización de las capacidades de los profesionales mexicanos de las ciencias y la tecnología y su vínculo con la migración a los Estados Unidos”. Sobre la base de la información proporcionada por la Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo (ENOE) de México, y de la American Community Survey (ACS) de los Estados Unidos, los autores analizan el problema de la subutilización de las capacidades de la población de profesionales mexicanos, tanto en su país de origen como en aquel país de destino, con énfasis en aquellos formados en las áreas de ciencias, tecnología, ingenierías y matemáticas (CTIM).

Ya en el campo del envejecimiento, el siguiente artículo aborda una temática menos usual en la investigación, desarrollando una metodología novedosa que introduce la dimensión actitudinal en relación con los conceptos de “esperanza de vida sana” y “esperanza de vida feliz”. En efecto, el artículo de Gilvan Guedes, Cristina Rodrigues y Luisa Terra, “La actitud positiva y el bienestar: un análisis del ciclo vital de la esperanza de vida sana y la esperanza de vida feliz a nivel individual en el Brasil y México”, aporta un análisis comparado para las poblaciones de México y el Brasil sobre la relación entre una actitud positiva y el tiempo de vida restante saludable y feliz en el ciclo de vida individual.

Por último, y en el plano del diseño y afinación de encuestas para la captación de características sociodemográficas de los distintos grupos étnicos de la población, el artículo que cierra la presente edición de *Notas de Población* es “El yo y el otro: la alteridad próxima en la declaración del color y la raza en preguntas abiertas. El caso de la Encuesta Mensual de Empleo del Instituto Brasileño de Geografía y Estadística”, de Kaizô Iwakami Beltrão y Moema De Poli Teixeira. Reconociendo el hecho de que en las encuestas domiciliarias

una de las principales limitaciones radica en que un único informante responde por los demás residentes, los autores se proponen comparar, a través del Suplemento de Color y Origen de la Encuesta Mensual de Empleo del Instituto Brasileño de Geografía y Estadística (IBGE), las respuestas a las preguntas abiertas y cerradas sobre color y raza discriminando el informante.

Comité Editorial de *Notas de Población*

Modelo de transición logística aplicado a la población de México

Gerardo Núñez Medina¹

Recibido: 12/06/2015

Aceptado: 15/07/2015

Resumen

El método de proyección de población propuesto se origina en la necesidad de acotar el límite máximo que puede alcanzar una población en proyecciones a largo plazo. Para lograr dicho objetivo, se tiene en cuenta la información sobre el tamaño de la población total proyectada por el modelo de crecimiento logístico en la estimación de la estructura por edad y sexo, en cada paso de la proyección realizada mediante el método de cohorte-componente.

Además de analizar la evolución del crecimiento logístico que deberá seguir la población total, el modelo propuesto incorpora la tendencia establecida por la teoría de la transición demográfica en relación al descenso de las tasas de mortalidad y fecundidad. En particular, se modifica la dirección de la deriva empleada para la proyección de las tasas específicas de mortalidad y fecundidad establecidas en el modelo de Lee-Carter, de conformidad con la tendencia histórica y las proyecciones futuras dictadas por la teoría de la transición demográfica.

Palabras clave: proyección; cohorte-componente; transición; largo plazo.

¹ Doctor en Demografía por la Universidad Autónoma de Barcelona, Maestro en Ingeniería por la Universidad Nacional Autónoma de México, Maestro en Demografía por El Colegio de México, Director de Investigación y Evaluación del Consejo de Investigación y Evaluación de la Política Social del Estado de Chiapas. Correo electrónico: gerardo.nm1@gmail.com.

Abstract

The population projection method proposed is a response to the need to specify the maximum population limit in long-range projections. To this end, each stage of the cohort-component method projection uses age and sex structure estimates for the total population projected by the logistic growth model.

In addition to analysing the evolution of logistic growth for the total population, the model incorporates the negative trend in mortality and fertility rates described by demographic transition theory. In particular, the direction of the drift used to project specific mortality and fertility rates established in the Lee-Carter model are modified, in line with historical trends and future projections suggested by demographic transition theory.

Keywords: population projection; cohort component; transition; long-range.

Résumé

La méthode de projection de la population proposée répond à la nécessité de préciser la limite supérieure que peut atteindre une population dans les projections à long terme.

Pour ce faire, il faut tenir compte de l'information relative à la taille de la population totale projetée par le modèle de croissance logistique dans l'estimation de la structure par âge et par sexe, à chaque étape de la projection réalisée moyennant la méthode de composante cohorte.

Le modèle proposé ne se limite pas à analyser l'évolution de la croissance logistique que devra suivre la population totale; il incorpore également la tendance établie par la théorie de la transition démographique par rapport à la diminution des taux de mortalité et de fécondité. Il modifie en particulier le sens de la dérive utilisée pour la projection des taux spécifiques de mortalité et de fécondité tels qu'ils ont été établis dans le modèle de Lee-Carter, conformément à la tendance historique et aux projections futures résultant de la théorie de la transition démographique.

Mots clés: projection de la population; composante cohorte; transition; long terme.

Introducción

La proyección de población constituye un insumo básico en la planificación que realizan muchas áreas estratégicas de ámbitos tanto públicos como privados, e involucra sectores que van desde la economía, la educación y la salud, hasta el turismo y la recreación. En consecuencia, es fundamental contar con proyecciones de población que coadyuven al proceso de toma de decisiones.

En la actualidad, la mayor parte de las proyecciones de población se realizan mediante técnicas basadas en variaciones del método de proyección cohorte-componente (Partida, 2008). Dichas variaciones han surgido a partir de cambios en la forma de modelar y proyectar las tasas de mortalidad y fecundidad y, en menor medida, de migración. Las nuevas formas de proyección incorporan modelos estocásticos clásicos o bayesianos que proyectan el comportamiento de las tasas de crecimiento natural y social, que luego se integran a la ecuación de balance demográfico. Entre las más importantes se encuentran: las distintas variantes del método de Lee-Carter (Lee y Carter, 1992), el análisis de datos funcionales propuesto por Hyndman y Ullah (2007) y diferentes aproximaciones bayesianas (Hoeting y otros, 2012) que hacen uso del método de cohorte-componente.

Los métodos para la proyección de la población se dividen en dos grandes categorías: los que proyectan la población total y los que proyectan la estructura por edad y sexo. Ambos tipos funcionan de manera independiente, de modo que una proyección no aporta explícitamente información a la otra. Así, podría suponerse que proyectar la población total es un proceso completamente independiente del desarrollo de una proyección de la estructura por edad, como si la evolución de la estructura por edad no afectara en modo alguno el volumen de población total o viceversa.

En este sentido, se propone la elaboración de un método de proyección que reúna información sobre la evolución de la población total mediante el ajuste de un modelo de crecimiento logístico, al método de cohorte-componente, con lo que se busca obtener estimaciones más robustas y confiables en horizontes de proyección a largo plazo. Para que la tendencia de crecimiento logístico no se rompa, es necesario adecuar la evolución de las tasas de mortalidad, fecundidad y migración al comportamiento de la tasa de crecimiento poblacional.

La forma en que se proyecta la evolución de las tasas de cambio demográfico, en el caso del método de Lee-Carter, se basa en modelos autorregresivos integrados de media móvil (ARIMA) con deriva. Ese tipo de metodología incorpora información histórica de la evolución de las tasas, lo que permite que la deriva capture su ritmo del cambio (Ordorica, 2004). Sin embargo, debido a que no incorpora ningún límite (inferior o superior) sobre la evolución de la deriva, y por lo tanto, de las tasas, resulta poco útil intentar hacer predicciones a largo plazo.

A mediados del siglo XIX se postuló la teoría de la transición demográfica como un esquema general utilizado para explicar la evolución de las tasas de mortalidad y fecundidad,

a partir de la generalización de observaciones de diversas poblaciones europeas desde inicios del siglo XIX hasta mediados del siglo XX. Este conocimiento puede incorporarse a las metodologías de proyección de población, pues captura la pauta de las tasas de mortalidad y fecundidad durante largos períodos de tiempo, lo que permite proyectar su evolución a largo plazo con un modelo simple de extrapolación.

El término cohorte-componente de transición logística se origina en de la información proveniente de la teoría de la transición demográfica y la aplicación del modelo logístico para elaborar una variante del método de Lee-Carter. La variante de Lee-Carter surge al modificar la deriva, suponiendo que la evolución de las tasas seguirá la tendencia marcada por la teoría de la transición demográfica y que la tasa de crecimiento de la población total seguirá un comportamiento logístico.

Una de las grandes ventajas de la metodología propuesta estriba en que, cuando no se posee información sobre la evolución futura de las tasas de migración, estas pueden estimarse como la diferencia de la tasa de crecimiento de población total proyectada por la curva logística y las tasas de crecimiento natural proyectadas por el método de cohorte-componente, sobre la base de la teoría de la transición demográfica. Este método puede aplicarse siempre y cuando no se disponga de información sobre la evolución de flujos migratorios, o se sospeche de cambios importantes en el sentido o la estructura de la migración, que no puedan cuantificarse de algún modo con anticipación.

A. Antecedentes

El método de cohorte-componente para la proyección de población, uno de los más utilizados a nivel mundial, consiste en proyectar la población en intervalos de tamaño Δt . Para ello, se envejece la población de base en Δt - años y se agregan los nacimientos que se espera ocurran durante el lapso Δt . Luego deben restarse las defunciones previstas en el mismo período de tiempo en las edades pronosticadas. Por último, debe descontarse el saldo neto migratorio en el patrón de edad modelado en el período señalado. El proceso se repite hasta que Δt alcance el horizonte de proyección deseado.

Los insumos básicos son, desde luego, la población de base y las tasas específicas de mortalidad, fecundidad y migración proyectadas en cada Δt . Las tasas proyectadas pueden estimarse por medio de extrapolaciones de tendencias históricas, modelos estructurales o técnicas de simulación. En este artículo se pondrá a prueba una técnica de extrapolación que seguirá la tendencia marcada por la teoría de la transición demográfica.

Muchos autores han tomado el trabajo desarrollado por Lee y Carter (1992) como punto de referencia clave para elaborar diferentes modelos estadístico-demográficos que tienen por objeto proyectar la evolución de las tasas de mortalidad, fecundidad y migración.

El principio fundamental del método de Lee-Carter consiste precisamente en extrapolar las tendencias de las tasas de mortalidad, con la finalidad de proyectar su comportamiento durante largos períodos, tomando como base para su estimación datos provenientes de largas series históricas. Sin embargo, el método puede presentar desviaciones en la dirección de las tasas proyectadas, a largo plazo, debido a la presencia de observaciones aberrantes. Esta situación obliga, en algunos casos, a modificar la longitud del período de datos ajustados, con la finalidad de mejorar las estimaciones.

El modelo de Lee-Carter incorpora las tendencias estructurales observadas en los patrones de mortalidad a lo largo de casi un siglo, lo que confiere gran relevancia a los datos pasados, con efectos importantes en predicciones de corto plazo. Básicamente, extrapola la tendencia histórica de las tasas, ignorando los cambios en los patrones más recientes, situación que a largo plazo provoca incrementos desmesurados de la magnitud de las tasas.

La premisa básica del modelo es que existe una relación lineal entre el logaritmo de las tasas específicas de mortalidad $m_{x,t}$, el tiempo t y la edad x .

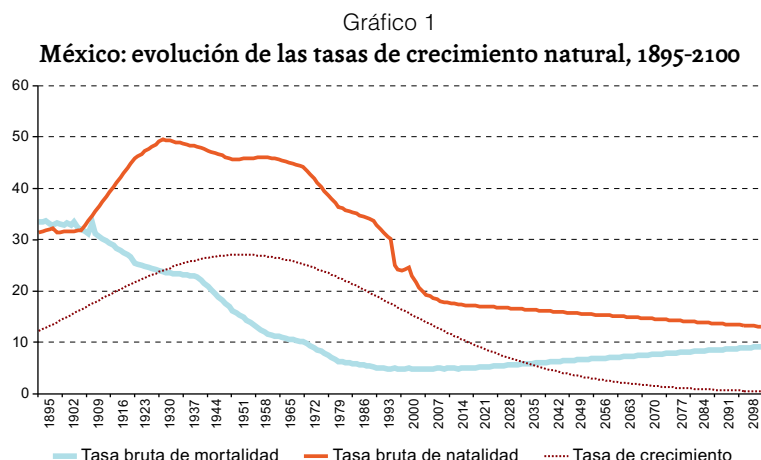
Del modelo se deriva un sistema de ecuaciones aplicable a las edades y el tiempo, cuya solución proporciona una serie de valores para los parámetros $\{a_x\}$, $\{b_x\}$ y $\{k_t\}$. En Li y Lee (2005), puede encontrarse una descripción exhaustiva sobre el planteamiento teórico y las distintas formas de solución del modelo de Lee-Carter.

La crítica principal al modelo de Lee-Carter es que los parámetros a_x y b_x dependen solo de la edad, mientras que la predicción de valores futuros de las distintas tasas se basa únicamente en el parámetro k_t , lo que equivale a admitir que no existe interacción alguna entre la edad y el tiempo.

Por su parte, la teoría de la transición demográfica marca la pauta general del comportamiento a largo plazo de las tasas de crecimiento natural. Hace referencia al cambio de un régimen de alta mortalidad y fecundidad en sociedades pretransicionales hacia uno de baja mortalidad y fecundidad en sociedades postransicionales (Chesnais, 1986), como se indica en el gráfico 1. El proceso de transición se ha dividido en tres etapas:

- i) durante la primera etapa, los niveles de mortalidad comienzan a descender y los niveles de fecundidad permanecen altos y estables;
- ii) en la segunda, se inicia el descenso de la fecundidad al tiempo que la mortalidad continúa reduciéndose, y
- iii) en la tercera, la mortalidad y la fecundidad se estabilizan al alcanzar niveles bajos y estables.

En general, el régimen pretransicional presenta bajas tasas de crecimiento demográfico debido a la combinación de tasas de fecundidad altas y estables y tasas de mortalidad altas, pero no estables. Entretanto, el régimen postransicional presenta también bajas tasas de crecimiento, originadas por la interacción de tasas de mortalidad bajas y estables y tasas de fecundidad bajas, pero no estables (MacInnes y Pérez-Díaz, 2008).



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

La teoría de la transición es, hasta la fecha, una de las teorías demográficas más completas. Por una parte, se basa en evidencia empírica sobre el comportamiento de variables demográficas mensurables y, aunque los países no transiten homogéneamente por los estadios establecidos, no cabe duda de que finalmente se observa el comportamiento pronosticado. Por otra parte, otras teorías demográficas la complementan y enriquecen al aportar explicaciones sobre los comportamientos observados.

La teoría de la transición demográfica proporcionó por primera vez la estructura necesaria para hacer generalizaciones empíricas sobre el comportamiento y las tendencias de las tasas de mortalidad y fecundidad, que se incorporarán al modelo de proyección de población propuesto mediante una variación del modelo de Lee-Carter.

En este punto, es necesario señalar que la teoría de la transición demográfica no hace ninguna referencia explícita sobre la forma de evolución de las tasas de migración, que se elaboró para poblaciones cerradas. Sin embargo, es de esperarse que durante la segunda etapa de transición, en la que se observarán los mayores incrementos de población, se presenten importantes flujos de emigración.

Una de las modificaciones más exitosas del método de Lee-Carter fue propuesta por Hyndman y Ullah (2007). Dicha variante combina ideas de suavización no paramétrica, regresión por componentes principales y análisis de datos funcionales para predecir el comportamiento de las tasas específicas de mortalidad, fecundidad y migración, de conformidad con los siguientes supuestos:

- i) la mortalidad es una función de la edad y, con arreglo a esa suposición, se estiman las tasas de mortalidad a partir de métodos de suavización no paramétricos;
- ii) se estima un conjunto de componentes del tipo (k_t, b_x) más extenso, y
- iii) se usan métodos generales de series de tiempo para predecir la evolución de las tasas.

Así, Hyndman y Ullah (Hyndman, Booth y Yasmeen, 2013) presentan un método capaz de suavizar las tasas demográficas por edad e integrar, a la vez, más de un componente principal al permitir el uso de modelos generales basados en series temporales más generales que las del modelo ARIMA. Si bien estas modificaciones permiten tener un mayor control sobre el pronóstico de las tasas, no logran acotar su descenso a largo plazo.

Las ventajas del método de Hyndman-Ullah consisten en que su aplicación asegura pronósticos para tasas masculinas y femeninas que no divergen en el tiempo. El método suaviza los datos históricos mediante el uso de la función *spline* y utiliza modelos de series de tiempo ARIMA y ARFIMA (basadas en el modelo autorregresivo de media móvil integrado fraccionalmente), ambos proporcionados por el paquete *Demography* desarrollado por Hyndman en lenguaje R (Hyndman, y Khandakar, 2008).

B. Datos

Se presenta una aplicación del método propuesto para la población de México, con un horizonte de proyección de 90 años. Los datos utilizados para la proyección de población total corresponden a los años censales dentro del período 1790-2010, la disponibilidad de información sobre la evolución de las tasas de mortalidad y fecundidad se reduce a algunos años del período comprendido entre 1895 y 2010, mientras que la información histórica referente a la estructura por edad y sexo está disponible únicamente respecto de los años censales del período 1990-2010. En todos los casos, la información se puede encontrar en la página de Internet del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

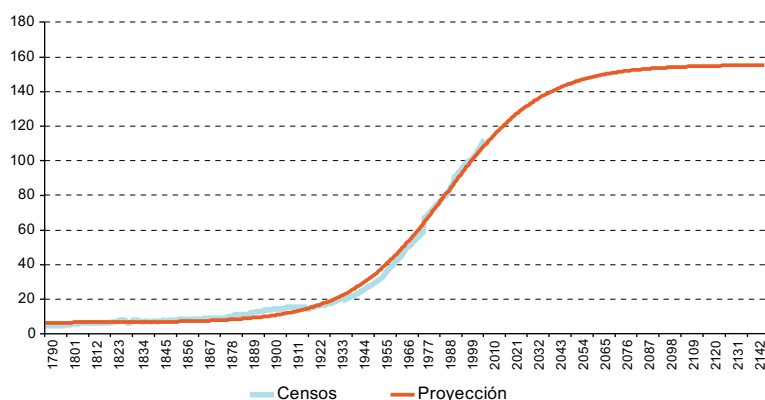
Por otra parte, la información referente a las estadísticas vitales, tales como nacimientos y defunciones, puede obtenerse de forma anual en relación con el período 1979-2012, respecto de las defunciones, y 1984-2012 respecto de los nacimientos. En ambos casos, la información se encuentra disponible en la página del Sistema Nacional de Información en Salud (SINAIS).

Las tasas específicas de mortalidad, fecundidad y migración se estimaron respecto del período 1990-2010, con las correcciones mínimas para utilizarlas en la proyección de población 2011-2100, y se presentan a continuación.

1. Población total

La proyección de la población total se ajustó a los datos reportados por los diferentes censos y conteos de población mexicanos desde 1790. La curva logística estimada permite obtener la población total del período comprendido entre los años 2011 y 2100, según se observa en el gráfico 2, donde se aprecia además una línea de tendencia con datos sin ajustar de la población total registrada en los censos de población de México desde 1790 hasta 2010.

Gráfico 2
México: ajuste de la curva logística a la población, 1790-2150
 (En millones de habitantes)



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

Es importante señalar que la población de México parece alcanzar su límite de crecimiento alrededor de los 155 millones de habitantes, lo que ocurriría poco después de 2090 (véase el gráfico 2). Sin embargo, se espera que la población crezca a tasas menores al 1% a partir de 2018, e inferiores al 0,1% a partir de 2080.

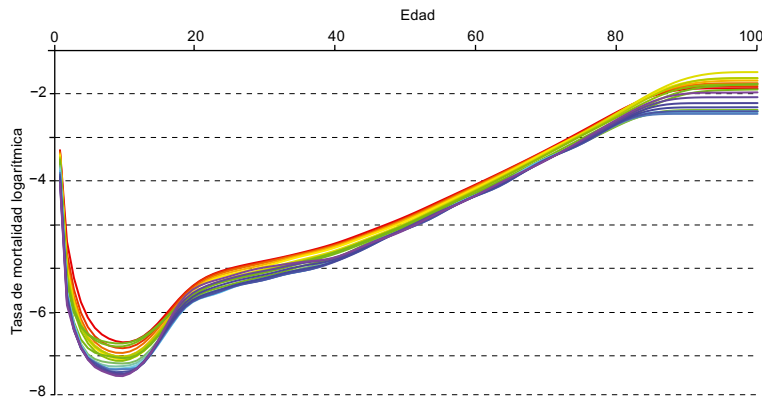
2. Tasas de mortalidad

La estimación de las tasas específicas de mortalidad (TEM) por año en el período de 1990 a 2010 comprende la corrección e interpolación de la estructura por edad y sexo de las poblaciones censales correspondientes a los años 1990, 1995, 2000, 2005 y 2010, así como la corrección por preferencia de dígitos de las defunciones recopiladas por la Oficina del Registro Civil en el período 1989-2011.

Las tasas estimadas presentan tendencias de mortalidad aceptables para todas las edades, a excepción de la mortalidad infantil, que muestra altos niveles de subregistro, por lo que fue necesario estimarla de forma independiente con un método indirecto.

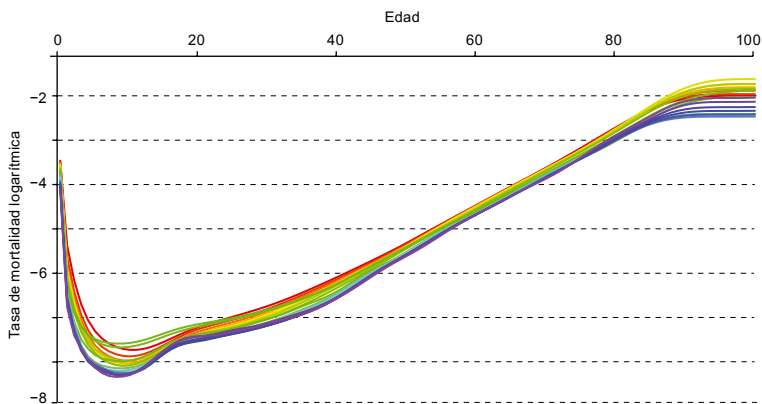
Puede decirse que los niveles de mortalidad en México comienzan a descender desde principios del siglo XX, cuando se inicia el proceso de transición demográfica. La reducción de los niveles de mortalidad tiene como consecuencia inmediata el incremento del tamaño de la población mediante dos elementos: un mayor número de nacimientos debido a la mayor sobrevivencia de mujeres en edad fértil, y una mayor esperanza de vida. Los gráficos 3 y 4 muestran el comportamiento de las TEM en relación con hombres y mujeres, respectivamente, de 1990 a 2010, con curvas que representan el descenso de los niveles de mortalidad en el tiempo.

Gráfico 3
México: tasas específicas de mortalidad masculina, 1990-2010



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

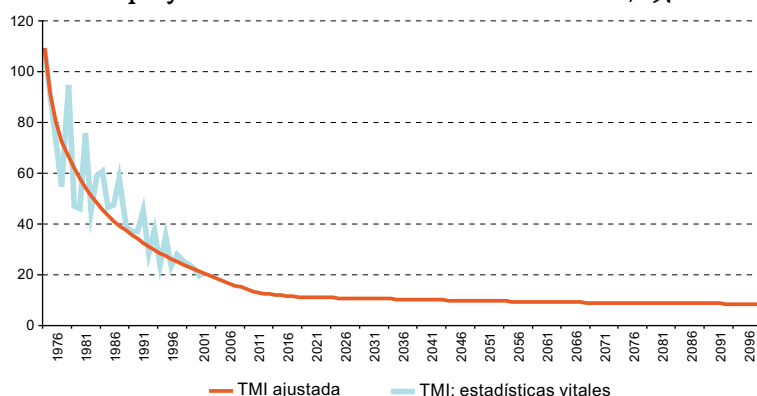
Gráfico 4
México: tasas específicas de mortalidad femenina, 1990-2010



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

A lo largo del período estudiado puede observarse, en el gráfico 5, una reducción paulatina de la tasa de mortalidad infantil, así como de la diferencia entre las tasas observadas y corregidas, situación que puede asociarse con mejoras en la calidad de la información captada por los censos y estadísticas vitales, lo que a la postre derivará en la convergencia entre las estimaciones directas, obtenidas de estadísticas vitales, y las estimaciones obtenidas mediante métodos indirectos (Aguirre y Vela, 2012).

Gráfico 5

México: proyección de las tasas de mortalidad infantil, 1976-2100

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

3. Estimación indirecta de las tasas de mortalidad infantil

La mortalidad infantil es un insumo básico para estimar y proyectar los niveles generales de mortalidad. Sin embargo, en países donde no se cuenta con sistemas confiables de registro de defunciones, existe un importante nivel de subenumeración de defunciones de menores de cinco años en general, y de un año en particular, lo que hace inviable el uso de métodos de estimación directos para el cálculo de las tasas de mortalidad infantil.

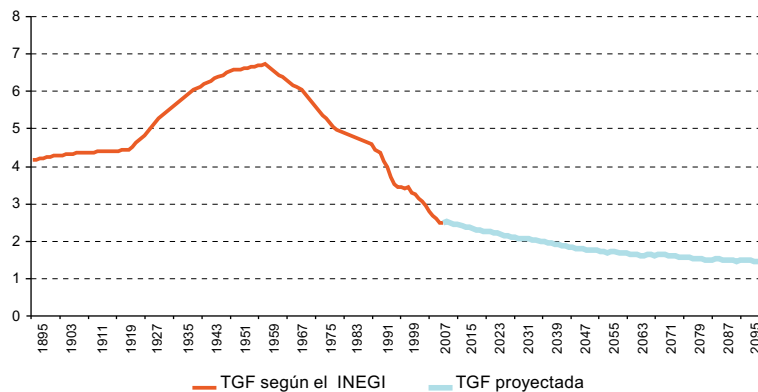
El método indirecto empleado para estimar los niveles de mortalidad infantil, a partir del número de hijos nacidos vivos e hijos fallecidos por edad de las madres, es una variante del método elaborado por W. Brass (Trussell, 1975). La variante elaborada por Griffith Feeney (Feeney, 1980) permite asignar una fecha a la incidencia de la mortalidad infantil, por lo que la aplicación sucesiva del método a diferentes censos arroja estimaciones repetidas en fechas muy cercanas. Esta característica permite interpolar una curva cuya tendencia modela y proyecta los niveles de mortalidad infantil. En el gráfico 5 se observa la aplicación del método propuesto por Feeney a los distintos censos y conteos de población mexicanos, así como la curva que interpola las estimaciones obtenidas sobre distintos momentos.

4. Tasas de fecundidad

Las tasas específicas de fecundidad de México correspondientes al período 1990-2010 se estimaron de manera directa (como el cociente de los nacimientos de mujeres entre a y $a+n$ años y el total de mujeres entre a y $a+n$, años de edad, donde a marca el inicio de la edad reproductiva y $a+n$ marca el final). Sin embargo, en algunos casos, el nivel de la curva debió corregirse debido al subregistro de nacimientos observado en distintos años.

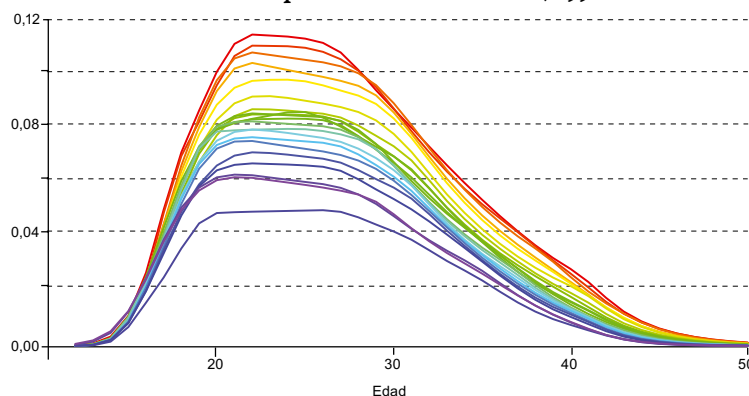
Para ajustar el nivel de las tasas específicas se utilizó la tendencia histórica proyectada de la tasa global de fecundidad (TGF). La información sobre los niveles históricos de la TGF se obtuvo de la página del INEGI, mientras que su evolución se proyectó empleando una función de tipo logarítmico. La evolución de la TGF puede observarse en el gráfico 6, mientras que las tasas específicas de fecundidad ajustadas y suavizadas, correspondientes a los años 1990 a 2010, se presentan en el gráfico 7, donde las curvas que corresponden a fecundidades más altas son cercanas a la década de 1990 y las curvas que se refieren a fecundidades más bajas son más próximas al año 2000.

Gráfico 6
México: evolución y proyección de la tasa global de fecundidad, 1895-2100



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

Gráfico 7
México: tasas específicas de fecundidad, 1990-2010



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

Con relación al comportamiento de la tasa global de fecundidad, es importante señalar que desde finales de la década de 1960 se inició en México el descenso de la fecundidad, lo

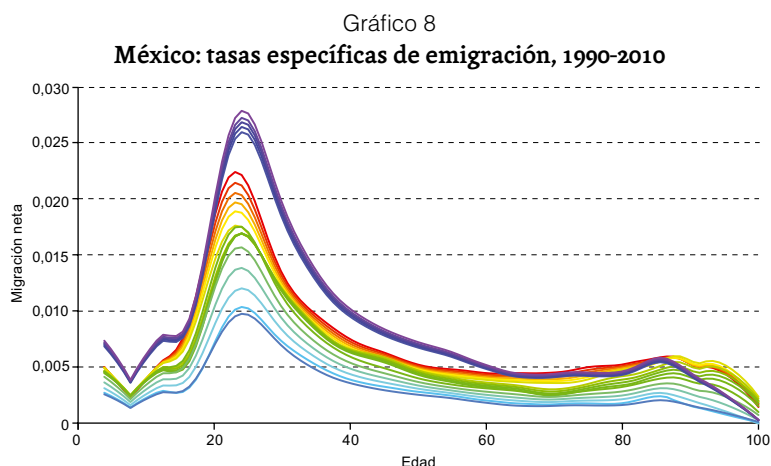
que marcó, a su vez, el inicio de la segunda etapa de la transición demográfica. El declive toma como punto de partida tasas globales de fecundidad superiores a los 6 hijos por mujer, en los años sesenta, y evoluciona hasta alcanzar niveles de 2,4 hijos al año en 2014.

5. Tasas de migración

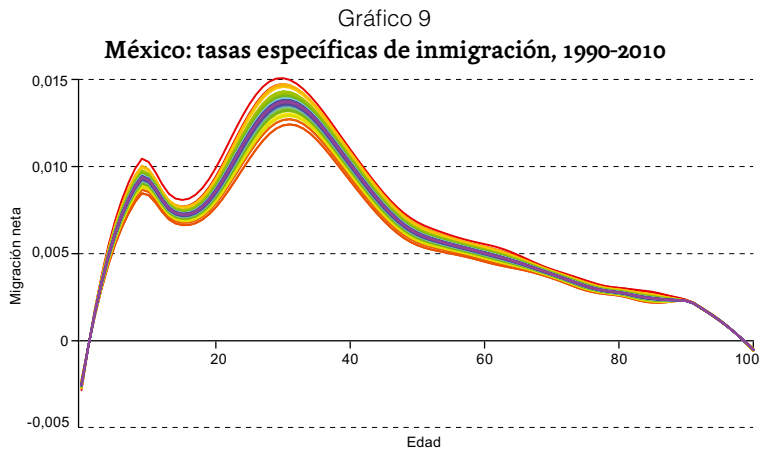
Uno de los aspectos más difíciles de modelar durante el proceso de proyección de poblaciones es el referente a la estimación de patrones migratorios. En general, puede atribuirse a que los modelos demográficos de tipo teórico parten del supuesto de que las poblaciones son cerradas a la migración, lo que se suma, sin lugar a dudas, a la naturaleza cambiante de los flujos, tanto en dirección e intensidad como en su composición por edad.

Las estimaciones relativas al comportamiento de los flujos migratorios internacionales se realizaron con datos censales, a partir de la pregunta sobre el país de residencia durante los últimos cinco años. Es importante señalar que la estimación directa de flujos migratorios suele presentar problemas asociados a la omisión diferencial por edad y sexo, además de importantes niveles de subregistro, sobre todo en los casos donde emigra el grupo familiar completo. En general, los saldos netos migratorios son negativos durante todo el período ajustado (1990-2010).

En el gráfico 8 se muestran las tasas específicas de emigración. Las curvas de color más oscuro corresponden a los años 2000 a 2005 y las de color más claro a los de 2006 a 2010. Por su parte, el comportamiento de tasas específicas de inmigración muestra un descenso continuado entre 1990 y 2010, como se muestra en el gráfico 9. Conviene resaltar que el patrón por edad, tanto de emigrantes como de inmigrantes, es muy joven. La edad media no rebasa los 25 años en ambos casos y el pico esperado para la edad de retiro es apenas notorio, alrededor de los 85 años.



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

C. Metodología

La metodología general propuesta se basa en el método de cohorte-componente, que permite realizar la proyección de las tasas específicas de mortalidad y fecundidad con una variante del método de Lee-Carter, y el crecimiento de la población se acota mediante la utilización de una proyección logística de población total. Para ello, se hace uso del método de ajuste presentado por Poveda y Manrique (2007), en el que se propone una metodología de ajuste del modelo logístico de 12 pasos. El resultado final se presenta en el gráfico 2.

Para lograr que la población total proyectada por el método de cohorte-componente corresponda a la población proyectada por la curva logística, es necesario imponer condiciones sobre los límites inferior y superior de las tasas de mortalidad y fecundidad, además de utilizar el residuo de ambas poblaciones (cohorte-componente y curva logística) como saldo neto migratorio de la proyección. Es decir, las tasas específicas de migración ajustan su nivel residual observado, pero conservan el patrón histórico.

La teoría de la transición demográfica hace referencia al cambio de un régimen poblacional con tasas de mortalidad y fecundidad altas y estables, en sociedades tradicionales, hacia un régimen de mortalidad y fecundidad con tasas bajas y estables, en sociedades modernas. Cada etapa de la transición marca un ritmo de evolución diferente en el descenso de las tasas de mortalidad y fecundidad, lo que puede captarse adecuadamente con un modelo logístico. La validez de la teoría de transición demográfica se ha demostrado de forma empírica en relación con diferentes países en desarrollo (Chesnais, 1986).

A pesar de las diferencias percibidas en los contextos y en los ritmos de descenso de las tasas de mortalidad y fecundidad, ha sido posible observar el tránsito por cada una de las diferentes etapas postuladas.

Puesto que la evolución histórica de las tasas brutas de mortalidad y natalidad parece seguir una tendencia logística (que puede observarse en el gráfico 1), se ha optado por ajustar y extrapolar su tendencia empleando una ecuación de tipo logarítmico. De ese modo, proyectar la evolución histórica de las tasas de mortalidad y fecundidad es un ejercicio más o menos simple, en tanto puede modelarse el camino descrito por la teoría de la transición demográfica.

Las tasas de mortalidad y fecundidad pueden modelarse y proyectarse mediante el coeficiente k_t del método de Lee-Carter (García y Ordorica, 2012), representado por la ecuación:

$$\ln(m_{xt}) = a_x + b_x k_t + e_{xt}$$

donde

a_x es el promedio de las m_x a lo largo del tiempo t

b_x es el primer componente principal que capta el cambio en la edad

k_t es el primer componente principal que capta el cambio en el tiempo

e_{xt} es el residual

En general, se utiliza la descomposición de valores propios y se imponen los requisitos:

$$\sum_t k_t = 0 \quad y \quad \sum_{x=0}^{\omega} b_x = 1$$

El método se elaboró básicamente para ajustar tasas de mortalidad.

Una vez modificada la evolución de las tasas de mortalidad y fecundidad, el algoritmo para la implementación del método de proyección de cohorte-componente de transición logística quedará establecido como:

- i) La población total a alcanzar se estima a partir de la curva:

$$N_{log}(t) = K_0 + \frac{L}{1 + K_1 e^{-bt}}$$

donde $K_1 = K e^{ab/c}$ y $B = b/c$. Los parámetros se determinan por mínimos cuadrados, empleando el método de ajuste elaborado en (Poveda y Manrique, 2007).

- ii) Se aplica el método de Lee-Carter, representado como:

$$\ln(m_{x,t}) = a_x + b_x k_t + \varepsilon_{x,t}$$

donde $m_{x,t}$ representa la tasa de mortalidad a edad x en el año t . k_t es el índice de intensidad de mortalidad a lo largo del tiempo. Entretanto, a_x es el patrón promedio de mortalidad por edad y b_x modela la velocidad relativa de cambio de las tasas correspondientes a cada edad.

- iii) Una vez ajustado el modelo, los coeficientes $b_{t,k}$ obtenidos se extrapolan utilizando una caminata aleatoria con dirección para proyectar el comportamiento de las tasas, de este modo:

$$b_{t,k} = b_{t-1,k} + d_t + e_t$$

donde d_k es el parámetro de dirección, que mide el cambio promedio anual de las tasas, y se calcula como:

$$d_t = \frac{sm_t - sm_{t-1}}{sm_t}$$

donde sm_t es la suma de las tasas específicas de mortalidad al año t y dichas tasas se estiman mediante una curva de tipo logístico que extrapola el comportamiento histórico de las tasas y sigue el comportamiento decreciente establecido según la teoría de la transición demográfica (véase el gráfico 2).

- iv) La proyección de las tasas específicas de mortalidad se obtiene a partir de la extrapolación de k_t , manteniendo fijos los valores de a_x y b_x , a partir de la ecuación:

$$m_{x,t+1} = a_x + b_x k_{t+1}$$

- v) La proyección de las tasas de fecundidad se realiza de la misma manera que la de las tasas de mortalidad. Una vez proyectadas, se estima la población total antes de la migración como:

$$\begin{bmatrix} \frac{P_{t+1}^M}{P_{t+1}^H} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} ab_t & | & 0 \\ s_t^M & | & 0 \\ (1-a)b_t & | & 0 \\ 0 & | & s_t^H \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \frac{P_t^M}{P_t^H} \end{bmatrix}$$

donde

$$s_t^k = \frac{1 - 0.5(m_{x,t}^k)}{1 + 0.5(m_{x+1,t}^k)}$$

$$b_t = \frac{1}{1 + 0.5m_{0,t}} \times \frac{[f_t(x) + s_t^k f_t(x+1)]}{2}$$

$a = \frac{1}{2.05}$ es la proporción esperada de mujeres en la población.

- vi) El cálculo de las tasas de migración se realiza considerando el residuo entre la población P_{t+1} y la población $N_{\log}(t+1)$. Si la población total estimada está por arriba de la población logística, se incrementan las tasas de emigración hasta ajustar la población esperada. En caso contrario, se incrementan las tasas de inmigración, por un factor de ajuste que permita igualar ambas poblaciones.

vii) La proyección se realiza por el método de componentes demográficos, combinando las distintas cohortes, a partir de:

$$\begin{bmatrix} P_{t+1}^M \\ P_{t+1}^H \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a b_t & | & 0 \\ s_t^M & | & 0 \\ (1-a)b_t & | & 0 \\ 0 & | & s_t^H \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} P_t^{HM} \\ P_t^H \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} I_t^M \\ I_t^H \end{bmatrix}$$

donde, una vez más:

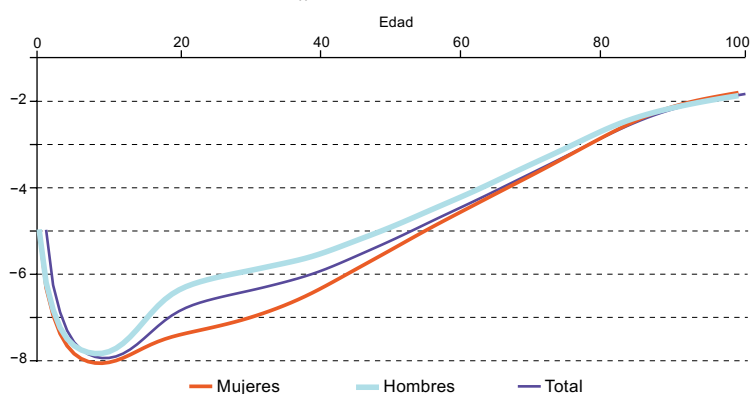
$$s_t^k = \frac{1 - 0.5(m_{x,t}^k + \eta_{x,t}^k)}{1 + 0.5(m_{x+1,t}^k + \eta_{x+1,t}^k)}$$

representa la tasa de sobrevivencia (la probabilidad de llegar con vida al año $t + 1$, dado que se sobrevivió al año t), considerando las tasas de mortalidad de los emigrantes $\eta_{x,t}^k$, es decir, el total de inmigrantes I_t al año t . a y b_t se estiman de la misma forma que antes.

El modelo propuesto aplicado a la población de México utiliza un Δt igual a un año calendario, con un horizonte de proyección de 90 años. Los resultados de la aplicación del modelo se presentan a continuación.

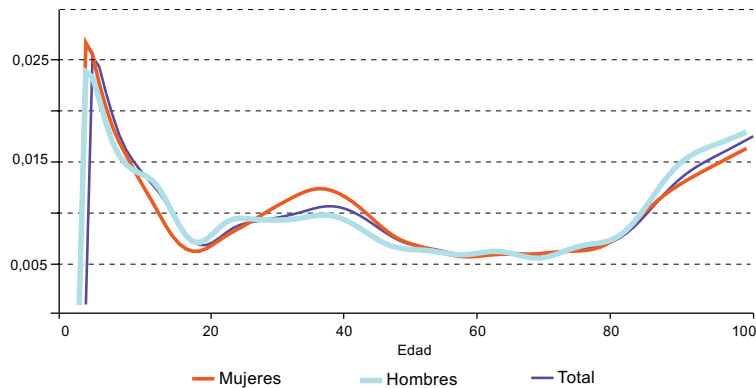
En el gráfico 10 se muestra el patrón medio de las tasas específicas de mortalidad de hombres, mujeres y población total, estimadas con el método de Lee-Carter en relación con el período 1990 a 2010. El gráfico 11 captura el cambio por edad (parámetro b_x), lo que arroja un importante nivel de subregistro de mortalidad durante el primer año de vida. En el gráfico 12 se muestra el cambio de los niveles de mortalidad en el tiempo (parámetro k_t), con lo que se hace evidente que a partir de 2006 ha habido un incremento de los niveles de mortalidad en México.

Gráfico 10
México: parámetro a_x de mortalidad ajustado, 1990-2010



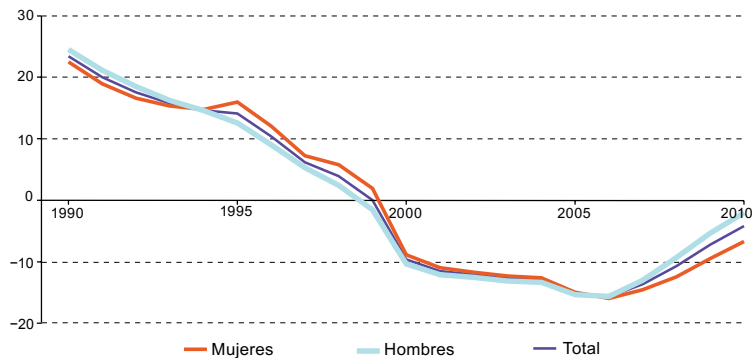
Fuente: Elaboración propia, sobre la base de datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

Gráfico 11
México: parámetro b_x de mortalidad ajustado, 1990-2010



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

Gráfico 12
México: parámetro de mortalidad k_t ajustado, 1990-2010



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

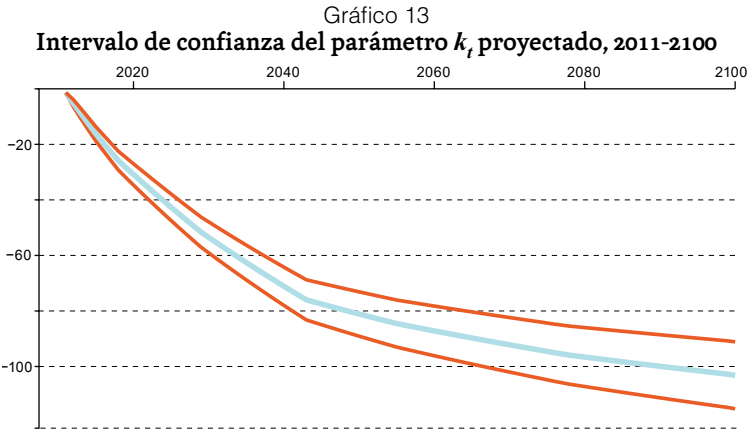
D. Resultados

La aplicación del método de transición logística responde al esquema metodológico propuesto. Para comenzar, se ajustó la población del censo de México en 2010 a fin de construir la población de base de la proyección. Se prorrateó, de modo uniforme, la población de edad no especificada y se corrigió la preferencia de dígitos utilizando el método de promedios móviles ponderados. Por último, el resultado se interpoló al 1 de enero del año referido y la población de base se conformó por un total de 112,4 millones de personas.

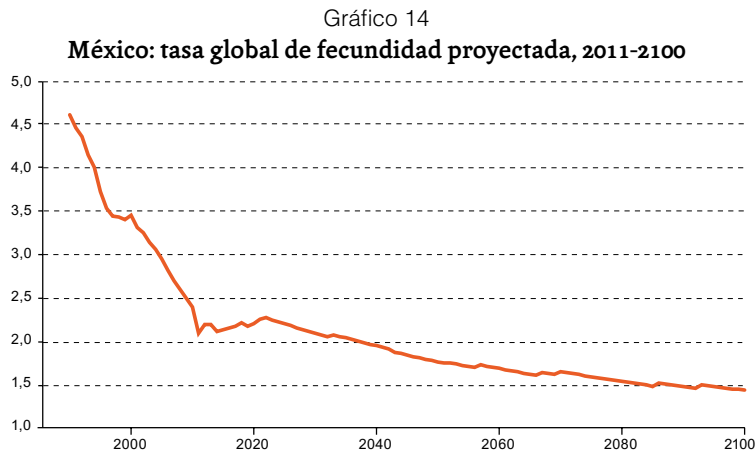
El parámetro a_x representa el nivel medio de la mortalidad observado históricamente, ya que se estima como el promedio del logaritmo de las tasas de mortalidad a lo largo del tiempo. Como se puede observar en el gráfico 12, este parámetro toma la forma clásica de

una curva de mortalidad, con su tradicional dibujo de tubo de cañería y con los niveles de mortalidad masculinos superiores a los femeninos en casi todas las edades.

El parámetro b_x refleja los niveles de intensidad de la mortalidad por edad. En el caso de la población mexicana, el parámetro indica que la intensidad de la mortalidad será especialmente alta al nacer y durante las edades que se corresponden con la adolescencia, o sea, entre los 16 y 22 años (véase el gráfico 13).



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).



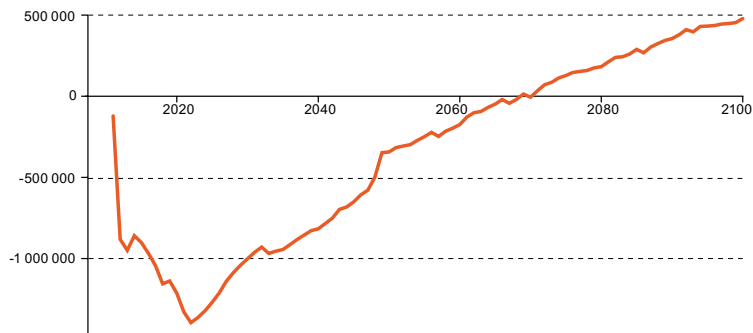
Fuente: Elaboración propia, sobre la base de datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

El parámetro k_t modela la intensidad de la mortalidad a lo largo del tiempo, por lo que marca la tendencia seguida por las tasas y permite extrapolar su futuro. La tendencia del índice k_t muestra que el valor obtenido en el período 1990-2010, previo al pronosticado, presenta un comportamiento que se rompe. Hasta 2006, se marcaba un claro descenso de la mortalidad, mientras que, a partir de dicho año, pueden observarse importantes

incrementos, lo que podría atribuirse al inicio de la guerra contra el narcotráfico iniciada por el gobierno de México. De esta forma, las metodologías de Lee-Carter y Hyndman-Ullah se enfrentan al problema de decidir a qué observaciones le asignan mayor peso relativo con la finalidad de obtener proyecciones coherentes. Ese dilema se resuelve al utilizar la dirección establecida por los patrones de comportamiento teóricos a largo plazo, dados por la teoría de la transición demográfica.

En el gráfico 15 se muestran los valores pronosticados de k_t , así como los intervalos de predicción al 95% de confianza estimados a partir de la función *forecast* del paquete *Demography*, disponible en lenguaje R y modificado mediante la deriva propuesta. Se puede observar que el comportamiento del parámetro indica una clara reducción en la intensidad de la mortalidad al avanzar el tiempo, este efecto se debe al cambio de la deriva y tiene importantes efectos sobre la proyección de los niveles de mortalidad y fecundidad a largo plazo.

Gráfico 15
México: saldo neto migratorio proyectado, 2011-2100
(En habitantes)



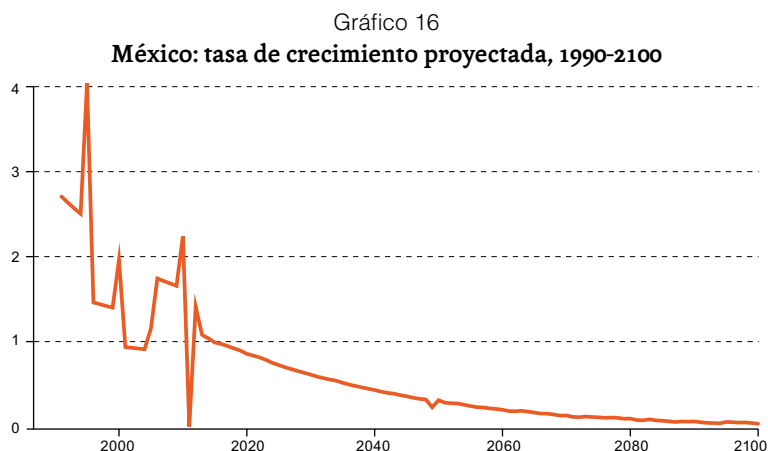
Fuente: Elaboración propia, sobre la base de datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

Durante los próximos años, México continuará registrando descensos moderados de sus niveles de mortalidad y fecundidad. Esto se debe a que se encuentra en la fase final de la segunda etapa de la transición demográfica (CONAPO, 2007). La pirámide de población actual da cuenta de que México es un país con una estructura por edades sumamente joven. El porcentaje de población de personas con 65 años o más es inferior al 7%.

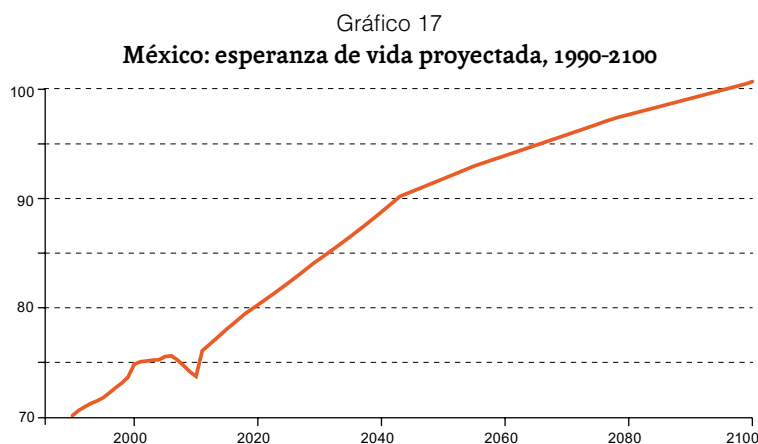
La paulatina reducción de los niveles de mortalidad tendrá, entre otras consecuencias, el incremento del porcentaje de población envejecida, que alcanzará en 2050 el 18% del total de la población, que a su vez llegará a los 144,1 millones de habitantes.

Las tasas de fecundidad se reducirán de los 2,4 hijos por mujer, observados en el año 2014, hasta niveles de 1,4 hijos al año 2100, con arreglo a pronósticos establecidos por la curva ajustada para la TGF y la proyección realizada (véase el gráfico 16). Según esos

pronósticos, se espera que en 2020 nazcan 2,2 millones de menores, y 1,1 millones para 2100, lo que supondrá un descenso de más de un 40% en el número de nacimientos.



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

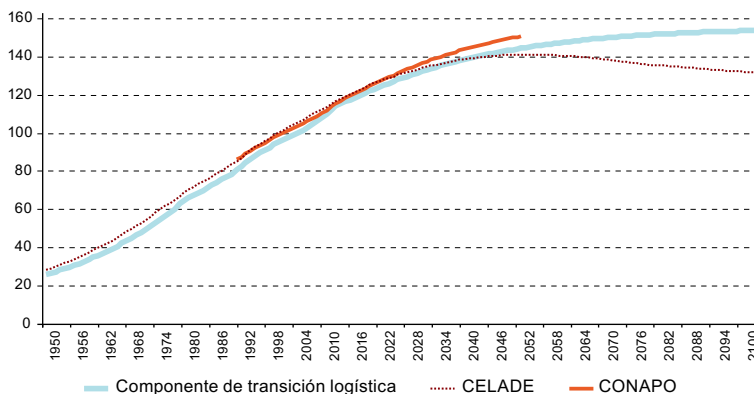
Aunque en los gráficos 10 y 11 se muestra el patrón migratorio clásico, es probable que las estimaciones realizadas contengan algunos sesgos producidos por deficiencias propias de la captación de información. Las tasas se estimaron con información de los flujos captados por la pregunta de lugar de residencia en el censo anterior, lo que puede ocasionar importantes niveles de subregistro, en especial cuando el grupo familiar completo emigra. No obstante, según cifras proyectadas, se esperan reducciones sostenidas de los flujos de emigración a largo plazo (véase el gráfico 15), pues el saldo neto migratorio comenzará a ser positivo a partir de la década de 2070.

Según se muestra en el gráfico 16, la evolución de las tasas de crecimiento de la población de México atestigua el paso de la transición demográfica. La inestabilidad observada durante la última década del siglo XX y la primera del XXI es producto del desfase entre los descensos de la mortalidad y la fecundidad, y de las variaciones en los flujos migratorios registrados durante el período en cuestión. Alrededor de 2050, se puede observar un quiebre o alteración en la tendencia provocada como efecto inercial de las fluctuaciones pasadas.

Una vez establecidos los supuestos básicos del modelo, y al no contar con información actualizada sobre el comportamiento de las tasas de migración, se decidió emplear el patrón promedio de inmigración y emigración como estándar para ajustar los niveles de migración en el sentido establecido por el punto vi) de la metodología propuesta. Como se observa en el gráfico 15, los saldos netos migratorios de México durante el período 2011-2100 resultan de dibujar el efecto de la transición demográfica sobre los niveles esperados de población que se espera será expulsada o atraída hacia México en el período señalado. De contar con tasas específicas de inmigración y emigración para el período de proyección, estas deberán ajustarse a los niveles esperados que permitan alcanzar la población total fijada en cada período de proyección por el modelo logístico, lo que tal vez llegue a alterar la tendencia de la mortalidad y la fecundidad.

Una vez realizada la proyección, la población total estimada por el método de cohorte-componente presenta el comportamiento esperado, como puede observarse en el gráfico 18. Las estructuras por edad y sexo proyectadas pueden verse en sus respectivas pirámides poblacionales, donde se observa el envejecimiento paulatino de la población debido al descenso de las tasas de fecundidad, el descenso del nivel de mortalidad y el incremento de la esperanza de vida al nacer.

Gráfico 18
México: estimaciones y proyecciones de población del CELADE-División de Población de la CEPAL y el Consejo Nacional de Población y método de transición logística, 1950-2100
(En millones de habitantes)



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

Gráfico 19
México: proyección de la estructura y sexo por edad, 2015, 2050, 2075 y 2100

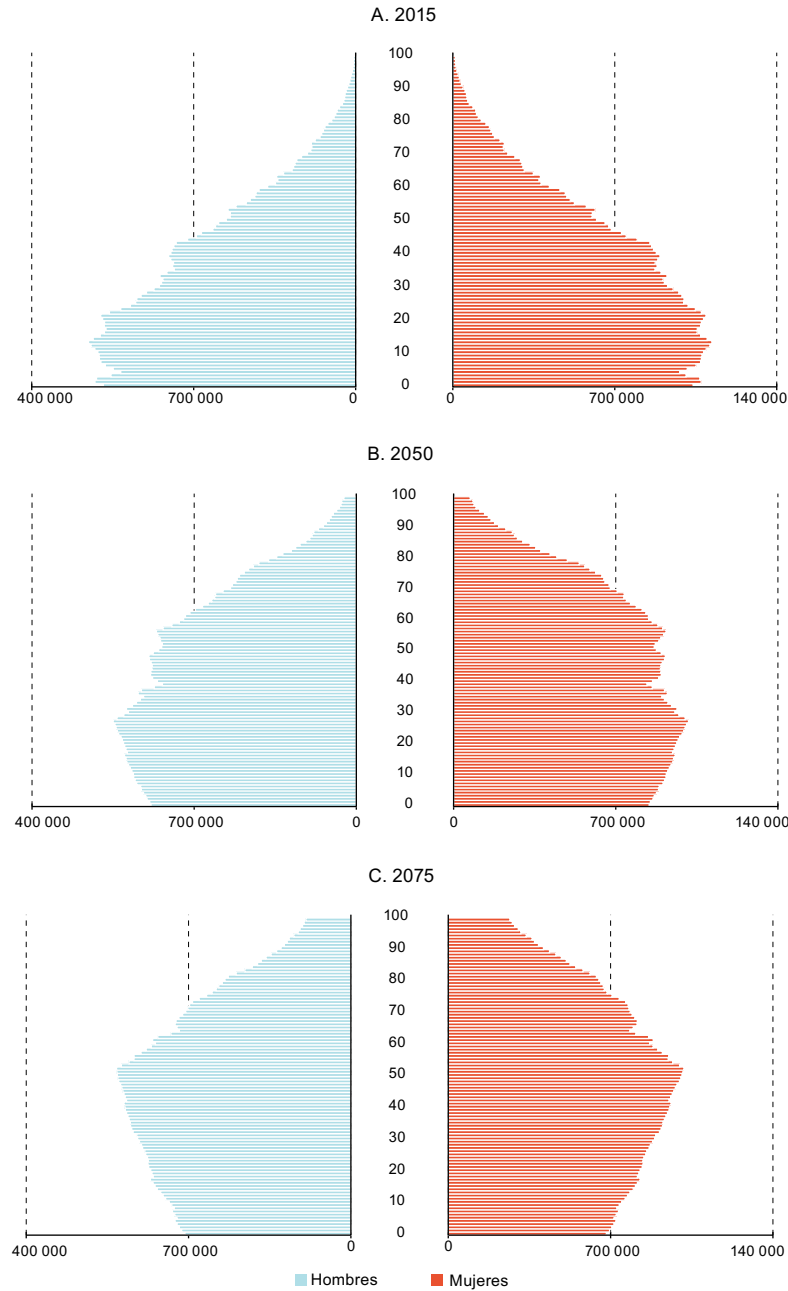
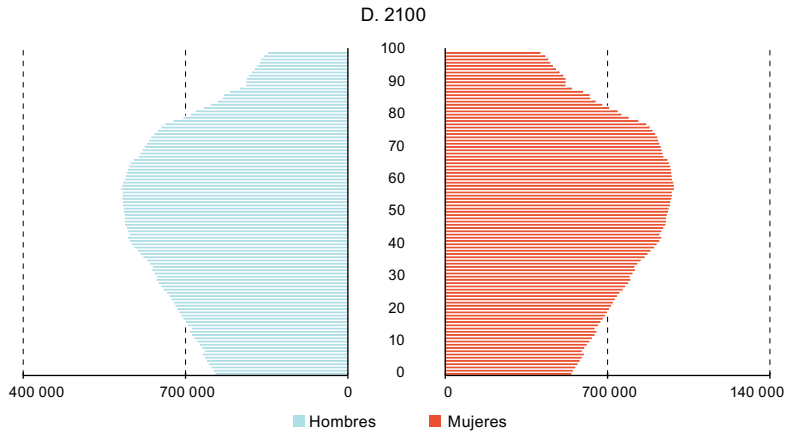


Gráfico 19 (conclusión)



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de cifras proyectadas por el método de transición logística..

De mantenerse el descenso de las tasas específicas de mortalidad, se espera que la esperanza de vida al nacer alcance un máximo de 100,5 años a nivel nacional, lo que implica un incremento de 24,7 años durante el período de proyección. Esto daría por resultado una estructura poblacional envejecida con una edad mediana de 48 años y una proporción de población envejecida de 65 años o más, equivalente al 32% de la población total.

E. Conclusiones

En 1992, Lee y Carter describieron un método estocástico basado en una aproximación de cohorte-componente con la finalidad de estimar y pronosticar las tasas de mortalidad por edad. Desde entonces, se han elaborado una gran cantidad de variantes, la mayor parte orientadas a la recuperación y posterior extrapolación de los efectos del pasado. La aproximación propuesta en este trabajo busca recuperar los efectos del pasado, al incorporar una tendencia futura esperada y fundamentada en la teoría de la transición demográfica.

De esta forma, el modelo de transición logística propuesto permite proyectar la evolución de las tasas de mortalidad y fecundidad a largo plazo, al tomar como fundamento las tendencias marcadas en las distintas etapas definidas por la teoría de la transición demográfica. Un punto importante a destacar del modelo es el hecho de que impone un límite máximo al crecimiento de la población proyectada, lo que permite fijar horizontes de proyección de larga temporalidad.

Otro aspecto importante del trabajo, aunque no es propio del método propuesto, es que se incorporan estimaciones indirectas de mortalidad infantil, realizadas a partir de datos censales, a la vez que se hace una proyección estable de dichas estimaciones. Esto contribuye a dar mayor certidumbre a los pronósticos sobre mortalidad general, pues permite mejorar las estimaciones de la esperanza de vida a lo largo de todo el período proyectado. Los métodos de estimación indirectos de mortalidad infantil pueden consultarse con mayor detalle en Aguirre y Vela (2012).

Entre las principales desventajas del método propuesto cabe señalar que ignora las variaciones observadas en las tasas, tanto de mortalidad como de fecundidad, ocurridas en períodos recientes, ya que se concentra en seguir la tendencia histórica de las series y alcanzar el límite preestablecido por el marco teórico. Otra desventaja importante del método es la asociada a la restricción impuesta sobre la estructura y los niveles de migración, ya que genera un conflicto entre la velocidad de crecimiento de la población y el límite de población máximo permitido.

Es decir, los niveles de migración (inmigración y emigración) en cada paso de la proyección se estiman como residuo entre la población total proyectada por el método de cohorte-componente y la población total máxima permitida por la proyección logística. Una vez conocido el residuo, se estiman las tasas de migración, conservando la estructura de las tasas estimadas y ajustando el nivel de acuerdo al total esperado.

Además, es importante señalar que los resultados de la aplicación en el caso de México parecen ser bastante alentadores, en el sentido de que presentan estimaciones consistentes para todos los indicadores demográficos expuestos en la sección de resultados. En particular, la tasa de crecimiento de la población alcanza niveles bajos y estables a partir de 2080, la tasa global de fecundidad disminuye por debajo del reemplazo a partir de 2030 y la esperanza de vida permanece acotada en valores menores a 100 años.

La transición demográfica permite describir y también “predecir” los cambios en materia de natalidad y mortalidad, a partir de generalizaciones sobre la dinámica demográfica de sociedades europeas desde el siglo XVIII. El equilibrio demográfico pretransicional comienza con un lento descenso de la mortalidad, acompañado por aumentos sostenidos de la esperanza de vida, principalmente a consecuencia del descenso de la mortalidad infantil. Luego comienza un proceso de reducción de la natalidad, paralelo al descenso de la mortalidad. El desfase temporal entre el descenso de las tasas brutas de mortalidad y natalidad provoca un incremento de población (en poblaciones cerradas). Por último, las tasas de natalidad y mortalidad alcanzan niveles relativamente bajos y estables, lo que lleva a una reducción de la tasa de crecimiento natural.

Una de las principales ventajas del uso del método de transición logística consiste en que permite emplear las predicciones de natalidad y mortalidad propuestas por la teoría de la transición demográfica e integrarlas de forma explícita en la metodología, ajustando su nivel y ritmo de cambio a largo plazo (véase el gráfico 1). Es decir, la tasa de crecimiento natural se estima como la diferencia entre la tasa bruta de natalidad y la tasa bruta de mortalidad, suponiendo una población cerrada. La migración se integra, mediante el saldo neto migratorio, como el residuo de la población total proyectada por la curva logística (en $t+1$) y la población total proyectada con la metodología propuesta, que será la suma de la estructura por edad y sexo de la población llevada al momento $t+1$, utilizando únicamente la tasa de crecimiento natural. Según ese criterio, el saldo migratorio es resultado de la interacción del crecimiento natural y un límite máximo hipotético impuesto sobre el crecimiento de la población.

Los resultados de la aplicación del método de transición logística, en relación con la población total, pueden verse en el gráfico 18. Allí se muestran las proyecciones del Consejo Nacional de Población (CONAPO, 2015) correspondientes al período 2010-2050 y del Centro Latinoamericano y Caribeño de Demografía (CELADE)-División de Población de la CEPAL (CEPAL, 2015) correspondientes al período 1950-2100. Las diferencias más palpables ocurren a largo plazo, donde el modelo propuesto sigue la tendencia establecida por la curva de crecimiento logística. Por otra parte, es importante señalar que tanto el CELADE-División de Población de la CEPAL como el CONAPO comienzan la proyección con una población de base corregida en 2010 de 114 y 115 millones de personas, respectivamente (mientras que la población censada en 2010 ascendió a 112 millones, según cifras oficiales del INEGI). Esa diferencia es notoria en el nivel de todas las proyecciones, no así en la tendencia a mediano plazo (2010-2040). Por último, el método de transición logística ha permitido modelar la evolución histórica de las tasas brutas de mortalidad y natalidad mediante el método de Lee-Carter, a la vez que ha incorporado una variación en la dirección de la deriva, para permitir que ambas tasas sigan la tendencia evolutiva marcada por la transición demográfica.

Bibliografía

- Alders, M., N. Keilman y H. Cruijsen (2007), "Assumptions for long-term stochastic population forecasts in 18 European countries", *European Journal of Population*, vol. 23, N° 1.
- Aguirre, Alejandro y Fortino Vela-Peón (2012), "La mortalidad infantil en México, 2010", *Papeles de Población*, vol. 18, N° 73.
- Bates, J. M. y C. W. J. Granger (1969), "The combination of forecasts", *Operational Research Quarterly*, vol. 20, N° 4.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe) (2015), "Estimaciones y proyecciones de población a largo plazo 1950-2100" [en línea] http://www.cepal.org/celade/proyecciones/basedatos_bd.htm [fecha de consulta: 19 de julio de 2015].
- Chesnais, J.C. (1986), "La transition démographique. Étapes, formes, implications économiques", *Cahiers de l'INED*, París, PUF.
- Claeskens, G. y N. L. Hjort (2008), *Model Selection and Model Averaging*, Cambridge, Cambridge University Press.
- CONAPO (Consejo Nacional de Población) (2015), "Proyecciones de población 2010-2050, para la República Mexicana" [en línea] http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Proyecciones_Datos [fecha de consulta: 19 de junio de 2015].
- (2007), *Estimación infantil para México, entidades federativas y los municipios. Nota metodológica*, Ciudad de México.
- Feeney, Griffith (1980), "Estimating infant mortality trends from child survivorship data", *Population Studies*, vol. 34, N° 1, Londres.
- García Guerrero, V. M. y M. Ordozica Mellado (2012), "Proyección estocástica de la mortalidad mexicana por medio del método de Lee-Carter", *Estudios Demográficos y Urbanos*, vol. 27, N° 2, mayo-agosto.

- Hoeting, J. A. y otros (1999), "Bayesian model averaging", *Statistical Science*, vol. 14, N° 4.
- Hyndman, R. J. y S. Ullah (2007), "Robust forecasting of mortality and fertility rates: a functional data approach", *Computational Statistics and Data Analysis*, vol. 51, N° 10.
- Hyndman, R. J. y Y. Khandakar (2008), "Automatic time series forecasting: the forecast package for R", *Journal of Statistical Software*, vol. 27, N° 3.
- Hyndman, R. J., H. Booth y F. Yasmeen (2013), "Coherent mortality forecasting: the product-ratio method with functional time series models", *Demography*, vol. 50, N° 1.
- Lee, R. D. y L. R. Carter (1992), "Modeling and forecasting U.S. mortality", *Journal of the American Statistical Association*, vol. 87, N° 419.
- Li, N. y R. Lee (2005), "Coherent mortality forecasts for a group of populations: an extension of the Lee-Carter method", *Demography*, vol. 42, N° 3.
- MacInnes, John y Julio Pérez-Díaz (2008), "La tercera revolución de la modernidad: la revolución reproductiva", *Revista Española de Investigaciones Sociológicas*, N° 122.
- Newton, M. A. y A. E. Raftery (1994), "Approximate Bayesian inference with the weighted likelihood bootstrap", *Journal of the Royal Statistical Society, Series B*, vol. 56, N° 1.
- Ordorica Mellado, M. (2004), "Pronóstico de las defunciones por medio de los modelos autorregresivos integrados de promedios móviles", *Papeles de Población*, N° 42.
- Partida, V. (2008), *Proyecciones de la población de México, de las entidades federativas, de los municipios y de las localidades, 2005-2050. Documento metodológico*, Ciudad de México, Consejo Nacional de Población (CONAPO).
- Poveda, Gabriel y Jorge Manrique (2007), "Aplicación de la curva logística a los censos de la ciudad de Medellín", *Ecos de Economía*, [S.l.], vol. 11, N° 25.
- Preston, S., P. Heuveline y M. Guillot (2000), *Demography: Measuring and modeling population processes*, Londres, Blackwell Publishers.
- Trussell, James (1975), "A re-estimation of the multiplying factors for the Brass technique for determining childhood survivorship rates", *Population Studies*, vol. 29, N° 1.