

## 4. La migración internacional

La migración internacional de nuestro país, fundamentalmente compuesta del flujo de compatriotas hacia Estados Unidos, es un fenómeno de creciente importancia, no sólo desde el punto de vista estadístico, sino también político, social, cultural y de derechos humanos. Tendencias de largo plazo indican que una parte importante de los vaivenes se originan en la evolución de la economía del vecino del norte.

Las previsiones del comportamiento de la migración internacional son cada vez más difíciles de hacer. Las tendencias que databan de más de medio siglo se revirtieron en el pasado reciente: la creciente emigración de nuestro país hacia otras naciones iniciada en los años cuarenta del siglo pasado, principalmente a Estados Unidos y dentro del marco del *Programa Bracero*, ha experimentado un abrupto y continuo descenso desde 2006; la inmigración, en cambio, si bien creciente pero a un ritmo lento —y compuesta, sobre todo, de mexicanos que regresan del vecino del norte—, casi se cuadruplicó de 2000–2005 a 2005–2010.

Este viraje marcado en la migración internacional de México es atribuible a la fuerte recesión económica que ha venido experimentando Estados Unidos desde 2007; tal y como sucedió —de manera aún más palpable— en los años treinta del siglo pasado, cuando el volumen de personas nacidas en México y residentes en Estados Unidos se contrajo de 641 mil en 1930 a 374 mil en 1940.

Información reciente, indica una leve recuperación del éxodo hacia Estados Unidos, tanto de mexicanos, como de originarios de otros países residentes en México; y, en mucho menor medida, pero no por eso de magnitud despreciable, dirigidos hacia otras naciones.

Ante la incertidumbre del futuro del fenómeno, y de la ausencia de una teoría integradora como la transición demográfica, en la que descansan, en buena medida, las proyecciones de la mortalidad y la fecundidad en los capítulos 1 y 2, y con el fin de evitar especulaciones —muchas veces infundadas— sobre la futura política inmigratoria de Estados Unidos y el desarrollo económico del mundo, aquí también optamos por hacerlo de manera probabilística, en vez de proceder de forma determinista.

Los pronósticos llevados a cabo aquí, se hacen para el total del país; en el capítulo siguiente, al presentar el algoritmo de proyecciones de población, se explica la manera como se hicieron las proyecciones para las entidades federativas.

### 4.1 El pronóstico

El método de proyección de la migración internacional es similar al de la mortalidad. La única diferencia radica en que la DVS se calcula para arreglos independientes por sexo y por

flujo migratorio. Así, a partir de la información conciliada, se calculan las tasas específicas de inmigración y emigración por edad y sexo para el periodo 1965–2015. No se utiliza la información de 1950 a 1964 debido a que, después de diversos experimentos, se comprobó que su inclusión impide una buena bondad de ajuste y disminuye la proporción de la varianza que explican las componentes principales. Esto es, si se considera el periodo 1965–2015, se necesitan menos componentes en el modelo LC en la ecuación (1.1), que si se agregan los quince años previos. A diferencia de las otras dos componentes demográficas, para la inmigración y emigración se requirió de cinco componentes para tener una buena estimación. Esto se debe principalmente a la alta volatilidad que tiene este fenómeno para el país.

Denotemos por  $\iota_x^s(t)$  a la tasa de inmigración internacional de edad cumplida  $x$  durante el año  $t$  y por  $\varepsilon_x^s(t)$  a la de emigración, del sexo  $s$  (1 para hombres y 2 para mujeres). Los modelos que se utilizan para modelar el logaritmo natural de dichas tasas específicas son los siguientes:

$$\ln \{\iota_x^s(t)\} = a_x^s + \sum_{j=1}^5 b_x^{j,s} \times \lambda_t^{j,s} \quad \text{y} \quad \ln \{\varepsilon_x^s(t)\} = c_x^s + \sum_{j=1}^5 d_x^{j,s} \times \gamma_t^{j,s} \quad (4.1)$$

Dada la estructura de estos modelos, es necesario estimar 44 vectores de parámetros y pronosticar 20 de ellos. Los parámetros  $a_x^s$  y  $c_x^s$  corresponden a las estimaciones más recientes, es decir, a  $\ln \{\iota_x^s(2015)\}$  y  $\ln \{\varepsilon_x^s(2015)\}$ , respectivamente. Esta selección permite privilegiar la estructura por edades más reciente de la inmigración y emigración y reducir el error en el pronóstico a corto y largo plazos.

La valoración de los vectores  $b_x^{j,s}$ ,  $d_x^{j,s}$ ,  $\lambda_t^{j,s}$  y  $\gamma_t^{j,s}$  se hizo con DVS, reteniendo las primeras cinco componentes principales, es decir, los cinco vectores relacionados con los cinco valores singulares más grandes. Para el caso de la inmigración, utilizar esas primeras cinco componentes permite, para hombres y mujeres, explicar cerca de 90% de la variabilidad. La dinámica de cada uno de estos parámetros se muestra en la gráfica 4.1. Para el caso de la emigración, las primeras cinco componentes permiten, para hombres y mujeres, explicar cerca de 92% de la variabilidad. La dinámica de cada uno de estos parámetros se muestra en la gráfica 4.2.

Los parámetros estimados  $\lambda_t^{j,s}$  y  $\gamma_t^{j,s}$  se pronosticaron ajustando diversos modelos ARIMA. Los mejores modelos para la inmigración masculina y femenina, para cada uno de los 10 parámetros (5 para inmigración y 5 para emigración) proyectados, se muestran en el cuadro 4.1

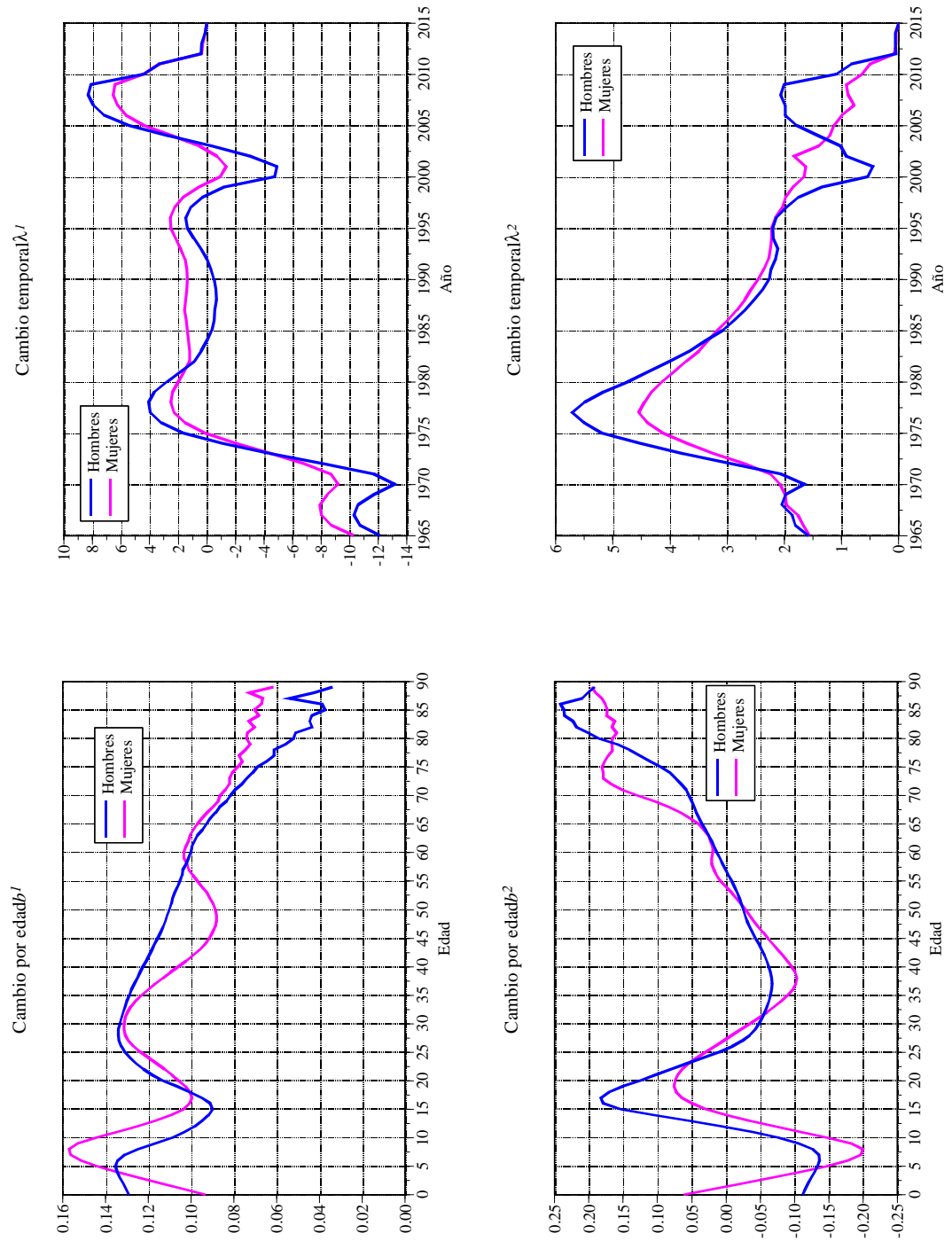
Por último, para obtener la proyección mediana de la inmigración y la emigración por edades simples y sexo, se emplean las siguientes ecuaciones:

$$\iota_x^s(T+h) = \exp \left\{ \widehat{a}_x^s + \sum_{j=1}^5 \widehat{b}_x^{j,s} \times \widehat{\lambda}_{T+h}^{j,s} \right\} \quad (4.2)$$

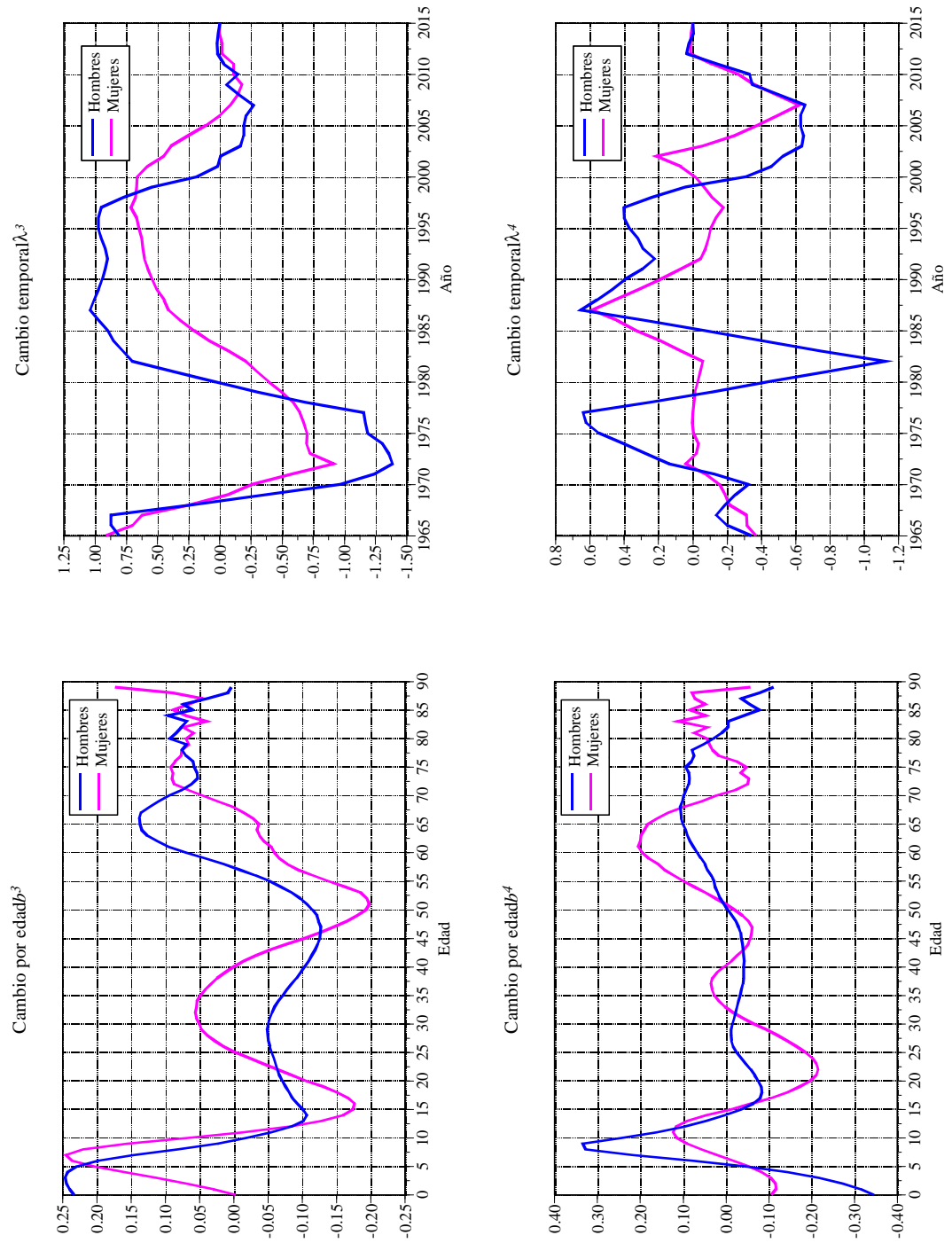
$$\varepsilon_x^s(T+h) = \exp \left\{ \widehat{c}_x^s + \sum_{j=1}^5 \widehat{d}_x^{j,s} \times \widehat{\gamma}_{T+h}^{j,s} \right\} \quad (4.3)$$

para  $T = 2015$  y  $h = 1, 2, \dots, 35$  y  $s = 1, 2$ .

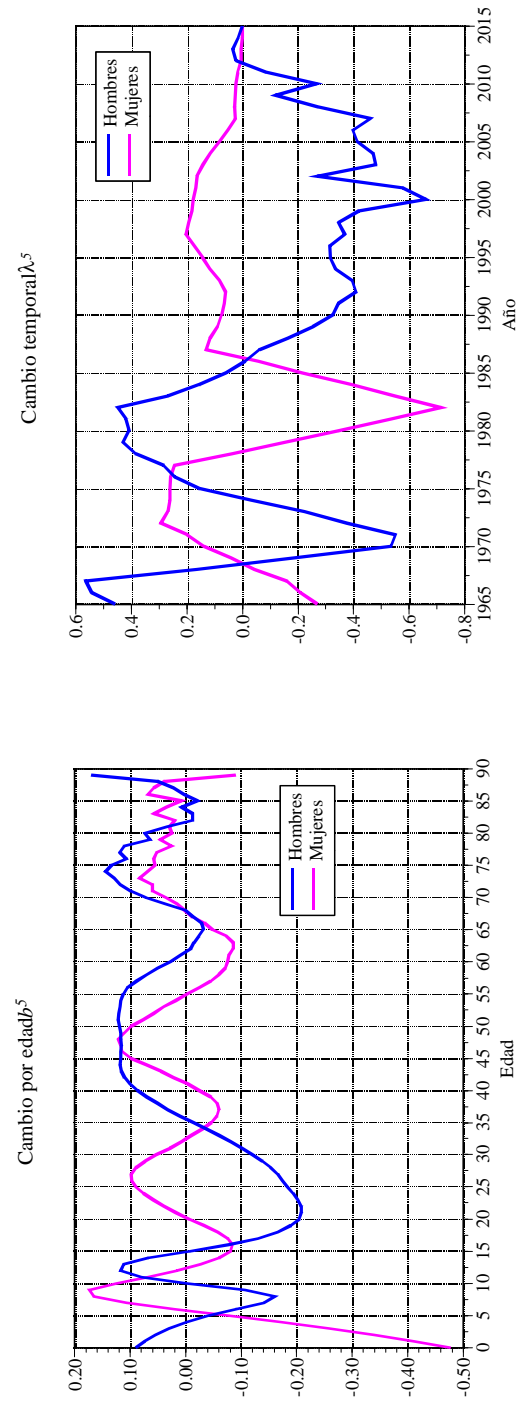
Gráfica 4.1. Parámetros de cambio por edad y variación temporal por sexo, para la inmigración internacional



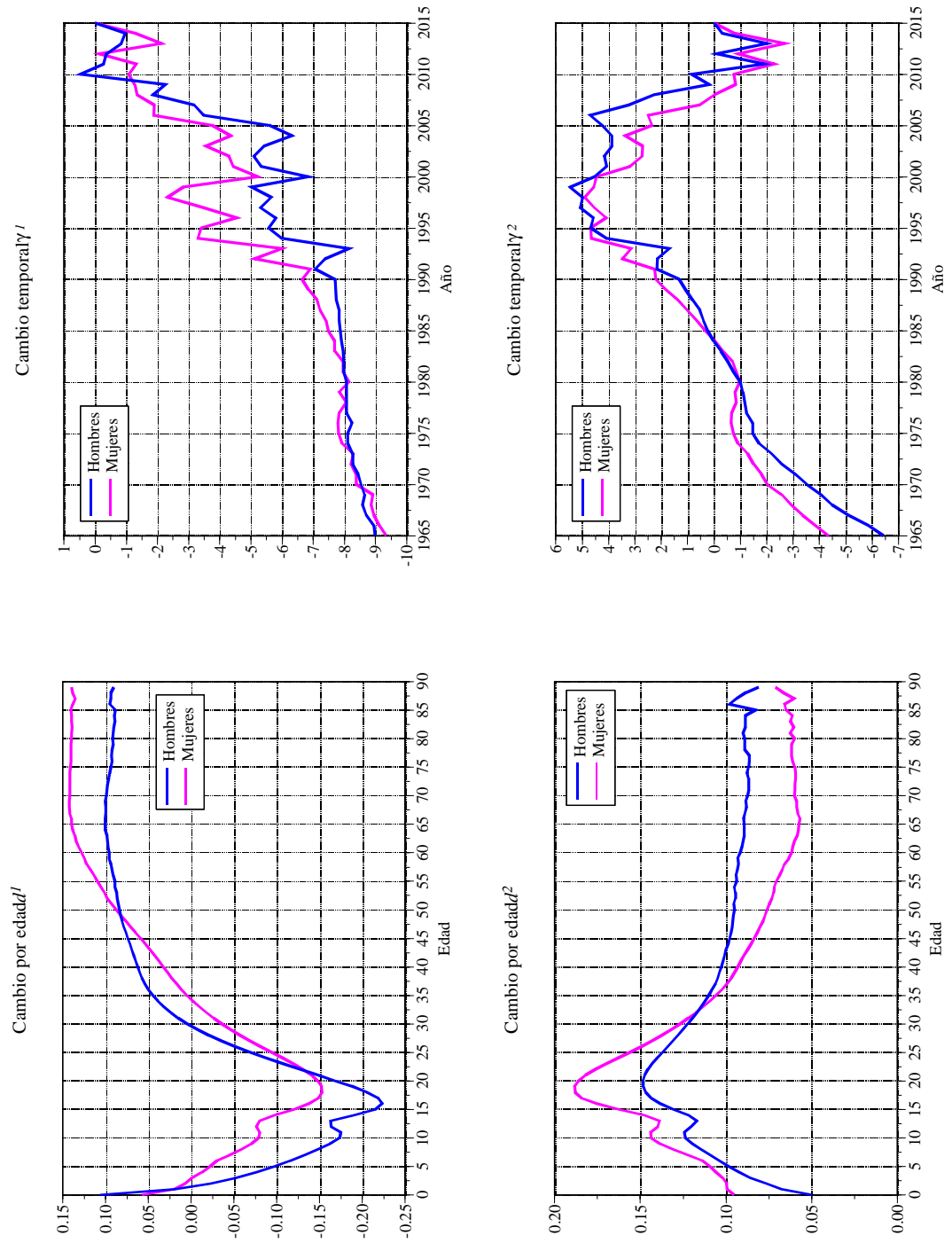
Gráfica 4.1.  
(Continúa)



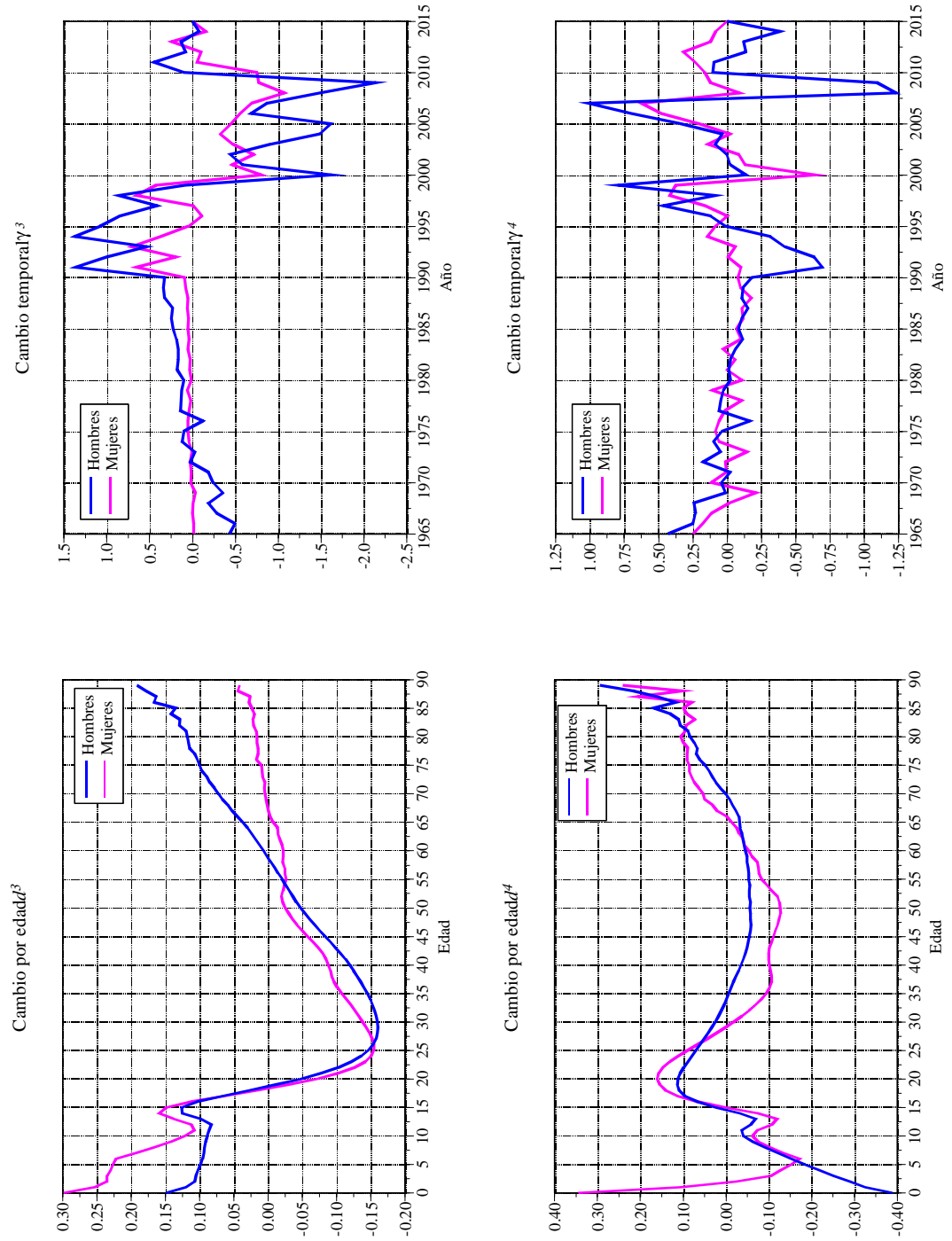
Gráfica 4.1.  
(Concluye)



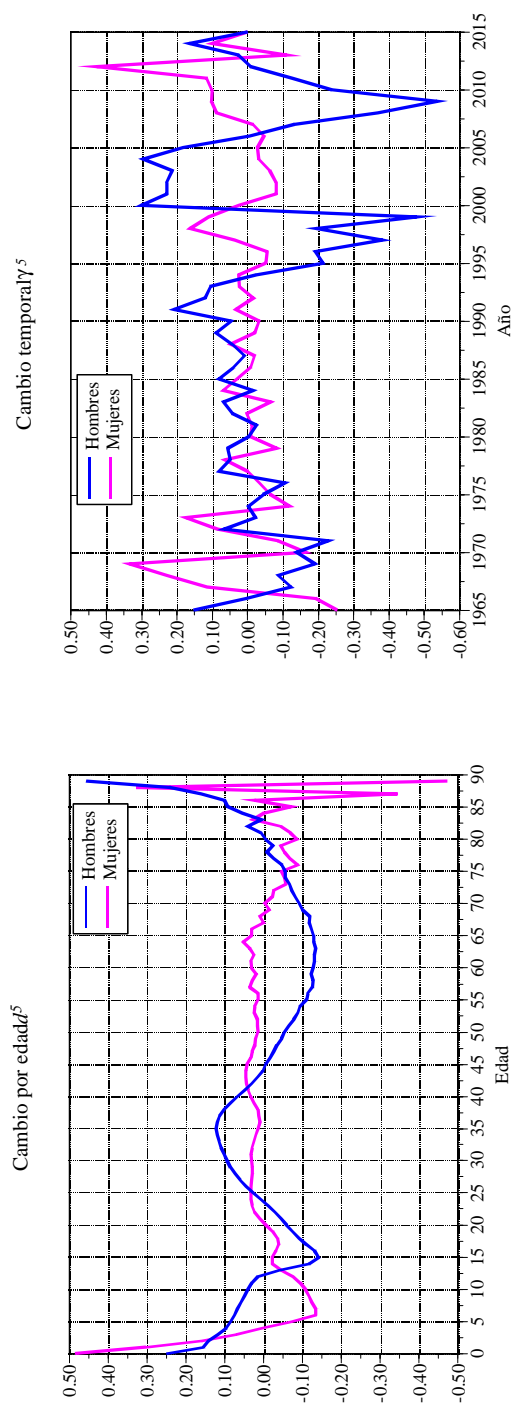
Gráfica 4.2. Parámetros de cambio por edad y variación temporal por sexo, para la emigración internacional



Gráfica 4.2.  
(Continúa)



Gráfica 4.2.  
(Concluye)





Cuadro 4.1. Modelos de series de tiempo ajustados a los parámetros temporales de inmigración y emigración por sexo

Parámetro	Modelo para hombres	Modelo para mujeres
<i>Inmigración</i>		
$\lambda^1$	ARIMA (1,1,2)	ARIMA (3,1,0)
$\lambda^2$	ARIMA (1,1,0)	ARIMA (1,1,0)
$\lambda^3$	ARIMA (2,0,0) con media cero	ARIMA (3,1,0)
$\lambda^4$	ARIMA (1,0,2) con media cero	ARIMA (2,0,0) con media cero
$\lambda^5$	ARIMA (0,1,1)	ARIMA (2,0,0) con media cero
<i>Emigración</i>		
$\gamma^1$	ARIMA (1,1,0)	ARIMA (0,1,1)
$\gamma^2$	ARIMA (0,1,2)	ARIMA (0,1,2)
$\gamma^3$	ARIMA (1,0,0) con media cero	ARIMA (0,1,0)
$\gamma^4$	ARIMA (0,0,1) con media cero	ARIMA (1,0,0) con media cero
$\gamma^5$	ARIMA (2,0,2) con media cero	ARIMA (0,0,0) con media cero



## 5. El método de proyección

El método más utilizado para proyectar la población es el de los componentes demográficos. Este procedimiento consiste de pronosticar la historia futura de cada generación, presente al inicio del periodo de proyección o nacida durante él y sujeta a niveles preestablecidos de mortalidad y migración, hasta su sobrevivencia colectiva al término del horizonte de la proyección, o bien, hasta su completa extinción si ésta ocurre antes de la culminación del periodo de la proyección. Quienes sobreviven en edades fértiles se reproducen, de acuerdo a niveles de fecundidad también preestablecidos, dando lugar a las nuevas generaciones que se incorporan a la proyección.

Las proyecciones de la población nacional, en este trabajo, se elaboran bajo una perspectiva uniregional, es decir, las previsiones sobre las tendencias futuras de la fecundidad, la mortalidad y, sobre todo, la migración se establecen sólo para el propio país y se deja de lado la posible influencia que pueda tener la dinámica demográfica de otras naciones. Se procede de esa manera, porque la evolución demográfica de una nación tiene poco o nulo impacto sobre la de otros países.

El método se aplicó por edad desplegada y para cada año del periodo de proyección, ya que la reconstrucción demográfica de 1970 a 2050 (Partida, 2017), así como las previsiones de mortalidad, fecundidad y migración internacional, estimadas en los capítulos 1, 2, y 4, permiten hacerlo de esa manera.

Las perspectivas demográficas para las entidades federativas, que se presentan aquí, se hicieron con un modelo multirregional, donde la proyección se hace de manera simultánea para todos los estados y queda garantizado que, al final de cada año de la proyección, se satisfacen las cifras nacionales previamente proyectadas sin necesidad de hacer ajustes adicionales.

Con el fin de calcular directamente el crecimiento absoluto y relativo para los años calendario naturales, se prefirió ubicar a los habitantes al 1 de enero, en lugar de a mitad de año como es ordinario; de esta manera, las poblaciones medias se pueden determinar como un simple promedio aritmético o geométrico de los residentes al inicio y final de cada año, y los indicadores de crecimiento demográfico quedan efectivamente referidos a los años calendario.

### 5.1 El modelo uniregional de los componentes demográficos

Este procedimiento fue el utilizado para la proyección de la población nacional.

Denotemos por  $P_x(t)$  a la población de edad cumplida  $x$  al 1 de enero del año  $t$ , y sea  $S_x(t)$  la proporción de la población que sobrevivirá a la mortalidad —o probabilidad perspectiva de supervivencia— al cabo del mismo año  $t$ , en ausencia de migraciones. Así, los habitantes al final del año (al 1 de enero de  $t + 1$ ) son:

$$\tilde{P}_{x+1}(t + 1) = P_x(t) \times SM_x(t) \quad (5.1)$$

con

$$SM_x(t) = \frac{L_{x+1}(t)}{L_x(t)} \quad (5.2)$$

donde  $L_x(t)$  son los años-persona vividos de edad cumplida  $x$  por la cohorte de la tabla de mortalidad proyectada para el año  $t$ , y “ $\sim$ ” indica que la proyección está cerrada a la migración internacional.

Denotemos por  $\iota_x(t)$  a la tasa de inmigración internacional de edad cumplida  $x$  al inicio del año  $t$ , por  $\varepsilon_x(t)$  a la de emigración, y por  $\eta_x(t) = \iota_x(t) - \varepsilon_x(t)$  a la de migración neta. Bajo el modelo de crecimiento exponencial, el aporte a la variación de la cohorte por la movilidad con el exterior es:

$$SE_x(t) = \exp \{ \eta_x(t) \} \quad (5.3)$$

y el modelo completo de proyección:

$$P_{x+1}(t + 1) = P_x(t) \times SM_x(t) \times SE_x(t) = P_x(t) \times S_x(t) \quad (5.4)$$

donde,

$$S_x(t) = SM_x(t) \times SE_x(t) = \left[ \frac{L_{x+1}(t)}{L_x(t)} \right] \times \exp \{ \eta_x(t) \} \quad (5.5)$$

Las nuevas generaciones, que se van incorporando conforme avanza el horizonte de la proyección, es decir, quienes nacerán en el futuro, provienen de la reproducción de las parejas, que tradicionalmente se vincula a las mujeres en edad fértil, mediante las tasas de fecundidad por edad proyectadas (capítulo 2). Dado que las mujeres están expuestas a procrear durante todo el año, un buen estimador de la exposición al riesgo de concebir es la población a mitad de año, la cual se estimó como el promedio aritmético de las mujeres al inicio y final del año:

$$\bar{P}_x^f(t) = \frac{P_x^f(t) + P_x^f(t + 1)}{2} \quad (5.6)$$

donde el sobreíndice  $f$  indica que es la población femenina.

Si  $F_x(t)$  es la tasa de fecundidad para la edad cumplida  $x$  durante el año  $t$ , es decir, el promedio de hijos nacidos vivos por mujer de edad cumplida  $x$ , el total de nacimientos ocurridos durante ese año es:

$$B(t) = \sum_{x=15}^{49} \bar{P}_x^f(t) F_x(t) \quad (5.7)$$

Los nacimientos procreados por las mujeres de edad cumplida  $x$  se deducen directamente de cada elemento del argumento de la sumatoria en esta última igualdad:  $B_x(t) = P_x^f(t) F_x(t)$ .

Separamos los nacimientos por sexo con un índice de masculinidad al nacer de 104 varones por cada cien niñas, con base en la evidencia empírica de los nacimientos registrados en el país de 1985 a 2010 (Partida, 2017: 175). Una vez separados los nacimientos por sexo, mediante una ecuación similar a (5.4) se obtienen los sobrevivientes —de edad cumplida cero— al final del año:

$$P_0(t+1) = B(t) S_b(t) \quad (5.8)$$

con

$$S_b(t) = SM_b(t) \times SE_b(t) = \left[ \frac{L_0(t)}{\ell_0} \right] \times \exp \left\{ \frac{1}{2} \eta_b(t) \right\} \quad (5.5')$$

donde  $\ell_0$  es el efectivo inicial o r adix de la tabla de vida,  $\eta_b(t)$  es la tasa de migración neta para los nacidos durante el año, y —en tanto promedio anual per cápita— se toma solo la mitad, porque es el tiempo promedio de exposición a la movilidad territorial.

Excepto las tasas de fecundidad, que se refieren específicamente a las mujeres, las de mortalidad y de migración internacional, así como las funciones de supervivencia, corresponden a cada sexo por separado.

Si  $Q_x(t) = 1 - SM_x(t)$  es la probabilidad de fallecer para la cohorte de edad cumplida  $x$  al inicio del año  $t$ , o bien, nacida durante el año, las defunciones para esa generación particular, por semejanza a la cohorte de la tabla de vida, son:

$$D_x(t) = P_x(t) \times Q_x(t) \quad \text{o} \quad D_b(t) = B(t) \times Q_b(t) \quad (5.9)$$

Los emigrantes reducen el efectivo de habitantes, igual que las defunciones; así, por similitud con la mortalidad, su monto es:

$$\tilde{E}_x(t) = P_x(t) \times [1 - \exp \{-\varepsilon_x(t)\}] \quad \text{o} \quad \tilde{E}_b(t) = B(t) \times [1 - \exp \{-\varepsilon_b(t)\}] \quad (5.10)$$

ya como los inmigrantes acrecientan la población, asimilando la inmigración al crecimiento demográfico exponencial:

$$\tilde{I}_x(t) = P_x(t) \times [\exp \{\iota_x(t)\} - 1] \quad \text{o} \quad \tilde{I}_b(t) = B(t) \times [\exp \{\iota_b(t)\} - 1] \quad (5.10')$$

donde ahora el símbolo “ $\sim$ ” indica que se encuentran sobrevivientes al final del año, con lo cual, es necesario agregar las muertes de ellos para satisfacer la ecuación compensadora o del balance demográfico.

La incorporación de la mortalidad la hacemos con un criterio similar al del promedio de los métodos prospectivo y retrospectivo de la estimación residual de la migración neta (Moultrie et al, 2013: 387):

$$U_x(t) = \tilde{U}_x \times \left[ \frac{1 + SM_x(t)}{2 \times SM_x(t)} \right] \quad \text{o} \quad U_b(t) = \tilde{U}_b \times \left[ \frac{1 + SM_b(t)}{2 \times SM_b(t)} \right] \quad (5.11)$$

donde  $U$  pueden ser emigrantes ( $E$ ) o inmigrantes ( $I$ ).

## 5.2 El método multiregional de los componentes demográficos

El primer paso consiste de incorporar la supervivencia a la mortalidad y dejar momentáneamente de lado la migración interna e internacional. Para cada entidad federativa  $i$ , igual que en (5.1):

$$\tilde{P}_{x+1}^i(t+1) = P_x^i(t) \times SM_x^i(t) \quad \text{o} \quad \tilde{P}_0^i(t+1) = B^i(t) \times SM_b^i(t) \quad (5.12)$$

donde  $SM_x^i(t)$  se calcula como (5.2) o (5.5') con las tasas de mortalidad proyectadas para el estado  $i$ .

Se requiere que las poblaciones en (5.12) satisfagan los totales nacionales previamente proyectados, es decir,

$$\tilde{P}_{x+1}(t+1) = \sum_{i=1}^{32} \tilde{P}_{x+1}^i(t+1) \quad (5.13)$$

No obstante, como en la proyección de la mortalidad no se impuso condición alguna para que se satisficiera la ecuación anterior, para cumplir con esta última igualdad, se multiplicaron todas las probabilidades de las entidades federativas, para cada cohorte y sexo por separado, por el factor:

$$k_x(t) = \frac{\tilde{P}_{x+1}(t+1)}{\sum_{i=1}^{32} \tilde{P}_{x+1}^i(t+1)}$$

Las nuevas probabilidades perspectivas de supervivencia  $\widehat{SM}_x^i(t) = k_x(t) \times SM_x^i(t)$ , al incorporarlas en (5.13):

$$\tilde{P}_{x+1}^i(t+1) = P_x^i(t) \times \widehat{SM}_x^i(t) \quad \text{o} \quad \tilde{P}_0^i(t+1) = B^i(t) \times \widehat{SM}_b^i(t) \quad (5.12')$$

satisfacen (5.13).

En el siguiente paso, se introduce la migración interna mediante las probabilidades de transición  $S_x^{ij}(t)$  definidas en (3.1) en el capítulo 3. Se dispone de estas probabilidades para grupos quinquenales de edad, y nuestro objetivo es proyectar la población por edades simples e intervalos anuales.

Las tasas obtenidas mediante (3.8) son un promedio anual per cápita, las cuales se refieren al año  $t$  del horizonte de las proyecciones, pero siguen siendo para grupos quinquenales de edad. Como es impropio ajustar el modelo paramétrico de Rogers y Castro (1981) a los 992 flujos migratorios para tener tasas por edades simples, supondremos que las tasas de cualquier grupo etario quinquenal son iguales para las cinco edades simples comprendidas, es decir,

$$\varepsilon_y^{ij} = \varepsilon_x^{ij} \quad \text{para } x \leq y \leq x+4$$

Ahora, la matriz de tasas es, según (3.3):

$$\boldsymbol{\varepsilon}_x(t) = \begin{pmatrix} \varepsilon_x^{1,1}(t) & -\varepsilon_x^{2,1}(t) & \cdots & -\varepsilon_x^{32,1}(t) \\ -\varepsilon_x^{1,2}(t) & \varepsilon_x^{2,2}(t) & \cdots & -\varepsilon_x^{32,2}(t) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -\varepsilon_x^{1,32}(t) & -\varepsilon_x^{2,32}(t) & \cdots & -\varepsilon_x^{32,32}(t) \end{pmatrix} \quad \text{con} \quad \varepsilon_x^{i,i}(t) = \sum_{j \neq i} \varepsilon_x^{i,i}(t) \quad (5.14)$$

y la de probabilidades de transición entre los estados es, de acuerdo con (3.2):

$$\mathbf{S}_x = \exp \{-\boldsymbol{\varepsilon}_x(t)\} \quad \text{o} \quad \mathbf{S}_b = \exp \{-\boldsymbol{\varepsilon}_0(t)\} \quad (5.15)$$

cuya estructura es:

$$\mathbf{S}_x(t) = \begin{pmatrix} S_x^{1,1}(t) & S_x^{2,1}(t) & \cdots & S_x^{32,1}(t) \\ S_x^{1,2}(t) & S_x^{2,2}(t) & \cdots & S_x^{32,2}(t) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ S_x^{1,32}(t) & S_x^{2,32}(t) & \cdots & S_x^{32,32}(t) \end{pmatrix} \quad (5.16)$$

La población superviviente a la mortalidad, repartida espacialmente por migración interna es:

$$\widehat{P}_{x+1}^j(t+1) = \sum_{i=1}^{32} \widetilde{P}_{x+1}^i(t) \times S_x^{ij}(t) \quad j = 1, 2, \dots, 32 \quad (5.17)$$

Si definimos el vector columna de población como:

$$\mathbf{P}_x(t+1) = \begin{pmatrix} P_x^1(t+1) \\ P_x^2(t+1) \\ \vdots \\ P_x^{32}(t+1) \end{pmatrix}$$

en la operación matricial:

$$\widehat{\mathbf{P}}_{x+1}(t+1) = \mathbf{S}_x(t) \times \widetilde{\mathbf{P}}_{x+1}(t+1) \quad (5.18)$$

cada renglón satisface la ecuación correspondiente a cada entidad federativa en (5.17). Como las 32 columnas de  $\mathbf{S}_x(t)$  suman uno, porque las columnas de  $\boldsymbol{\varepsilon}_x(t)$  suman cero, los modelos (5.17) o (5.18) solo distribuyen estatalmente a la población, pero no la hacen crecer.

Igual que en el caso nacional, las defunciones se calculan como:

$$D_x^i(t) = P_x^i(t) \times \widehat{Q}_x^i(t) \quad \text{o} \quad D_b^i(t) = B^i(t) \times \widehat{Q}_b^i(t) \quad (5.19)$$

y los inmigrantes y los emigrantes como:

$$II_x^j(t) = \sum_{i \neq j} \widetilde{P}_{x+1}^i(t+1) \times S_x^{ij}(t) \quad EI_x^i(t) = \sum_{j \neq i} \widetilde{P}_{x+1}^j(t+1) \times S_x^{ij}(t) \quad (5.20)$$

La incorporación de la migración internacional se hizo de manera distinta al caso nacional, pues dado que entradas de otros países y salidas hacia otras naciones son de monto escaso en la mayoría de las entidades federativas, las tasas siguen, por lo general, un comportamiento etario errático. La movilidad con el exterior se hizo repartiendo las cifras nacionales entre las entidades federativas, suponiendo que las participaciones estatales, derivadas de la pregunta de residencia cinco años antes de la encuesta intercensal de 2015 para los inmigrantes, y del módulo de migración internacional del censo de población de 2010 para los emigrantes, se mantendrían constantes a lo largo del horizonte de la proyección.<sup>1</sup> La fracciones correspondientes a cada estado se reproducen en el cuadro 5.1.

Si  $\rho^i$  es la participación estatal de los inmigrantes y  $\theta^i$  las de los emigrantes, sus valores estatales son:

$$\widehat{IE}_x^i(t) = \rho^i \times \widehat{IE}_x(t) \quad \text{y} \quad \widehat{EE}_x^i(t) = \theta^i \times \widehat{EE}_x(t) \quad (5.21)$$

y la población definitiva a fin de año es:

$$P_{x+1}^j(t+1) = \widehat{P}_{x+1}^j(t+1) + \widehat{IE}_x^i(t) - \widehat{EE}_x^i(t) \quad (5.22)$$

La generación de nacimientos se hace igual que para el caso nacional:

$$B^i(t) = \sum_{x=15}^{49} \overline{P}_x^{i,f}(t) \times F_x^i(t) \quad (5.23)$$

donde:

$$\overline{P}_x^{i,f}(t) = \frac{P_x^{i,f}(t) + P_x^{i,f}(t+1)}{2} \quad (5.24)$$

y  $F_x^i(t)$  es la tasa de fecundidad para la edad cumplida  $x$  proyectada para la entidad federativa  $i$  en el año  $t$ .

La suma de los nacimientos estatales debe satisfacer el total del país:

$$B(t) = \sum_{i=1}^{32} B^i(t) \quad (5.25)$$

Similar a las probabilidades perspectiva de supervivencia, esta igualdad se logra con el factor de corrección:

$$k = \frac{B(t)}{\sum_{i=1}^{32} B^i(t)}$$

igual para todos los estados. Los nacimientos definitivos son:

$$\widetilde{B}^i(t) = k \times B^i(t)$$

<sup>1</sup>La encuesta intercensal, a diferencia de los cuestionarios ampliados (muestrales) de los censos de 2000 y 2010, no incluyó el módulo de migración internacional en su boleta.



los cuales se introducen en las ecuaciones respectivas para obtener a los menores de un año al final de cada año de la proyección.

Los nacimientos por edad de la madre definitivos se obtuvieron mediante asignación biproportional iterativa (véase el anexo A), donde los nacimientos nacionales por edad de la madre son los marginales renglón,  $\widetilde{B}^i(t)$  los marginales columna, y los nacimientos valorados como  $B_x^i(t) = \overline{P}_x^{i,f}(t) \times F_x^i(t)$  las celdas del arreglo inicial. Con los nacimientos resultantes  $\widetilde{B}_x^i(t)$  —que son los definitivos— y la población media femenina  $\overline{P}_x^{i,f}(t)$ , se obtienen las tasas de fecundidad definitivas:

$$F_x^i(t) = \frac{\widetilde{B}_x^i(t)}{\overline{P}_x^{i,f}(t)}$$

La construcción de las tablas de vida definitivas se construyeron a partir de las probabilidades de supervivencia  $\widehat{SM}_x^i(t)$  adaptadas a la mortalidad nacional. Dado que:

$$\widehat{L}_x = \widehat{SM}_b \prod_{y=0}^{x-1} \widehat{SM}_y$$

adoptando un rádix  $\ell_0$  unitario, se tiene la esperanza de vida al nacer asociada:

$$\widehat{e}_0 = \sum_{x=0}^{109} \widehat{L}_x = \widehat{SM}_b \sum_{x=0}^{109} \prod_{y=0}^{x-1} \widehat{SM}_y$$

Las tasas de mortalidad por edad, correspondientes a estas nuevas esperanzas de vida, se estimaron a partir de las inicialmente proyectadas, con el modelo de entropía de Keyfitz y Caswell (2005: 79–81). Se parte del supuesto que las tasas de mortalidad son modificadas por la misma constante en todas las edades, es decir, son  $\widehat{M}_x = M_x \times (1 + \delta)$ , donde  $M_x$  es la tasa de la proyección inicial y  $\delta$  se estima como

$$\delta = -\frac{\widehat{e}_0 - e_0}{H \times e_0} \tag{5.26}$$

con  $H$  la entropía de la mortalidad, que se evalúa como:

$$H = -\frac{\sum_{x=0}^{109} LL_x}{e_0}$$

La valoración del numerador es:

$$LL_x = a_x \times pp(x) + [1 - a_x] \times pp(x + 1)$$

con:

$$a_x = \frac{L_x - \ell_x}{d_x} \quad y \quad pp(x) = p(x) \times \ln \{p(x)\}$$

donde  $\ell_x$  los supervivientes a la edad exacta  $x$ ,  $d_x$  las defunciones de edad cumplida  $x$ , y  $p(x) = \ell_x/\ell_0$  la probabilidad de sobrevivir del nacimiento a la edad exacta  $x$ , todas estas funciones de la tabla de mortalidad.



# 6. Principales resultados de las proyecciones

## 6.1 La población nacional

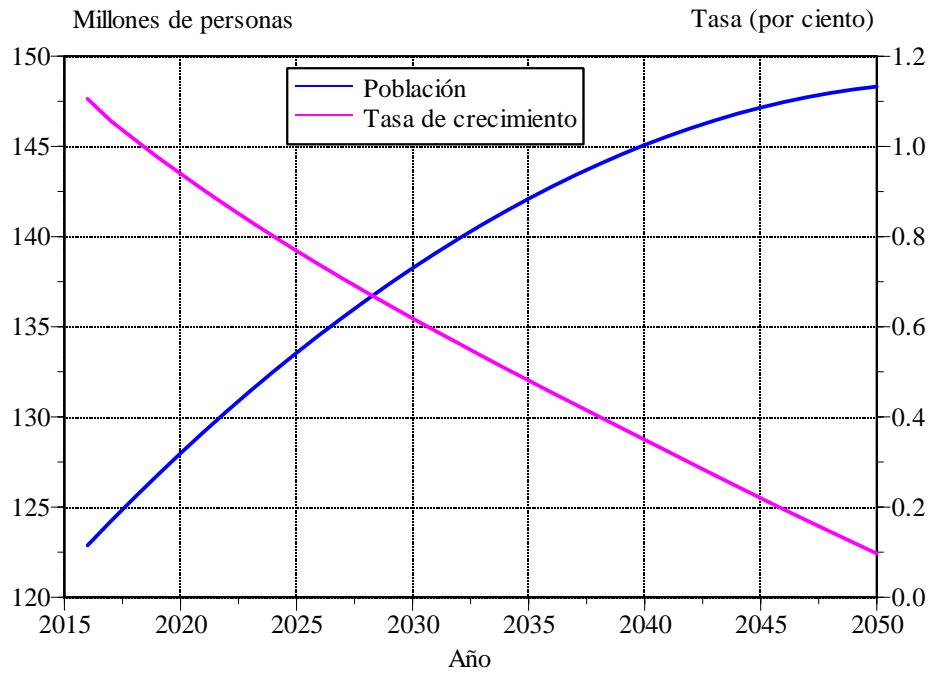
Si se cumplieran las premisas establecidas para la mortalidad, la fecundidad y la migración internacional, delineadas en los capítulos 1, 2 y 4, la población del país aumentaría de 122.7 millones de habitantes a mediados de 2016 a 127.8 en 2020, 138.1 en 2030 y 148.2 millones en 2050, según se aprecia en la gráfica 6.1. La tasa de crecimiento total, a su vez, descendería de 1.10% en 2016 a 0.94 en 2020, 0.62 en 2030 y 0.10% en 2050. La tasa media de crecimiento para el periodo de 35 años, que abarca el horizonte de la proyección, habría sido de 0.54%.

Las hipótesis que sirven de base para las proyecciones objeto de este documento, específicamente la convergencia de las tasas brutas de natalidad y mortalidad, que se mantendría a lo largo de los siete lustros de la proyección, señalan que la transición demográfica se encontrará en una fase avanzada a mediados del presente siglo. El paulatino envejecimiento de la estructura por edades seguirá propiciando un aumento gradual de la tasa bruta de mortalidad; la fecundidad por debajo del reemplazo generacional, por su parte, alentará el continuo descenso de la tasa bruta de natalidad, de tal suerte que poco después de 2050, no sólo se habrá completado la transición demográfica, sino que incluso el país experimentará una progresiva disminución de su población por crecimiento natural, fenómeno que ocurrirá por vez primera desde la culminación del periodo revolucionario (1910–1921), como se puede ver en la gráfica 6.2.

El comportamiento de las tasas brutas de inmigración y emigración, en la gráfica 6.3, pone de manifiesto los riesgos que se tienen al predecir, de manera determinista o aleatoria, un fenómeno tan complejo como la migración internacional. La tendencia decreciente sostenida de la inmigración indica, de alguna manera, que de 2016 a 2050 no habría retornos masivos de mexicanos desde Estados Unidos, como ocurriera en los años treinta del siglo pasado o en el periodo 2008–2013, ni llegadas cuantiosas de extranjeros a México, procedentes de naciones distintas al vecino del norte.

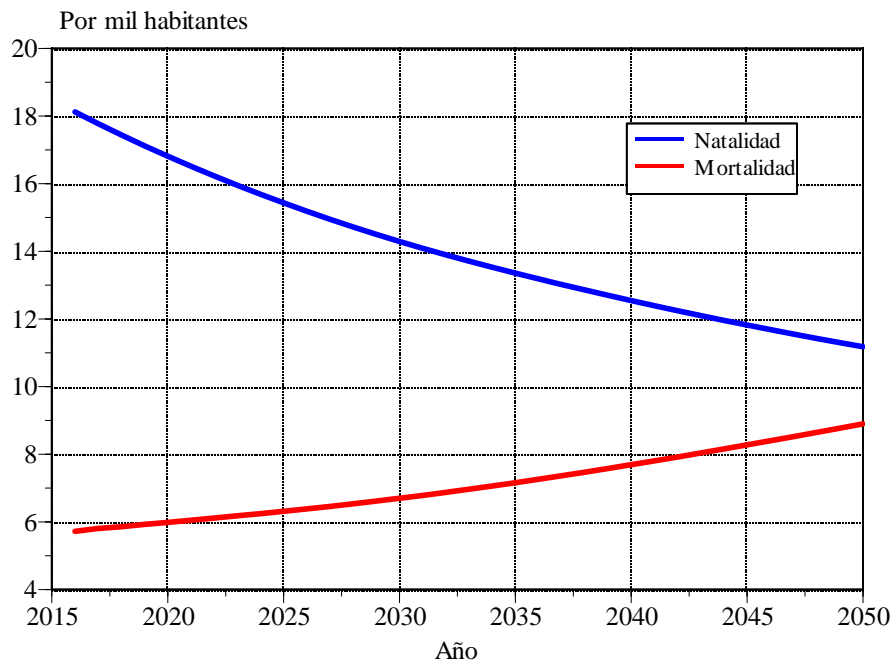
La intensidad de la emigración, por su parte, se mantendría en ascenso hasta 2022, desprendido del repunte del éxodo de mexicanos —y extranjeros residentes en México— hacia Estados Unidos, captado por la *American Community Survey* durante el trienio 2014–2016. Después de una leve disminución en la tasa bruta, el descenso se aceleraría a partir de 2025.

Gráfica 6.1. Población media y tasa de crecimiento, 2016-2050



Fuente: Estimaciones con base en los capítulos 1, 2 y 4.

Gráfica 6.2. Tasas brutas de natalidad y mortalidad, 2016-2050



Fuente: Estimaciones con base en los capítulos 1 y 2.

Es difícil imaginar el futuro de las condiciones económicas y políticas que concretaran las tendencias de la migración delineadas en la gráfica 6.3, pero la misma complejidad sería intrínseca a cualquier otro pronóstico. Hace algunos años, Tuirán *et al* (2000a y 2000b) implementaron un modelo econométrico, para identificar el efecto de algunas variables económicas,<sup>1</sup> que replicaba la trayectoria de las tasas de emigración de México hacia Estados Unidos de 1970 a 1996. Una vez obtenidos los coeficientes de la regresión, los autores hipotetizaron sobre la evolución futura de esos factores socioeconómicos, estableciendo escenarios de economía mexicana *alta*, que consiste de un alto y sostenido crecimiento del PIB mexicano, y de la convergencia en las tasas de desempleo y el pago por hora en la manufactura; y de economía mexicana *baja*, donde se presume un escaso aumento positivo del PIB y divergencia en las variables de empleo; ambas premisas se ligan a su vez a situaciones donde las remesas per cápita se mantienen constantes o en crecimiento, resultando cuatro alternativas. Es clara la arbitrariedad de los supuestos del futuro económico, ya que los factores socioeconómicos (variables independientes de la regresión) no fueron modelados.

Tan solo para visualizar nuestras proyecciones, sobrepusimos a las tasas de emigración de 2015, las previsiones de Tuirán *et al* hasta 2030, y las mantuvimos constantes durante 2030–2050. Nuestro pronóstico quedaría por encima del límite superior del intervalo de predicción (de las cuatro alternativas de Tuirán *et al*) hasta 2028, y después caería dentro de las cotas de ese intervalo. Sin embargo, de acuerdo a nuestras previsiones, la intensidad de 2022 sería 40.2% de la registrada de 1994 a 2004, la más alta observada en la historia de la frontera común de México y Estados Unidos.

La diferencia entre natalidad y mortalidad pauta el denominado *crecimiento natural*, mientras los elementos de la movilidad territorial originan la migración neta; las tasas brutas de ambos componentes se ilustran en la gráfica 6.4, y su suma, que determina la tasa total de acrecentamiento poblacional a que nos referimos arriba, se incluye en la gráfica 6.1.

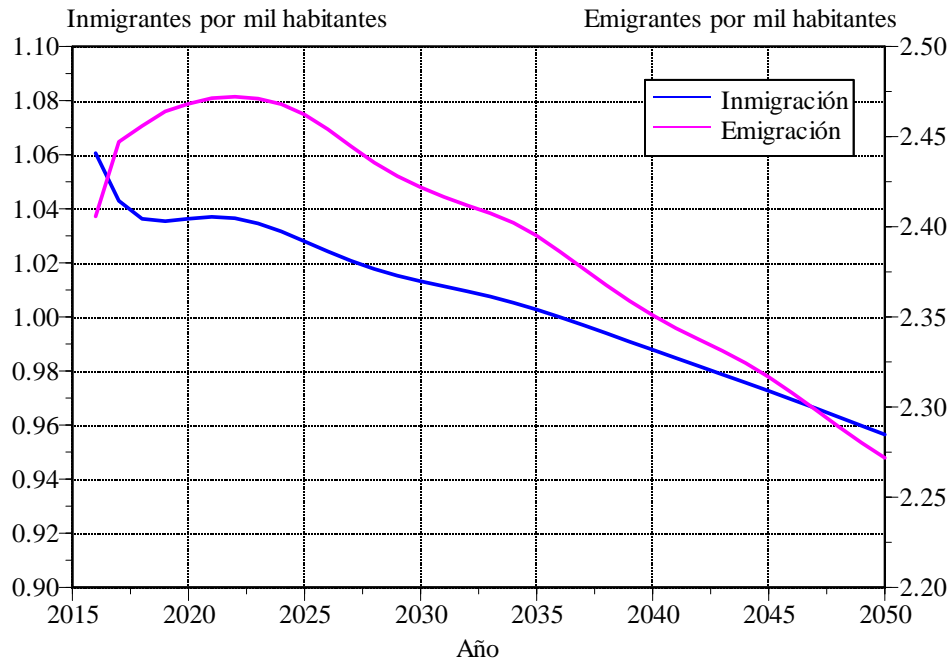
Indicadores más refinados del comportamiento demográfico, son aquellos que dejan de lado el efecto perturbador que tiene la composición etaria de la población en las tasas brutas. En la mortalidad, la esperanza de vida es indudablemente la mejor medida resumen del nivel del fenómeno. Asimismo, la tasa de mortalidad infantil, se juzga también fiel indicador del nivel de bienestar, porque el infante en su primer año de vida —sobre todo en las primeras horas y días— requiere de cuidados y alimentación, que solo se le pueden proveer si hay recursos suficientes en el hogar y así poder garantizarle su supervivencia.

En la gráfica 6.5, se reproducen las tasas de mortalidad para los años extremos del horizonte de proyección; mientras en la gráfica 6.6 se presentan las esperanzas de vida al nacimiento por sexo y la tasa de mortalidad infantil. La vida media se acrecentaría casi en la misma cuantía en ambos sexos al cabo de los 34 años: 4.7 años en los hombres (de 72.0 en 2016 a 76.7 años en 2050) y 4.9 años en las mujeres (de 77.7 a 82.6 años, respectivamente). Los aumentos en la esperanza de vida pueden parecer optimistas, dado el nulo aumento en el decenio 2005–2015; no obstante, conllevan reducciones en el riesgo medio de fallecer, de

---

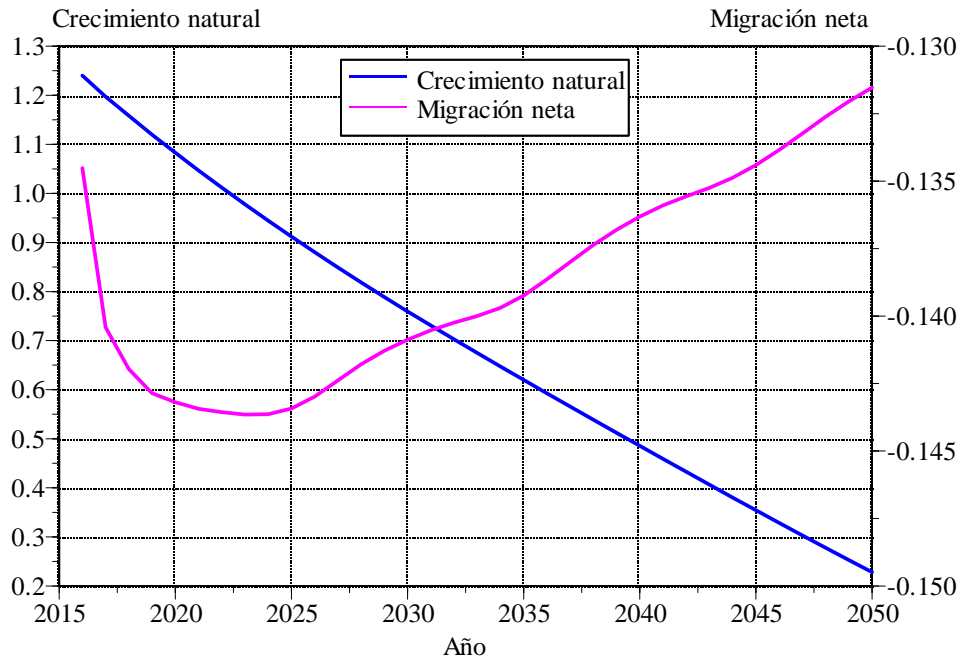
<sup>1</sup>Las remesas per cápita de Estados Unidos a México, la tasa de incremento anual real del producto interno bruto (PIB) mexicano, y los diferenciales entre ambas naciones en las tasas de desempleo y el pago por hora en el sector manufacturero.

Gráfica 6.3. Tasas brutas de inmigración y emigración internacional 2016-2050



Fuente: Estimaciones con base en los capítulos 1, 2 y 4.

Gráfica 6.4. Tasas de los componentes del crecimiento poblacional, 2016-2050 (Por cien)



Fuente: Estimaciones con base en los capítulos 1, 2 y 4.

29.7% en hombres y 35.8% en mujeres, de 2015 a 2050, significativamente inferiores a 57.1 y 62.6% del periodo 1970–2005, de igual temporalidad que el horizonte de la proyección, previo a 2005–2015, cuando en este último se observó un aumento de 5.2% en los hombres y de 1.9% en las mujeres.

El viraje a incremento en el riesgo medio de fallecer, se concentró en la juventud y adultez temprana (15 a 44 años de edad); mientras el descenso en la mortalidad infantil se ha mantenido desde la culminación de la Revolución Mexicana en 1921, incluso de 2005 a 2015, salvo contados años donde aumentó. Así, la disminución de 68.7%, al pasar de 142 decesos por cada diez mil nacimientos en 2015 a 44 en 2050, es inferior al observado en los 35 años previos al horizonte de la proyección, que fue de 74.1% en 2015 a partir de 547 decesos por cada diez mil nacimientos en 1980.

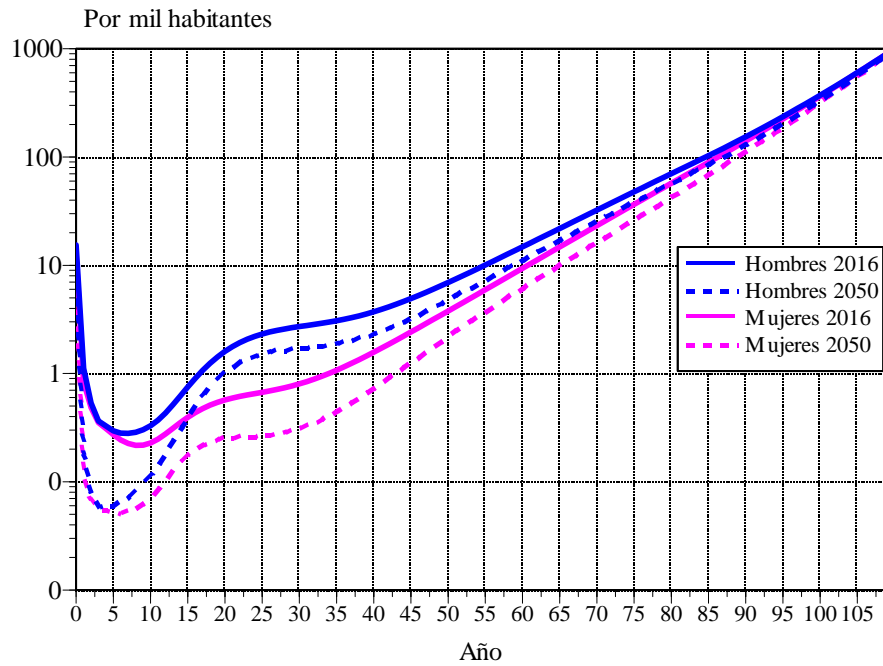
Las disminuciones previstas en el riesgo general de mortalidad y del primer año de vida para 2050, sin embargo, no alcanzarían a los valores máximo y mínimo, respectivamente, registrados en años recientes a nivel mundial: la esperanza de vida al nacer en Japón de 81.0 años para los hombres 86.8 años para las mujeres en 2016; y 20 decesos por cada diez mil nacimientos en Japón también en 2016.

El freno en la velocidad de descenso del nivel de la fecundidad, a partir de 1995, se mantiene en nuestras previsiones, según se aprecia en la evolución de la tasa global de fecundidad (TGF), en la gráfica 6.7. Al conjugarse con la mortalidad proyectada, el reemplazo inter generacional (una hija por mujer a lo largo de su periodo fértil) tendría lugar en 2019; si incorporamos la migración internacional, habría ocurrido en 2016. La TGF de 2050 pudiera parecer baja, sobre todo por el distanciamiento del nivel de reemplazo. Al respecto, conviene mencionar que algunos de los países desarrollados han experimentado reducciones similares en intervalos de tiempo más cortos. Por ejemplo, a Suecia le tomó 28 años reducir la TGF de 2.27 hijos en 1967 a 1.73 en 1995, mientras a México le tomaría 35 años bajarla de 2.18 en 2015 a 1.72 en 2050. En la gráfica 6.8, se advierte un cambio apenas perceptible en la composición etaria de la fecundidad en el futuro, manteniendo la preferencia por completar la descendencia deseada al inicio de la vida en pareja.

La confluencia particular de la mortalidad, la fecundidad y la migración traerán consigo una continua transformación de la estructura por edad, como se puede ver en la serie de pirámides de población de la gráfica 6.9. Durante el horizonte de la proyección, la participación relativa de los niños y adolescentes (0 a 14 años) se habrá reducido de 27.1% en 2016, a 25.7% en 2020, 22.4% en 2030 y 17.7% en 2050; y la de jóvenes y adultos jóvenes y maduros (15 a 59 años) aumentará levemente de 62.7% en 2016 a 62.9% en 2020, para descender a 62.6% en 2030 y 59.3% en 2050. En cambio, los adultos mayores (60 años o más) abarcarán cada vez mayores proporciones de la población total: 10.2% en 2016, 11.4% en 2020, 15.0% en 2030 y 22.9% en 2050. En la gráfica 6.10, se detalla el curso de esas proporciones al cabo del horizonte de la proyección.

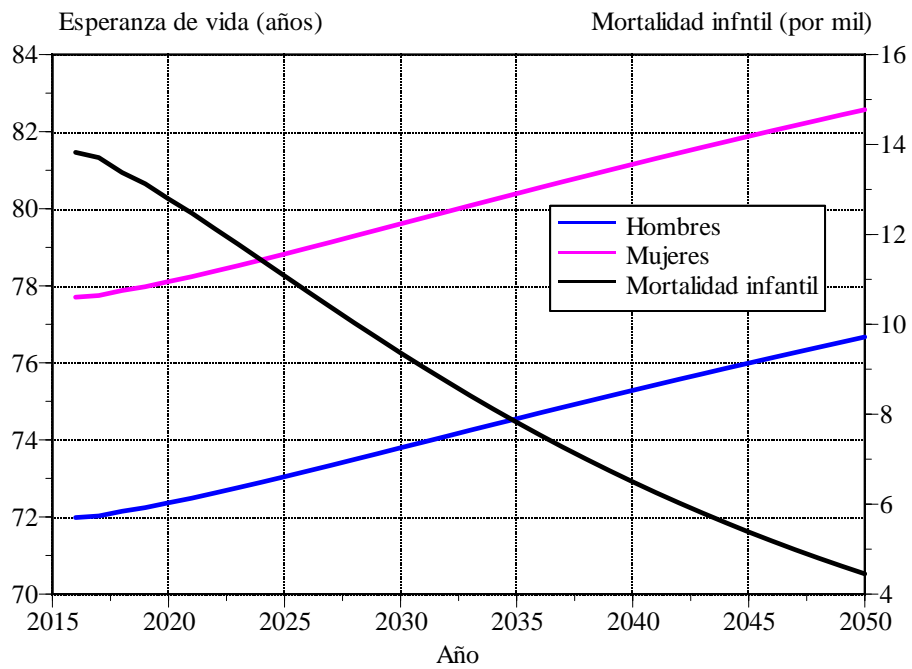
Consecuencia directa de ese paulatino envejecimiento de la población, es el aumento gradual en la edad media de la población de 30.4 años en 2016 a 31.4 en 2020, 34.2 en 2030 y 39.5 años en 2050. Indicadores, acaso más contundentes del envejecimiento, son los índices de dependencia demográfica (suma de menores de 15 años y de 60 años o más, dividida por la población de 15 a 59 años de edad, y multiplicada por cien) y de envejecimiento (cociente que resulta de dividir las personas de 60 años o más entre los menores de 15

Gráfica 6.5. Tasas de mortalidad por edad y sexo, 2016 y 2050



Fuente: Estimaciones con base en el capítulo 1.

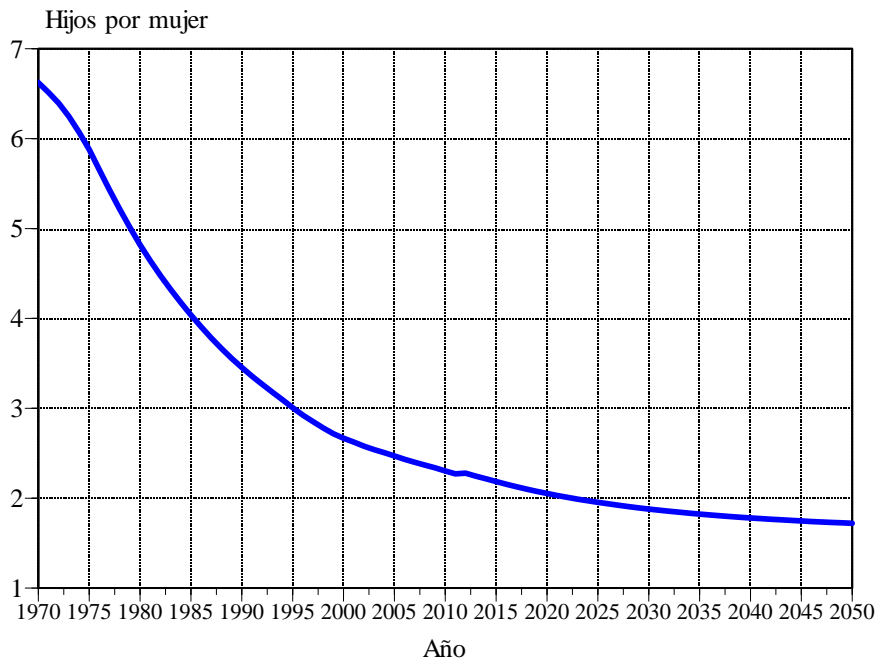
Gráfica 6.6. Esperanzas de vida por sexo y tasa de mortalidad infantil, 2016-2050



Fuente: Estimaciones con base en el capítulo 1.

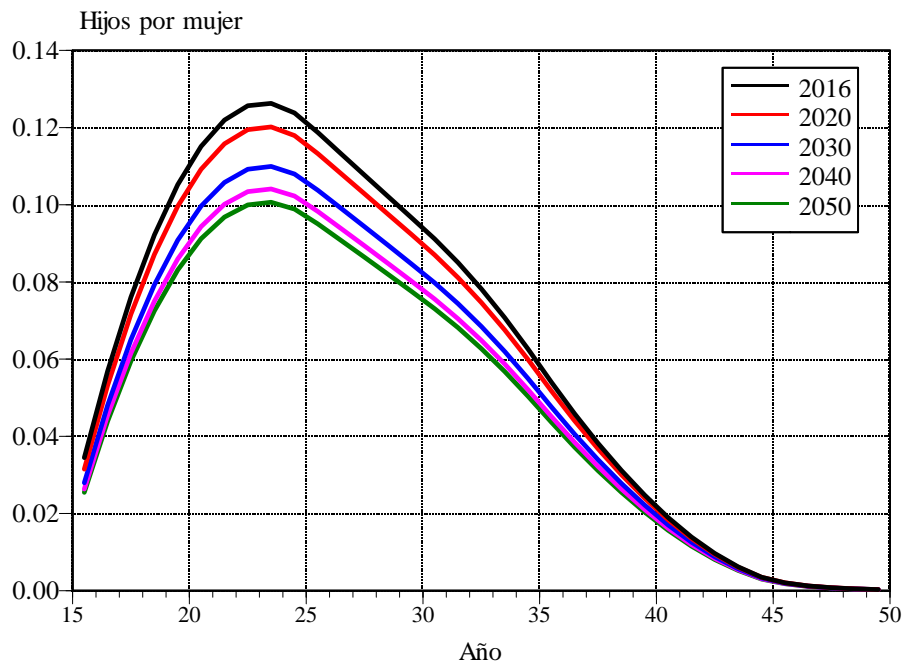


Gráfica 6.7. Tasa global de fecundidad, 1970-2050



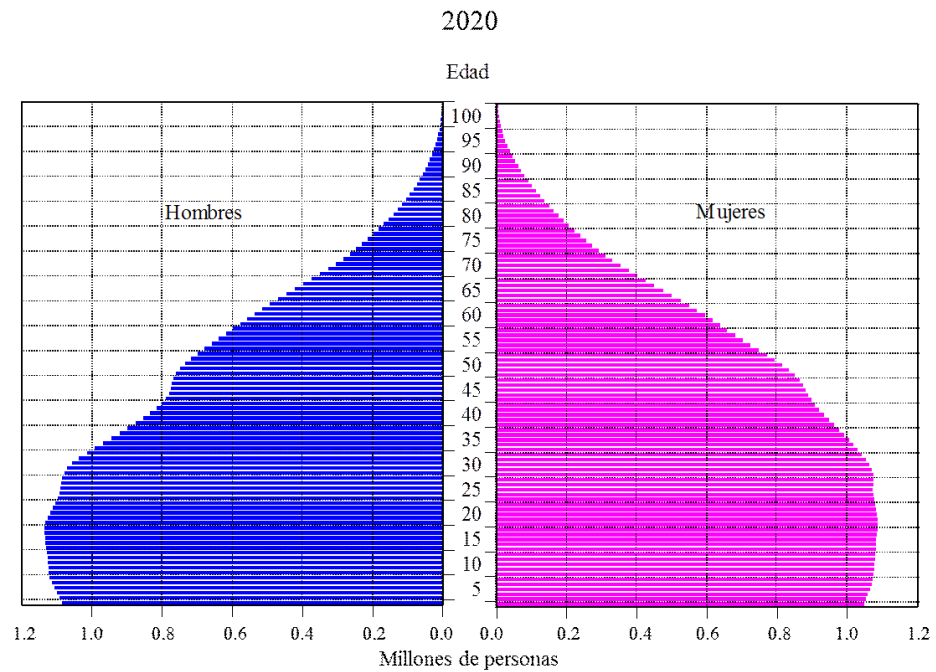
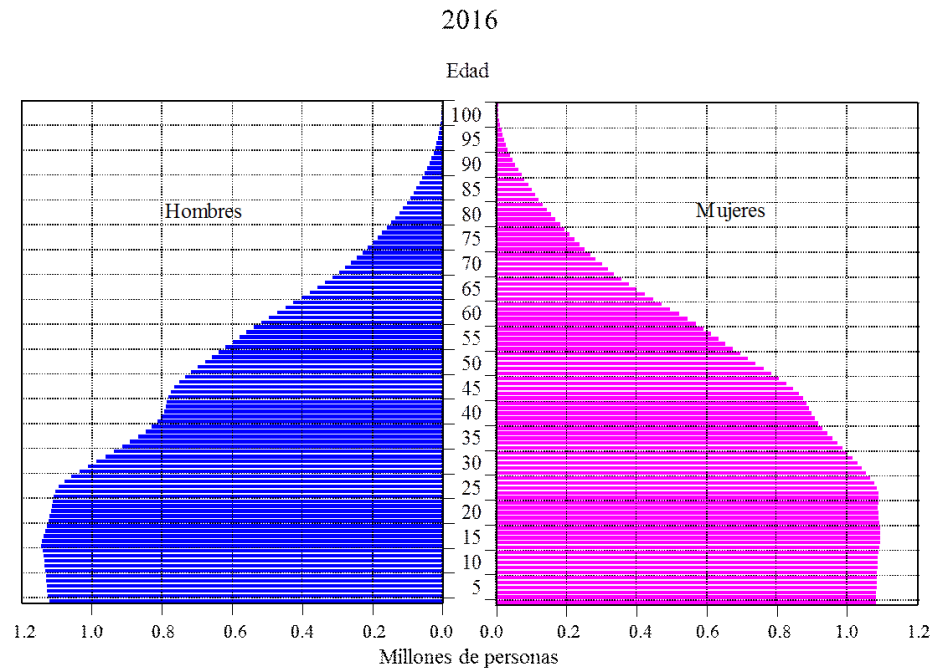
Fuente: Estimaciones con base en el capítulo 2.

Gráfica 6.8. Tasas de fecundidad por edad para años seleccionados

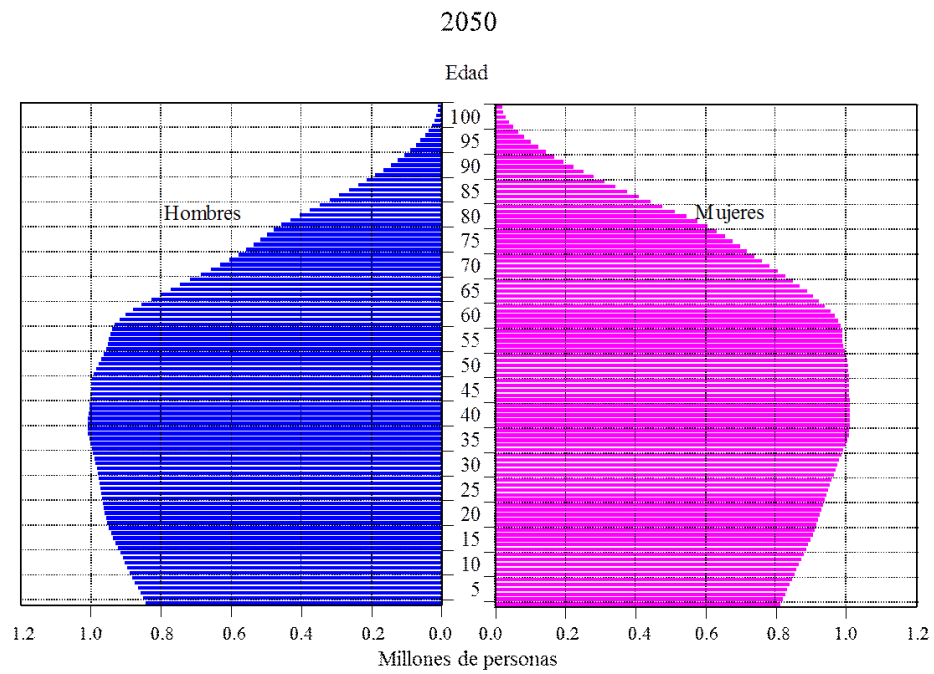
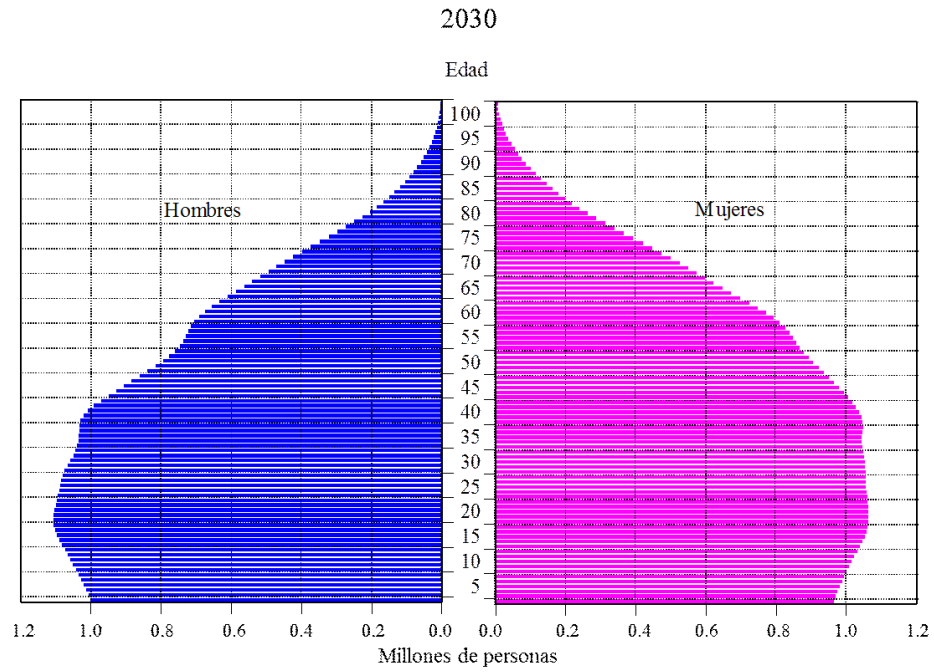


Fuente: Estimaciones con base en el capítulo 2.

Gráfica 6.9. Pirámides de población, 2016-2050

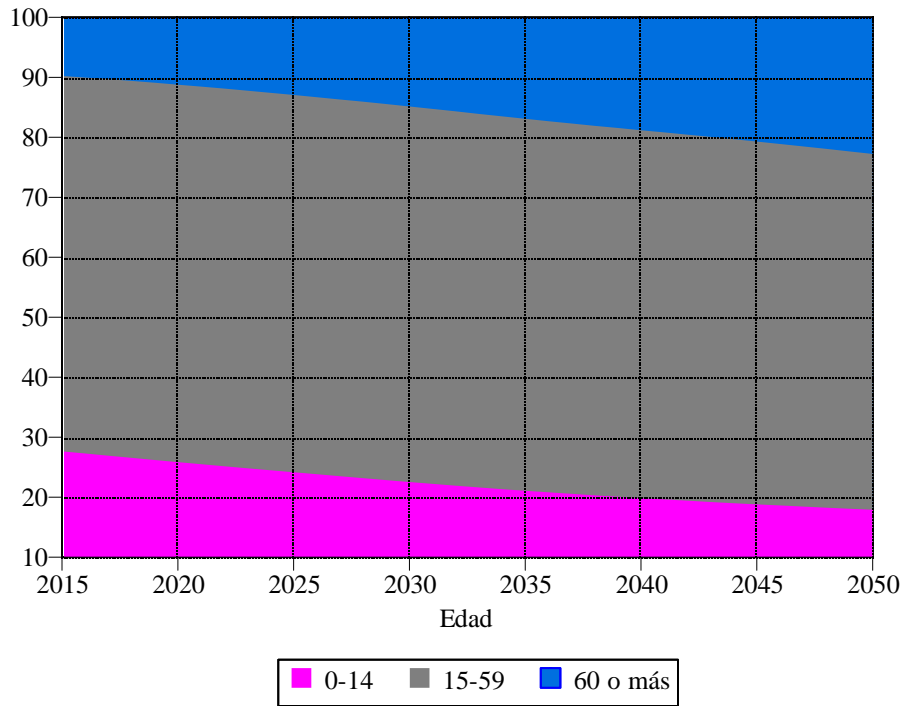


Gráfica 6.9  
(Concluye)

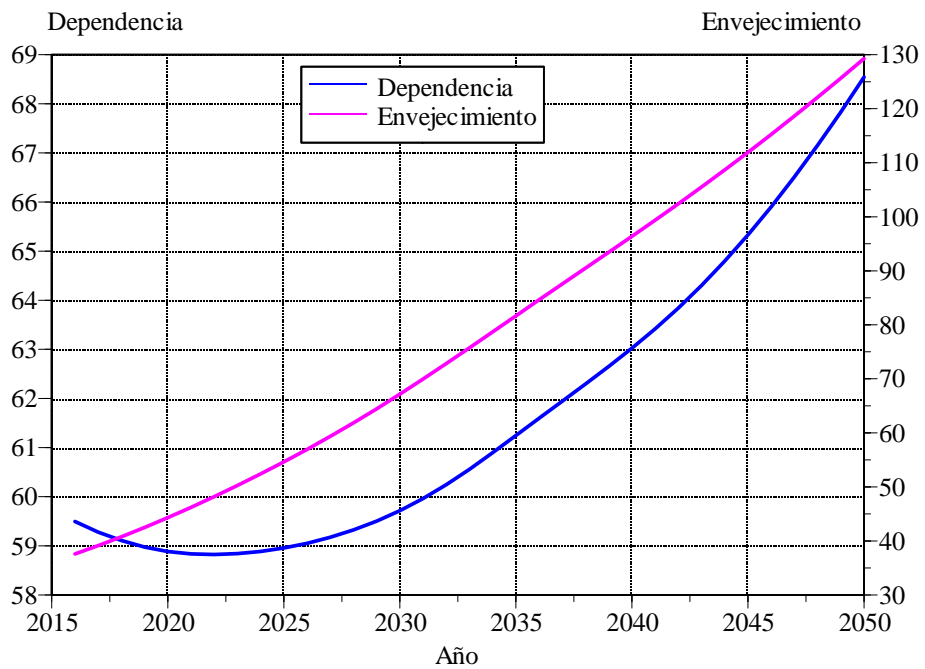


Fuente: Estimaciones con base los capítulos 1, 2 y 4.

Gráfica 6.10. Participación de tres grandes grupos de edad en la población total, 2015-2050

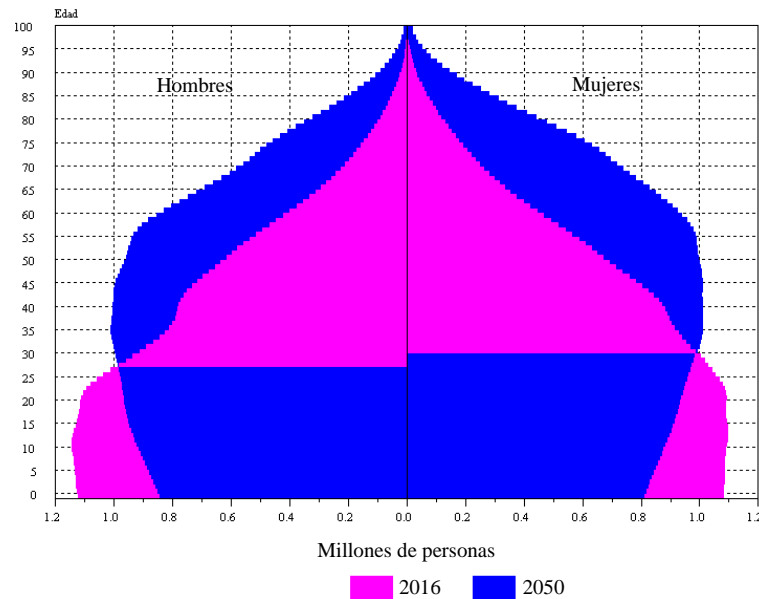


Gráfica 6.11. Índices de dependencia demográfica y de envejecimiento, 2016-2050



Fuente: Estimaciones con base en los capítulos 1, 2 y 4.

Gráfica 6.12. Pirámides de población, 2016 y 2050.



Fuente: Estimaciones con base los capítulos 1, 2 y 4.

años y multiplicado por cien). La secuencia temporal de ambos índices se reproduce en la gráfica 6.11. El franco ascenso del índice de envejecimiento es evidente, pues aumentaría casi 3.4 veces al cabo de los 35 años de la proyección. Si bien no de magnitud tan notable, el índice de dependencia aumentaría de manera importante, pues mientras los adultos mayores contribuirían con 21.5 puntos porcentuales al aumento de 2016 a 2050, los niños y adolescentes lo reducirían en 13.4 puntos, resultando un acrecentamiento global de 8.2 puntos porcentuales.

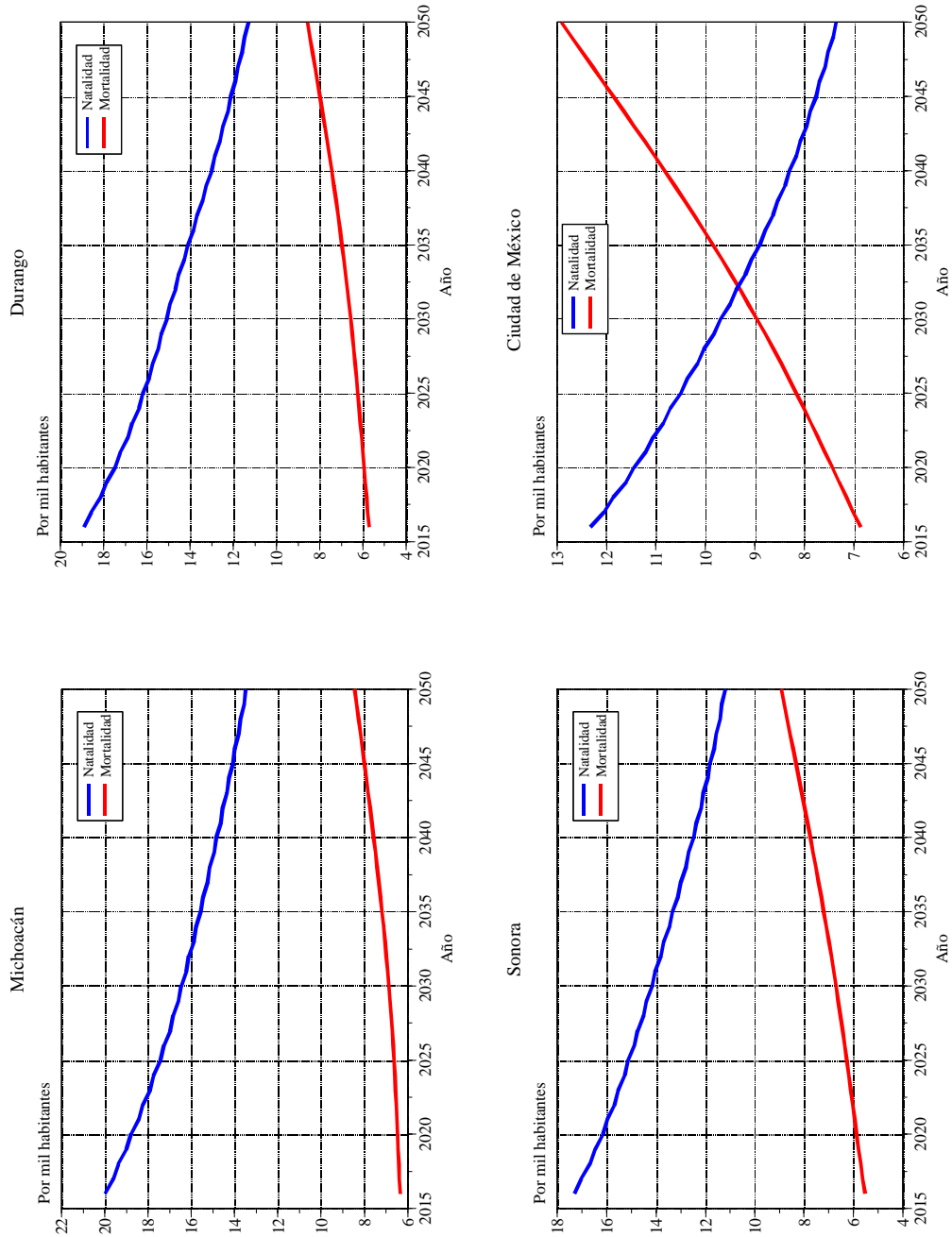
El envejecimiento de la población se puede ver también en las pirámides de edades contrastadas en la gráfica 6.12: la pérdida neta de 6.8 millones de niños y jóvenes menores de quince años, se ve algo más que equiparada con la ganancia de 7.08 millones en las primeras ocho edades de la senectud (60–67 años); o bien, la reducción de 3.25 millones en las primeras catorce edades laborales (15–28 años) se compensa con un incremento de magnitud similar (3.43 millones) en las siguientes catorce edades (29–42 años).

## 6.2 La población estatal

Las hipótesis que sirven de base para estas nuevas proyecciones, señalan que la transición demográfica de todas las entidades federativas estará próxima a completarse al final del horizonte de la proyección, como se puede ver en la gráfica 6.13, donde se presentan los cuatro estados que ejemplifican mejor las distintas etapas del proceso.

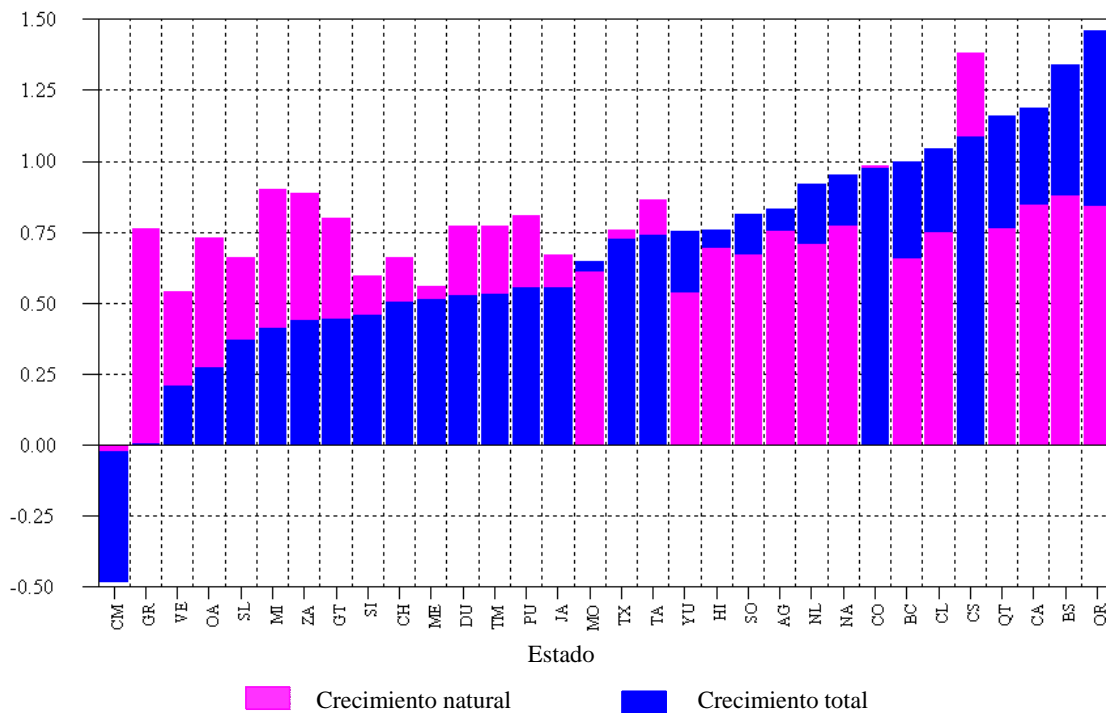
Los cambios previstos en la fecundidad, la mortalidad y la migración permiten anticipar que la población de todas las entidades federativas, excepto la Ciudad de México, aumentará al final la proyección. El Estado de México, el más poblado del país en 2016,

Gráfica 6.13. Transición demográfica para cuatro estados, 2016-2050



Fuente: Estimaciones con base los capítulos 1, 2.

Gráfica 6.14. Tasas medias anuales de crecimiento natural y total por estado, 2016-2050.



mantendrá la primacía durante los siete lustros, al pasar de 16.7 millones de habitantes en 2016 a 19.9 millones en 2050. El incremento de más de tres millones de personas —el mayor entre las entidades federativas— representará 12.5% del aumento de 25.5 millones esperado para todo el país, Chiapas aportará 2.4 millones o 9.5% y Nuevo León 1.9 millones o 7.6%. En el lado opuesto, la pérdida de 1.3 millones en la Ciudad de México descenderá en 5.3% el total nacional.

En términos relativos, el mayor crecimiento se prevé para Quintana Roo, Baja California Sur, Campeche y Querétaro, cuya población al final del horizonte de la proyección sería 63.9, 57.5, 49.7 y 48.2%, respectivamente, superior que al inicio. El aumento anticipado para la población, implica tasas de crecimiento medio anual de 1.45, 1.34, 1.19 y 1.16%, respectivamente, como se puede ver en la gráfica 6.14.<sup>2</sup>

Excepto la Ciudad de México, los habitantes de los restantes estados serán más en 2050 que en 2016, pero no todos se mantendrán en continuo crecimiento a lo largo de la proyección. Además de Ciudad de México que decrecerá en todos los años; Guerrero comenzará a disminuir en 2034; Veracruz en 2041; Oaxaca desde 2047; Estado de México iniciando 2048; Guanajuato y San Luis Potosí a partir de 2049; y Chihuahua en 2050.

Una visión de largo plazo del crecimiento natural y la migración neta total —adición de la interna y la internacional— se tiene en la gráfica 6.14. Mientras en la Ciudad de México, la mayor mortalidad que la natalidad, y la emigración que la inmigración, se

<sup>2</sup>Véase el anexo C para el significado de los acrónimos de las entidades federativas.

traducen ambas restas en tasas negativas. En el resto de los estados, cuando la barra fucsia está por encima de la azul, indica que la diferencia de alturas es la pérdida neta, promedio, por migración; cuando la azul está arriba de la fucsia, el distanciamiento es la ganancia neta por migración.

Se advierte que en trece estados, en promedio, la mayor inmigración que emigración acrecentó el crecimiento natural, mientras en los restantes diecisiete, además de Ciudad de México y Guerrero, lo contrajo.

La esperanza de vida al nacer, igual que para el conjunto del país, se incrementaría al cabo de los siete lustros en todos los estados, estrechándose ligeramente el intervalo de variación: en los hombres de 3.5 años entre Guerrero (69.7 años) y Ciudad de México (73.1 años) en 2016 a 1.7 años en los mismos estados (75.6 y 77.3 años, respectivamente) en 2050; y entre las mismas entidades federativas en mujeres, de 3.3 años entre Guerrero (75.7 años) y Ciudad de México (79.0 años) en 2016 a 1.7 años (81.6 y 83.3 años, respectivamente) al final de la proyección. Estas tendencias se pueden ver, para cuatro entidades federativas seleccionadas, en la gráfica 6.15.

Los aumentos en la esperanza de vida llevan implícitos ciertos porcentajes de reducción global del riesgo de morir, igual en todas las edades, los cuales se reproducen en la gráfica 6.16.<sup>3</sup> En todos los estados, los decrementos son mayores en las mujeres. En los varones, destacan Campeche, Chiapas, Guerrero, Oaxaca, Puebla, Veracruz y Yucatán en los hombres, con disminuciones por encima de 30%; y en las féminas, Chiapas, Guerrero, Michoacán, Morelos, Oaxaca, San Luis Potosí y Veracruz con reducciones de 36% o más.

La paulatina contracción del rango de variación de las esperanzas de vida estatales se puede ver también de la manera siguiente. Si se calcula una regresión lineal simple de mínimos cuadrados, tomando la vida media de 2016 como la variable independiente y la de 2050 como la variable dependiente, la inclinación de 0.507 indica que la brecha que separa a los estados, en cuanto a la esperanza de vida de ambos sexos, se habría reducido al final del horizonte de la proyección la mitad (49.3%); o bien, que por cada año de diferencia en la vida media de 2016, entre cualesquiera dos entidades federativas, la distancia sería, en promedio, de 0.51 años al final de la proyección.

Implícito en el descenso de la mortalidad general, se encuentra una disminución gradual y convergente de la tasa de mortalidad infantil entre las entidades federativas. La brecha de 111 muertes de menores de un año de edad por cada diez mil nacimientos, que mediaba entre Ciudad de México (97) y Chiapas (208) en 2016, se reduciría a solo 27 en 2050 (23 en Nuevo León y 50 en Chiapas), como se puede ver en la gráfica 6.17. E igual que en las esperanzas de vida, en la regresión lineal simple de mínimos cuadrados entre la tasa de

<sup>3</sup>Los factores de reducción se calcularon para cada par de años del horizonte de la proyección, de acuerdo con (5.26), como:

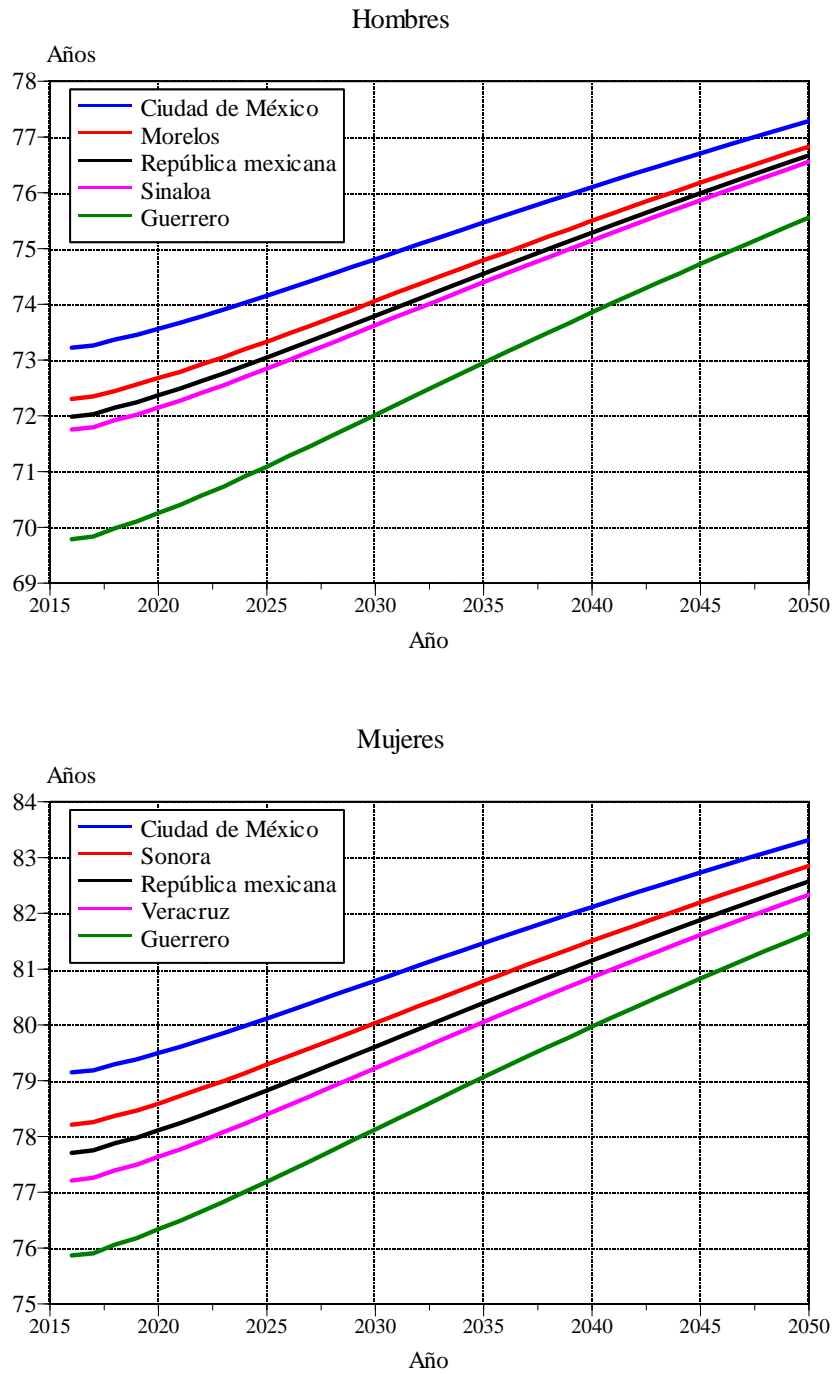
$$1 + \delta(t) = 1 - \frac{e_0(t+1) - e_0(t)}{H(t) \times e_0(t)}$$

y la proporción global como:

$$\widehat{\delta} = 1 - \prod_{t=2016}^{2049} [1 + \delta(t)]$$

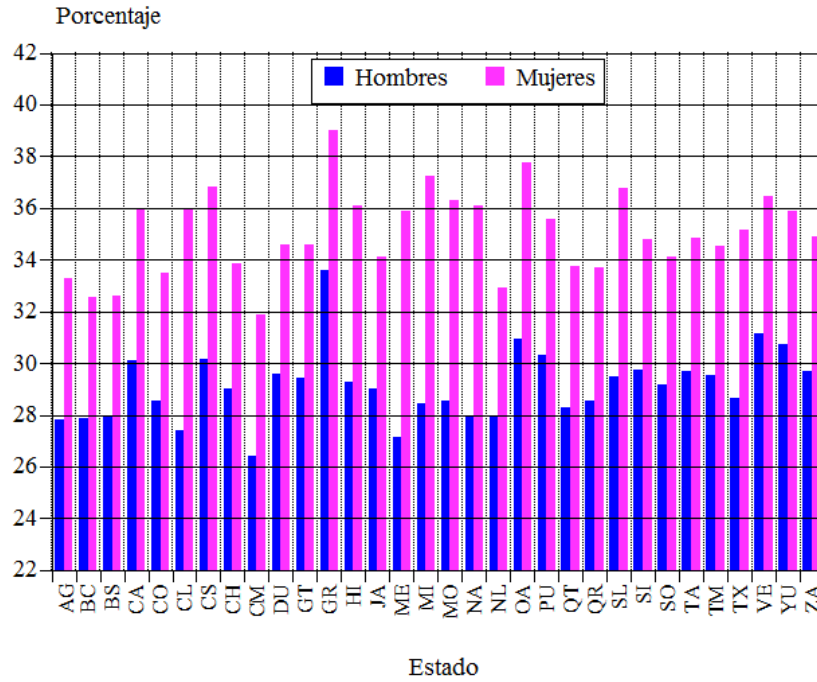


Gráfica 6.15. Esperanza de vida al nacer por sexo, para el total del país y cuatro estados, 2016-2050

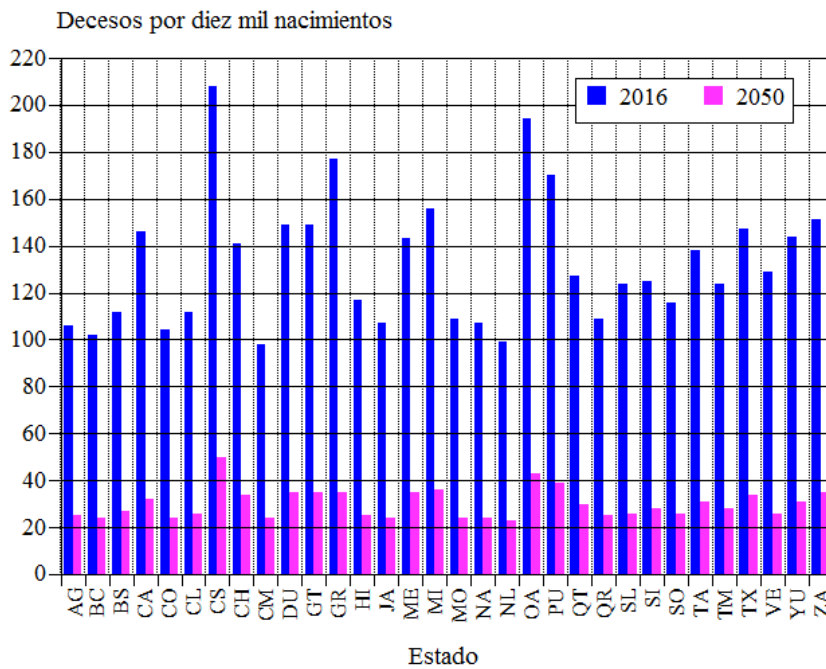


Fuente: Estimaciones con base los capítulos 1, 2, 3 y 4.

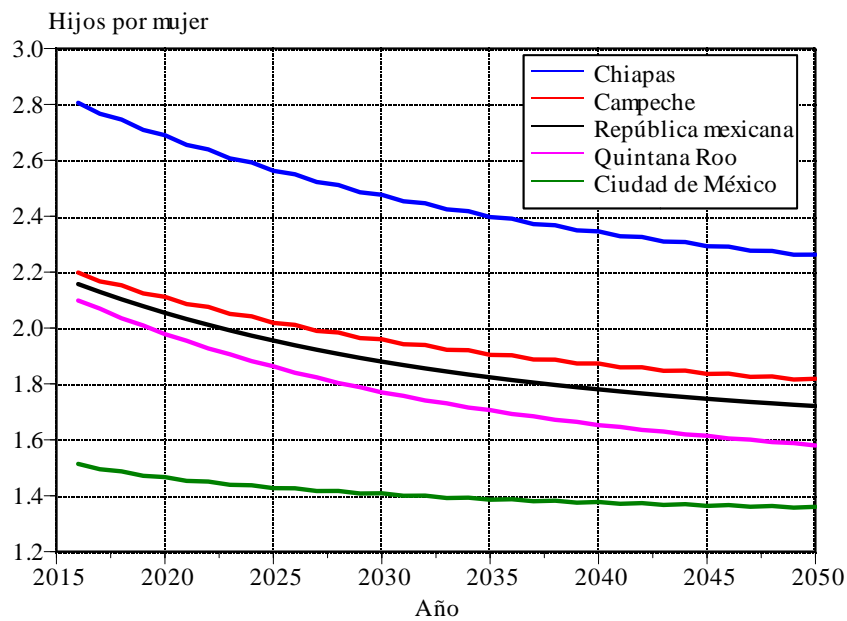
Gráfica 6.16. Reducción global del riesgo de fallecer de 2016 a 2050 en todas las edades por sexo y estado



Gráfica 6.17. Tasa de mortalidad infantil por estado, 2016 y 2050



Gráfica 6.18. Tasa global de fecundidad para cinco estados, 2016-2050



mortalidad infantil de 2016 (variable independiente) y la de 2050 (variable dependiente), la pendiente de 0.226 indica que la brecha en el riesgo de morir en el primer año de vida se habría cerrado a más de una quinta parte (22.6%) al cabo del horizonte de la proyección; o bien, que a una diferencia de diez decesos por cada mil nacidos vivos, entre cualesquiera dos entidades federativas en 2016, correspondería una de poco más de dos, en promedio, treinta y cuatro años después.

El intervalo dentro del cual oscila la tasa global de fecundidad se habría reducido de 1.30 hijos en 2016 entre el Distrito Federal (1.51) y Chiapas (2.81), a sólo 0.90 hijos en los mismos estados en 2050 (1.36 y 2.26, respectivamente), como se puede ver en la gráfica 6.18. El ritmo de descenso previsto indica que casi todas las entidades federativas habrían alcanzado el reemplazo intergeneracional (2.10 hijos) antes de 2050, excepto Chiapas (2.26); mientras Baja California, Ciudad de México, Estado de México, Morelos y Yucatán se habrían mantenido por debajo de esa cota a lo largo de la proyección.

Las tasas brutas de inmigración y emigración interna disminuirían durante los siete lustros en todas las entidades federativas, acorde con los supuestos de descenso de la tasa bruta de emigración que hicimos en el capítulo 3 (gráfica 3.4).

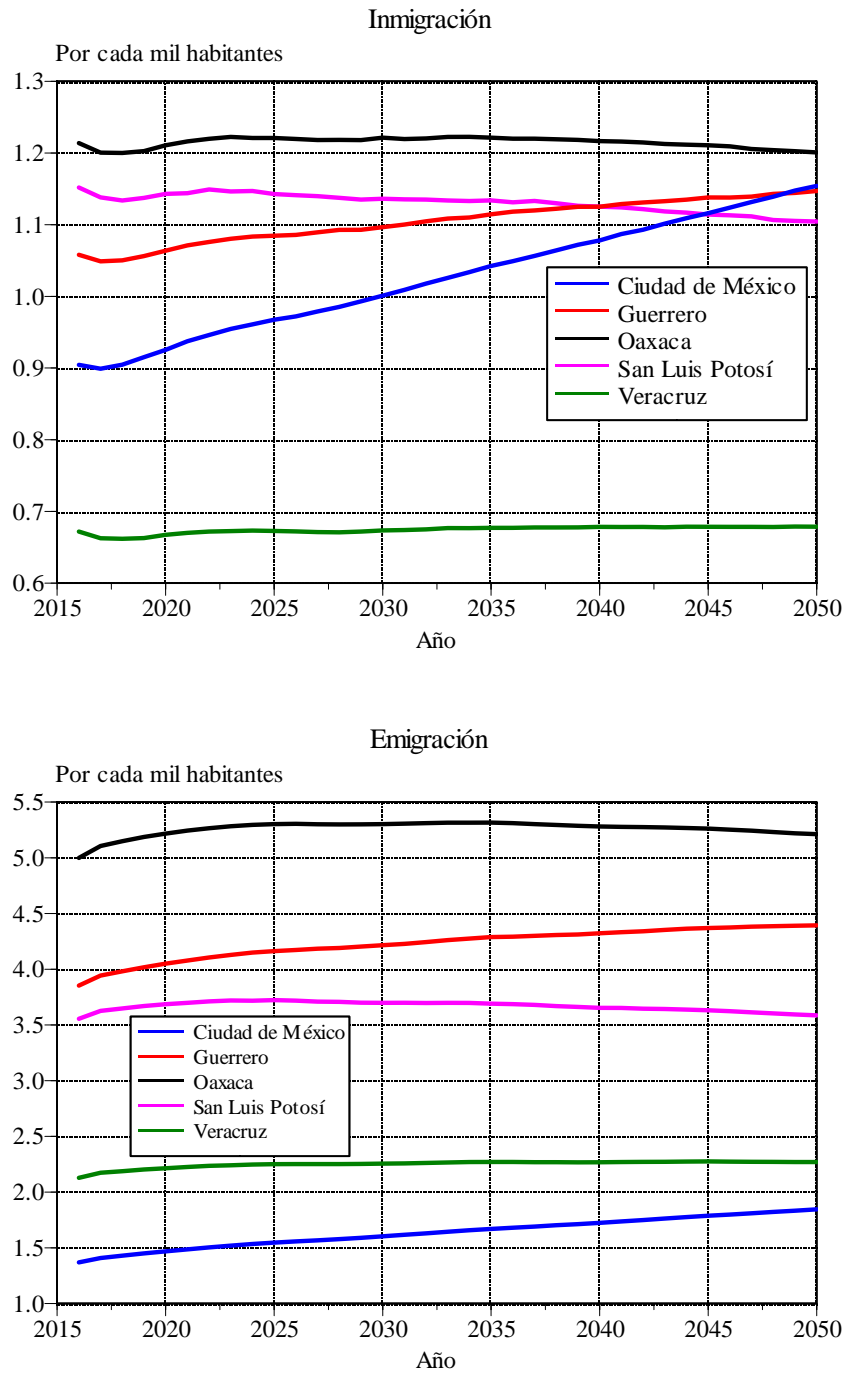
En la migración internacional el escenario es distinto. Mientras en estados con tradición migratoria hacia y desde Estados Unidos, como Guanajuato, Jalisco, Michoacán y Zacatecas, las tasas de inmigración y emigración decrecerían después de los primeros años de la proyección, con esporádicos aumentos después; entidades federativas emergentes en el pasado reciente, como Ciudad de México, Guerrero y Veracruz, o con alguna tradición como Oaxaca y San Luis Potosí, en varios años —o en todos— muestran aumento en sus tasas brutas de migración internacional, como se puede ver en los paneles de la gráfica

## 6.19.

En la mayoría de las entidades se advierte un paulatino envejecimiento, como se aprecia en las pirámides de población contrastadas de cuatro estados en la gráfica 6.20, que representan distintas situaciones dentro de la variada gama del conjunto de las treinta y dos entidades federativas. Así, por ejemplo, en la composición etaria de Quintana Roo, destaca la ganancia neta relativa por migración, que se concentra principalmente en los adultos jóvenes y maduros (15 a 59 años); en Guerrero, por el contrario, la alta pérdida neta por migración origina una estructura por edad más vieja, sobre todo por la significativa contracción de la base de la pirámide.

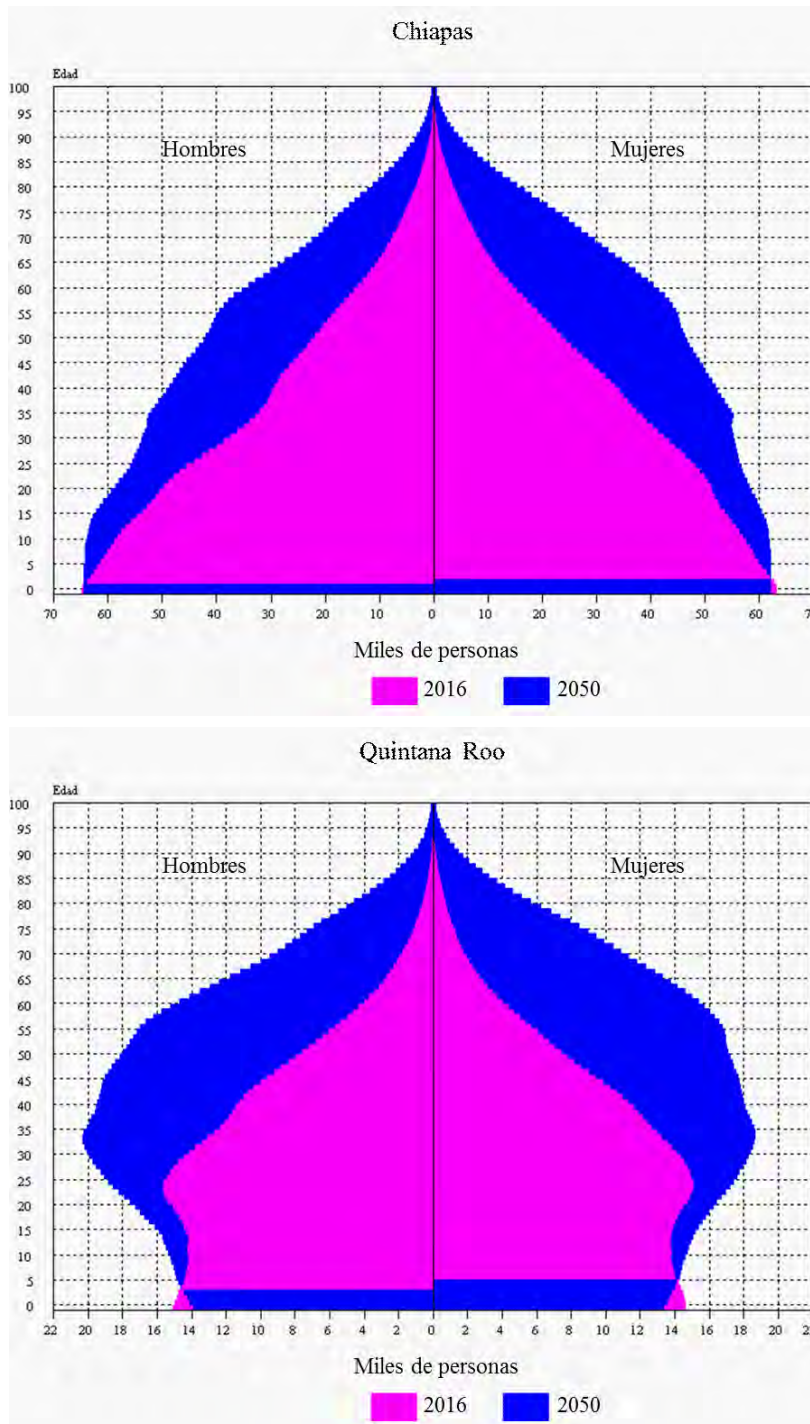
La Ciudad de México acusa el envejecimiento más marcado de la nación, lo cual se debe tanto a la menor fecundidad y mortalidad del país, como a la pérdida neta por migración inter estatal de 0 a 15 años y de 26 años o más de edad en ambos sexos, y ganancia neta de 16 a 25 años. Chiapas, por el contrario, ha exhibido fecundidad y mortalidad entre las más altas del país y se mantendrá en la misma situación en el futuro, y de ahí que mantenga su composición etaria juvenil; no obstante, destaca la marcada falta de hombres de 15 a 59 años en 2050, mostrando una fuerte prevalencia masculina en la movilidad territorial, y haciendo patente —de alguna manera— la emergencia de la migración internacional en el estado en años recientes.

Gráfica 6.19. Tasas de migración internacional para cinco estados, 2016-2050

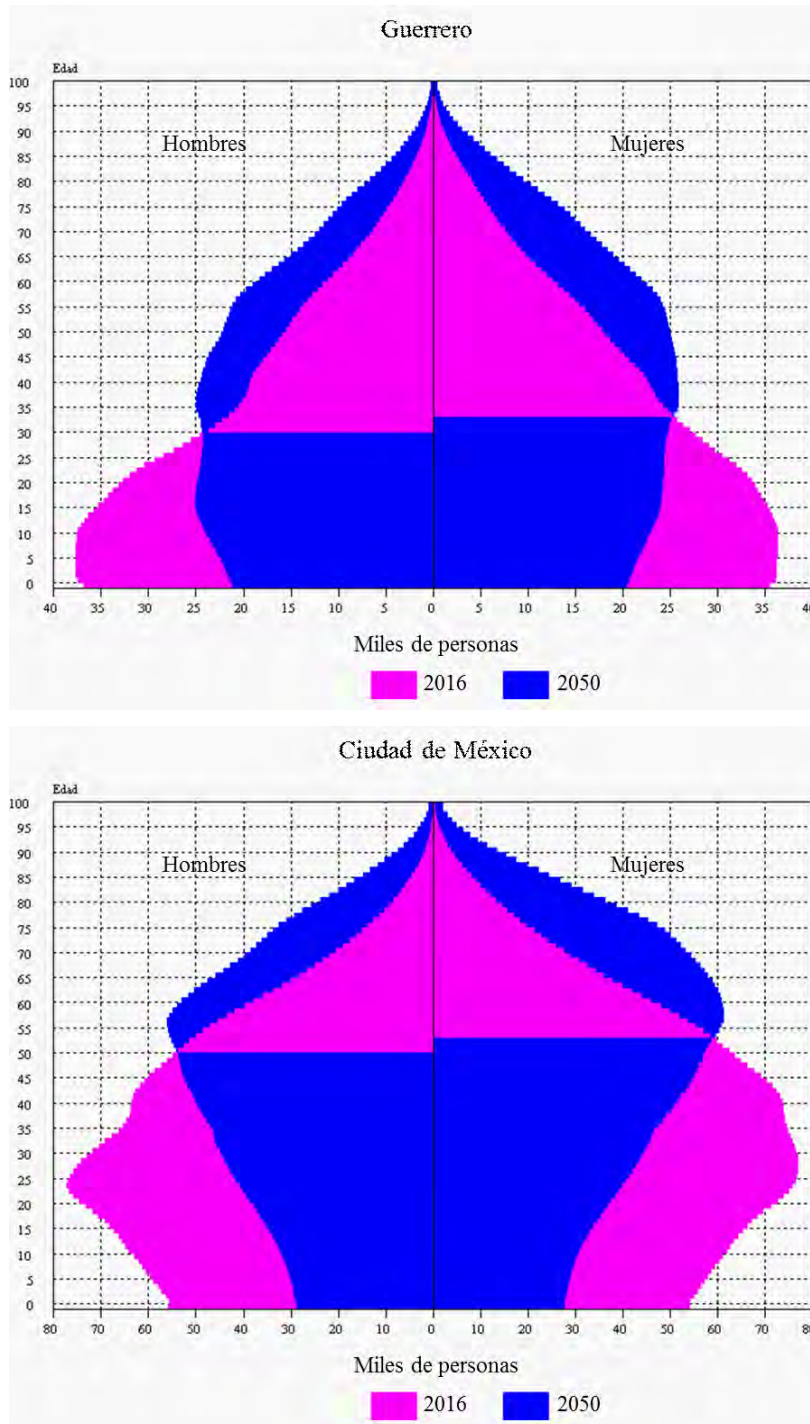


Fuente: Estimaciones con base los capítulos 1, 2, 3 y 4.

Gráfica 6.20. Pirámides de población para cuatro estados, 2016-2050



Gráfica 6.20  
(Concluye)



Fuente: Estimaciones con base los capítulos 1, 2 y 4.





## Anexos



# A. El algoritmo de asignación biproporcional iterativa

Entre los distintos procedimientos disponibles para estimar las celdas de un cuadro de dos variables, el de asignación biproporcional iterativa tiene la propiedad de ser máximo verosímil (Willekens, Pór y Raquillet, 1981).<sup>1</sup> El algoritmo consiste en distribuir de manera proporcional la diferencia entre los marginales conocidos y los del arreglo que resulta después de cada iteración.

Sea  $E_{i,j}$  un arreglo bivariado, donde  $i$  indica el renglón y  $j$  la columna, del cual se conocen un arreglo inicial representativo —digamos  $E_{i,j}^{(0)}$ — y los marginales renglón y columna:

$$E_{i,\bullet} = \sum_{j=1}^n E_{i,j} \quad \text{y} \quad E_{\bullet,j} = \sum_{i=1}^m E_{i,j}$$

donde  $m$  es el número de renglones y  $n$  el de columnas.

Si se inicia el procedimiento por renglón, para cada uno de los renglones  $i$  se reparte proporcionalmente la diferencia entre las  $n$  columnas:

$$\tilde{E}_{i,j}^{(0)} = \frac{E_{i,\bullet}}{E_{i,\bullet}^{(0)}} E_{i,j}^{(0)}$$

y la diferencia respecto del arreglo que resulta se distribuye ahora entre los  $m$  renglones de cada columna  $j$ :

$$E_{i,j}^{(1)} = \frac{E_{\bullet,j}}{\tilde{E}_{\bullet,j}^{(0)}} \tilde{E}_{i,j}^{(0)}$$

con lo cual se ha completado la primera iteración (indicada por el sobreíndice 1).

El procedimiento se aplica sucesivamente hasta que el arreglo converge, es decir, hasta que después de  $k$  iteraciones se satisface la siguiente condición:

$$\|E_{i,j}^{(k)} - E_{i,j}^{(k-1)}\| < \varepsilon$$

para todas las  $m \times n$  celdas del arreglo y donde  $\varepsilon$  se fija arbitrariamente (0.5 en todas las aplicaciones mencionadas previamente en este documento).

---

<sup>1</sup>Deming (1943) desarrolló la solución bajo el criterio mínimo cuadrático.



## B. La tabla de vida

La tabla de vida o tabla de mortalidad es un modelo probabilístico que describe la historia de una cohorte —generalmente ficticia— hasta la extinción por muerte del último de sus miembros. La tabla se compone de diversas funciones biométricas:

$\ell_x$  Supervivientes a la edad exacta  $x$  de un efectivo inicial o r adix  $\ell_0$

$d_x$  Defunciones entre las edades exactas  $x$  y  $x + 1$ . Su valor está dado por:

$$d_x = \ell_x - \ell_{x+1} \tag{B.1}$$

$p_x$  Probabilidad que un sobreviviente de edad  $x$  tiene de vivir 1 año adicional:

$$p_x = \frac{\ell_{x+1}}{\ell_x}$$

$q_x$  Probabilidad que un sobreviviente de edad  $x$  tiene de fallecer antes de 1 año:

$$q_x = \frac{d_x}{\ell_x} \tag{B.2}$$

Por los axiomas de la probabilidad y la definición (B.1) se tiene la siguiente propiedad de cerradura:

$$p_x + q_x = \frac{\ell_{x+1}}{\ell_x} + \frac{d_x}{\ell_x} = \frac{\ell_x}{\ell_x} = 1$$

$L_x$  Años-persona vividos entre las edades exactas  $x$  y  $x + 1$  por la cohorte de la tabla. Su valor estrictamente matemático está dado por:

$$L_x = \int_x^{x+1} \ell_y dy \tag{B.3}$$

Esta igualdad tiene la siguiente explicación. Supongamos que  $\ell_y$  es una función continua entre las edades exactas  $x$  y  $x + 1$  y sea  $dy$  un pequeño periodo medido en años (quizás una milésima de segundo aún es “grande”). Al cabo de ese pequeño intervalo, cada uno de los

sobrevivientes vive  $dy$  años y el conjunto vive un total de  $\ell_y dy$  años. Como una integral definida, en el sentido de Riemann, es la suma de la función sobre todos los infinitésimos de tiempo que cubre el rango de variación (de  $x$  a  $x + 1$ ), entonces los años-persona vividos por la cohorte de la tabla son el lado derecho de (B.3).

$a_x$  Años-persona vividos entre las edades exactas  $x$  y  $x + 1$  por las defunciones ocurridas en ese intervalo de edades. Su valor claramente está acotado entre 0 (todos los decesos tienen lugar a la edad exacta  $x$ ) y 1 (todos acontecen a la edad  $x + 1$ ).

Los años-persona vividos por la cohorte  $L_x$  se obtienen entonces como la suma de los años vividos por los sobrevivientes (un año por cada uno) y por las defunciones:

$$L_x = 1 \times \ell_{x+1} + a_x d_x \quad (\text{B.4})$$

de donde, incorporando (B.1):

$$L_x = \ell_{x+1} + a_x (\ell_x - \ell_{x+1}) = a_x \ell_x + \ell_{x+1} (1 - a_x) \quad (\text{B.4}')$$

Una tasa en demografía se define como el cociente que resulta de dividir los eventos ocurridos en un intervalo de tiempo entre los años-persona vividos por la población durante el mismo periodo y expresa un promedio anual per cápita de eventos, independientemente de la longitud del intervalo. De aquí, para la tabla de vida se tiene que:

$$m_x = \frac{d_x}{L_x} \quad (\text{B.5})$$

Si introducimos (B.1) en (B.4):

$$L_x = \ell_x - d_x + a_x d_x$$

despejamos

$$\ell_x = L_x + d_x - a_x d_x = L_x + d_x (1 - a_x)$$

sustituimos en (B.2):

$$q_x = \frac{d_x}{L_x + d_x (1 - a_x)}$$

y dividimos numerador y denominador por  $L_x$ , por (B.5):

$$q_x = \frac{m_x}{1 + (1 - a_x) m_x} \quad \text{si y solo si} \quad m_x = \frac{q_x}{1 - (1 - a_x) q_x} \quad (\text{B.6})$$

fórmulas que se deben a Chiang.

En el caso de México, para el primer año de vida se usaron las fórmulas obtenidas por Andreev y Kingkade (2015: 376) para el factor de separación  $a_0$ :

$$\begin{aligned} \text{Para hombres} & \begin{cases} 0.1493 - 2.0367 q_0 & \text{si } q_0 < 0.0226 \\ 0.0244 + 3.4994 q_0 & \text{si } 0.0226 \leq q_0 < 0.0785 \\ 0.2991 & \text{si } q_0 \geq 0.0785 \end{cases} \\ \text{Para mujeres} & \begin{cases} 0.1490 - 2.0867 q_0 & \text{si } q_0 < 0.0170 \\ 0.0438 + 4.1075 q_0 & \text{si } 0.0170 \leq q_0 < 0.0658 \\ 0.3141 & \text{si } q_0 \geq 0.0658 \end{cases} \end{aligned} \quad (\text{B.7})$$

y para las siguientes cuatro edades los sugeridos por Naciones Unidas (1983) en sus tablas modelo de 1982:

$$a_1 = 0.44, \quad a_2 = 0.47, \quad a_3 = 0.49 \quad \text{y} \quad a_4 = 0.5 \quad (\text{B.8})$$

A partir de cinco años de edad, se usó la fórmula de crecimiento exponencial para edades individuales

$$q_x = 1 - \exp\{-m_x\} \quad (\text{B.9})$$

Los años-persona vividos se pueden obtener también despejando en (B.5):

$$L_x = \frac{d_x}{m_x} \quad (\text{B.4''})$$

$T_x$  Años-persona vividos a partir de la edad  $x$ . Su valor está dado por:

$$T_x = \sum_{y=x}^{\omega-1} L_y \quad (\text{B.10})$$

donde  $\omega$  es una edad extrema avanzada límite de la vida humana, es decir, aquella a la cual nadie sobrevive:

$$\ell_\omega = 0$$

$e_x$  Esperanza de vida a la edad  $x$ , es decir, el promedio de años que le restan por vivir a cada uno de los sobrevivientes a esa edad:

$$e_x = \frac{T_x}{\ell_x} \quad (\text{B.11})$$

Para obtener la tabla de mortalidad y, a partir de ella las esperanzas de vida, es necesario encontrar una forma de pasar alguna medida de la mortalidad observada a alguna de las funciones biométricas de la tabla. Generalmente esto se hace suponiendo que las tasas de mortalidad observada y de tabla son iguales, ya que ambas expresan un promedio anual per cápita de decesos:

$$m_x = M_x$$

donde  $M_x$  es la tasa observada de mortalidad.





## C. Acrónimos de los estados

Aguascalientes	AG	Morelos	MO
Baja California	BC	Nayarit	NA
Baja California Sur	BS	Nuevo León	NL
Campeche	CA	Oaxaca	OA
Coahuila	CO	Puebla	PU
Colima	CL	Querétaro	QT
Chiapas	CS	Quintana Roo	QR
Chihuahua	CH	San Luis Potosí	SL
Ciudad de México	CM	Sinaloa	SI
Durango	DU	Sonora	SO
Guanajuato	GT	Tabasco	TA
Guerrero	GR	Tamaulipas	TM
Hidalgo	HI	Tlaxcala	TX
Jalisco	JA	Veracruz	VE
México	ME	Yucatán	YU
Michoacán	MI	Zacatecas	ZA



# Bibliografía

- Aburto, Juan M., Hiram Beltrán-Sánchez, Víctor M. García-Guerrero y Vladimir Canudas-Romo (2017), “Homicides In Mexico Reversed Life Expectancy Gains For Men And Slowed Them For Women, 2000-10”. *Health Aff* . 35(1): 88–95. DOI: 10.1377/hlt-haff
- Aburto, Juan M. y Víctor M. García Guerrero (2015). “El modelo aditivo doble multiplicativo. Una aplicación a la mortalidad mexicana”. *Papeles de Población* 21(84), pp.9-44.
- Andrevy, Evgeny M. y W. Ward Kingkade (2015), “Average age at death in infancy and infant mortality level: Reconsidering the Coale-Demeny formulas at current levels of low mortality”. *Demographic Research* 33 (13): 363–390.
- Bell, William R. (1997), “Comparing and assessing time series methods for forecasting age specific demographic rates”. *Journal of Official Statistics* 13: 279–303.
- Box, George E. P. y Gwilym M. Jenkins (1976), *Time Series Analysis, Forecasting and Control*, Holden-Day, San Francisco-California, United States.
- Burden, R.L. y J.D. Faires (1988), *Análisis Numérico*. Grupo Editorial Iberoamérica, México.
- Canudas-Romo, Vladimir, Juan M. Aburto, Víctor M. García-Guerrero e Hiram Beltrán-Sánchez (2016), “Mexico’s Epidemic of Violence and its Public Health Signifie on Average Length of Life”. *Journal of Epidemiology & Community Health*. DOI: 10.1136/jech-2015-207015
- Chatfield, Chris (1995). *The analysis of time series. An introduction. Fifth edition*, Chapman and Hall, Boca Raton, United States.
- Deming, W. Edwards (1943) *Statistical adjustment of data*. Dover, New York, 1964.
- Gantmacher, Felix. R. (1959), *The theory of matrices, vol. I*. Chelsea, Nueva York.
- García Guerrero, Víctor M. y Manuel Ordorica (2012), “Proyección estocástica de la mortalidad mexicana por medio del método de Lee-Carter”. *Estudios Demográficos y Urbanos* 27 (2) Num. 80: 409–448.

- García Guerrero, Víctor M. y Virgilio Partida (en edición). “Pronóstico coherente de la mortalidad mexicana”.
- Hyndman, Rob J. (2017). *forecast: Forecasting functions for time series and linear models*. R package version 8.2, URL:<http://pkg.robjhyndman.com/forecast>.
- Hyndman, Rob J. y Yeasmin Khandakar (2008), “Automatic time series forecasting: the forecast package for R”. *Journal of Statistical Software*, 26(3): 1–22. URL:<http://www.jstatsoft.org/article/view/v027i03>.
- Keyfitz, Nathan y Hal Caswell (2005), *Applied mathematical demography. Third Edition*. Springer, New York.
- Lee, Ronald y Lawrence Carter (1992). “Modeling and Forecasting U.S. Mortality”, Supplement: Aging, Health, and Public Policy, *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 87, No. 419 pp. 659-671.
- Lee, Ronald y Tim Miller (2001). “Evaluating the performance of the Lee-Carter method for forecasting mortality”, *Demography*, Vol. 38, No. 4, pp. 537-549.
- Leguina, Joaquín (1976), *Fundamentos de Demografía*. Siglo XXI, Madrid.
- Li, Nan, R. Lee y S. Tuljapurkar (2004). “Using the Lee-Carter method to forecast mortality for populations with limited data”, en Wolfgang Lutz y Joshua Goldstein (eds.) *How to deal with uncertainty in population forecasting?*, Reprinted from *International Statistical Review*, 72 (1 y 2):1–106, 157–208; pp. 19–36.
- Moultrie, Tom, Rob Dorrington, Allan Hill, Kenneth Hill, Ian Timæus and Basia Zaba (2013), *Tools for demographic estimation*. International Union for the Scientific Study of Population, Paris.
- Naciones Unidas (1983), *Modelos de mortalidad por edad y sexo, Tablas modelo de mortalidad para países en desarrollo*. Nueva York. (ST/ESA/Serie R/77)
- Nour, El-Sayed y Chirayath M. Suchindran (1984), “The construction of multi-states life tables: comments on the article by Willekens et al”, *Population Studies* 38: 325–328.
- Partida, Virgilio (2008), *Proyecciones de la población de México, de las entidades federativas, de los municipios y de las localidades, 2005-2050. Documento metodológico*. Consejo Nacional de Población, México.
- (2014a), “De los desplazamientos del campo a la ciudad a los traslados interurbanos” (en) Cecilia Rabell (coord.), *Los Mexicanos. Un balance del cambio demográfico*. Fondo de Cultura Económica, México: 389–444.
- (2014b), *Estimación indirecta de la migración interregional*. Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, México.

- (2017), *Conciliación demográfica de México 1950–2015*. Consejo Nacional de Población, El Colegio de México, Sociedad Mexicana de Demografía, Fondo de Población de las Naciones Unidas, México.
- R Development Core Team (2017), *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, URL:<http://www.R-project.org>
- Rogers, Andrei y Luis J. Castro (1981), *Model Migration Schedules*. International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Laxenburg, Austria. (RR–81–30).
- SEDESOL y CONAPO (2012), *Catálogo sistema urbano nacional 2012*. Secretaría de Desarrollo Social y Consejo Nacional de Población, México.
- STATA (2003), *STATA release 8. Reference Volume 3*. Stata Press, College Station, Texas.
- Tuirán, Rodolfo, Virgilio Partida y José L. Avila (2000a), “Las causas de la migración hacia Estados Unidos” (en) Rodolfo Tuirán (coor.), *Migración México-Estados Unidos. Presente y futuro*. Consejo Nacional de Población, México: 29–33.
- (2000b), “Crecimiento, libre comercio y migración” (en) Rodolfo Tuirán (coor.), *Migración México-Estados Unidos. Presente y futuro*. Consejo Nacional de Población, México: 53–75.
- Willekens, Frans, Andrés Pór y Richard Raquillet (1981), “Entropy, multiproportional, and quadratic techniques for inferring patterns of migration from aggregate data” (en) Andrei Rogers, *Advances in multiregional demography*, International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria (RR–81–6): 83–124.





