Más allá de las metas. Las proyecciones estocásticas de población como instrumento para la toma de decisiones de los países de América Latina*

Víctor Manuel García Guerrero♣

Resumen

Las proyecciones de población son una de las principales herramientas para la planeación de distintos aspectos de un país o una región. El método de proyección utilizado comúnmente por todos los países de América Latina es el de las componentes demográficas con base en ciertos supuestos establecidos a priori. Usualmente se establecen tres variantes sobre la evolución futura de cada componente; la combinación de estas variantes determina tanto la población máxima como la mínima esperada. En el medio se encontrará entonces la proyección plausible o deseada. Sin embargo, esta forma de establecer escenarios extremos no es estadísticamente correcta en virtud de que se supone implícitamente una correlación perfecta a lo largo del tiempo entre cada una de las componentes demográficas. Por ello, en este trabajo se propone una metodología para pronosticar la población de acuerdo a un marco que considera la incertidumbre asociada a cada variable demográfica. Al igual que con en el método de las componentes, el aquí propuesto pronostica por separado cada una de las variables demográficas utilizando algunas variaciones de los métodos propuestos por Lee y Carter; después, para obtener la evolución futura de la población total, se emplea un algoritmo de simulación.

Palabras-clave: Proyecciones de población, proyecciones probabilísticas, pronóstico estocástico de la población, método de las componentes, método de Lee-Carter, simulación.

---

* Trabajo presentado en el IV Congreso de la Asociación Latinoamericana de Población, ALAP, realizado en La Habana, Cuba, del 16 al 19 de Noviembre de 2010.

♣ Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales sede México. E-mail: victor.garcia@flacso.edu.mx vmgarcia@colmex.mx vicmgg@gmail.com

Más allá de las metas. Las proyecciones estocásticas de población como instrumento para la toma de decisiones de los países de América Latina*

Víctor Manuel García Guerrero♣

Introducción

Hasta el momento no existe ningún ejercicio prospectivo de naturaleza estocástica para algún país de América Latina. Esto se debe principalmente a que, en la mayoría de los países de esta región, no se cuenta con series de datos sólidos y consistentes de larga data. Sin embargo, recientemente las instituciones demográficas y estadísticas de México han realizado una conciliación de las cifras demográficas (INEGI, 2006) que permite realizar el cálculo de las proyecciones estocásticas de una manera confiable –el periodo que abarca es de 1960 a 2005 con cifras anuales para la población desagregada por sexo y grupos en edades simples. Por ello, en este trabajo se calcula un pronóstico estocástico para México para el periodo 2005-2050. Los resultados se comparan con las proyecciones oficiales de este país. Finalmente, se resalta la importancia que tienen esta clase de proyecciones para la toma de decisiones de los países de América Latina en virtud de los retos que en materia de planificación se tendrán que afrontar durante los siguientes años.

Este trabajo se encuentra organizado de la siguiente manera: en la primera sección se explica los métodos utilizados para pronosticar cada una de las variables demográficas y se muestran los resultados; en la segunda sección se muestran los resultados obtenidos al combinar los métodos anteriores con uno de simulación de acuerdo al método de las componentes. Con ello se obtiene el pronóstico de la población total por edad y sexo y se muestra la posible evolución demográfica de México hacia el año 2050. Finalmente, se concluye con algunas reflexiones finales.

Pronóstico de las componentes demográficas

Las proyecciones demográficas es un tema que ha cautivado a los demógrafos desde hace mucho tiempo. En el aspecto metodológico, han habido algunos intentos por tomar en cuenta la incertidumbre inherente a toda prefiguración del futuro. Entre los principales trabajos sobre proyecciones estocásticas se encuentran los de Sykes (1969), Le Bras (1971), Saboia (1977) y (1978), Heyde y Cohen (1985), Cohen (1986), Alho y Spencer (1985) y (2005), Alho (1990), Lee (1993) y (1974), Lee y Carter (1992), Lee y Tuljapurkar (1994), Lutz *et al.* (2004), y, recientemente, Hyndman y Booth (2008).

Para el caso de Latinoamérica tan sólo ha habido tres trabajos que utilizan el enfoque

* Trabajo presentado en el IV Congreso de la Asociación Latinoamericana de Población, ALAP, realizado en La Habana, Cuba, del 16 al 19 de Noviembre de 2010.

♣ Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales sede México. E-mail: victor.garcia@flacso.edu.mx vmgarcia@colmex.mx vicmgg@gmail.com

probabilístico: el primero de ellos es aplicado al caso de la mortalidad en Chile (Lee y Rofman, 1994); el segundo, fue aplicado para pronosticar la mortalidad de México (Ordorica, 2004), y el tercero, utiliza el enfoque de Alho (1990) para establecer escenarios futuros y evaluar la calidad de la información de México entre 2000 y 2005 (Kesseli y Galindo, 2007).

En el presente trabajo se utiliza el método de las componentes desde un enfoque estocástico[1]. La mortalidad y fecundidad son modelados de acuerdo al método propuesto por Lee y Carter (1992) y la migración es modelada de acuerdo al método propuesto por Lee (1993). El pronóstico de la población total y sus correspondientes intervalos de confianza son calculados por medio de simulaciones. Todos los algoritmos correspondientes fueron programados en R (2005).

Mortalidad

El modelo de Lee y Carter (LC) es un modelo estadístico que permite extrapolar las tasas centrales de mortalidad de acuerdo a su información histórica (Lee y Carter, 1992). Este modelo no contiene variables exógenas, o que capten el efecto que tiene el ambiente biológico o social en la mortalidad. Más bien se encuentra basado en el análisis estadístico de series de tiempo. Es decir, el modelo LC combina un modelo demográfico con pocos supuestos con métodos estadísticos de series de tiempo. Por ello, este modelo provee tanto una base estocástica como intervalos de predicción al pronóstico de la mortalidad.

El cambio en el nivel de la mortalidad se expresa en el modelo por medio de un sólo índice denominado índice de mortalidad. Así, el modelo LC permite a cada tasa central de mortalidad decrecer con lo que la evolución de la esperanza de vida se produce sin agregar algún supuesto adicional al de la tendencia observada históricamente.

Existen dos variantes del modelo, una para series históricas completas y otra para datos incompletos (Li *et. al.*, 2004). En este trabajo se utilizará la versión para datos completos en virtud de la serie histórica de las defunciones y la población expuesta al riesgo de 1960 al 2005 estimada en la conciliación demográfica del 2006 (INEGI-CONAPO-COLMEX, 2006). González y Guerrero (2007) aplicaron el modelo de LC para datos incompletos, sus resultados serán comparados con los obtenidos aquí.
El modelo LC parte del supuesto de que existe una relación lineal entre el logaritmo natural de las tasas centrales de mortalidad, $m(x,t)$, y dos factores que las determinan: la edad *x* y el tiempo *t*. El modelo matemático es expresado como sigue,

$$\ln(m_{x,t}) = a_x + b_x k_t + \varepsilon_{x,t}, \qquad (1)$$

donde los parámetros de forma, $\{a_x\}$, y de cambio, $\{b_x\}$, varían con cada edad, y el índice de mortalidad, k_t, varía con el tiempo. El factor e^{a_x} es el patrón general por edad de la mortalidad. El parámetro b_x señala cuales tasas disminuyen más rápido y cuales más lento, en función de los cambios en k_t. Esto significa que $\mathrm{d}\ln(m_{x,t})/\mathrm{d}t = b_x \mathrm{d}k_t/\mathrm{d}t$. Es decir, b_x es el ritmo al que disminuye la mortalidad a cada edad ante los cambios en k_t; también puede interpretarse como la intensidad de cambio del índice de mortalidad para cada edad a lo largo del tiempo (González y Guerrero, 2007).

Para ciertas edades, b_x puede ser negativo indicando con ello que la mortalidad en esas

[1] En esta investigación los términos estocástico y probabilístico son utilizados como sinónimos.

edades tiende a incrementarse cuando disminuye en las otras edades. Si k_t es lineal en el tiempo, la mortalidad a cada edad cambia conforme a su propia tasa constante. Conforme k_t tiende a menos infinito, cada tasa central tiende a cero; debido a que las tasas son modeladas logarítmicamente no es posible obtener tasas negativas.

En este marco, Lee y Carter (1992) sugieren estimar los parámetros del modelo utilizando el teorema de descomposición en valores singulares (DVS). Sin embargo, existen otros métodos de estimación alternativos sugeridos en los trabajos de Wilmoth (1993) y Booth *et. al.* (2002). Para los datos de México se encontró que los parámetros se ajustan mejor utilizando la DVS. Después de estimar los parámetros se extrapola el índice de la mortalidad utilizando el análisis estadístico de series de tiempo. Lee y Carter sugieren que una caminata aleatoria con deriva (ARIMA(0,1,0)) es un muy buen modelo para pronosticar a k_t; sin embargo, para el caso de México el mejor modelo para pronosticar la k_t de las mujeres es una proceso ARIMA(1,1,2) y para el caso de los hombres resultó un ARIMA(0,1,0), tal como sugieren Lee y Carter.

De esta manera, en el caso de las mujeres el índice de la mortalidad se modela de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$k_t = \theta_0 + k_{t-1} + \phi_1(k_{t-1} - k_{t-2}) + e_t + \theta_1 e_{t-1} + \theta_2 e_{t-2}, \tag{2}$$

y para el caso de los hombres, el indicador en cuestión es modelado como sigue,

$$k_t = \theta_0 + k_{t-1} + e_t. \tag{3}$$

Una vez pronosticado el índice de mortalidad el paso siguiente es calcular las funciones que conforman la tabla de mortalidad para el pronóstico medio así como para uno de los intervalos de predicción. Como en este trabajo se utiliza la desagregación por edad simple, los cálculos son muy sencillos (véase Preston *et. al.*, 2000). En las figuras 1 y 2 se muestra el pronóstico mediano de la probabilidad de morir, q_x, de 2006 al 2050, para mujeres y hombres, respectivamente.

Figura 1. Logaritmo de la probabilidad de fallecer de las mujeres (pronóstico mediano). México, 2006-2050.

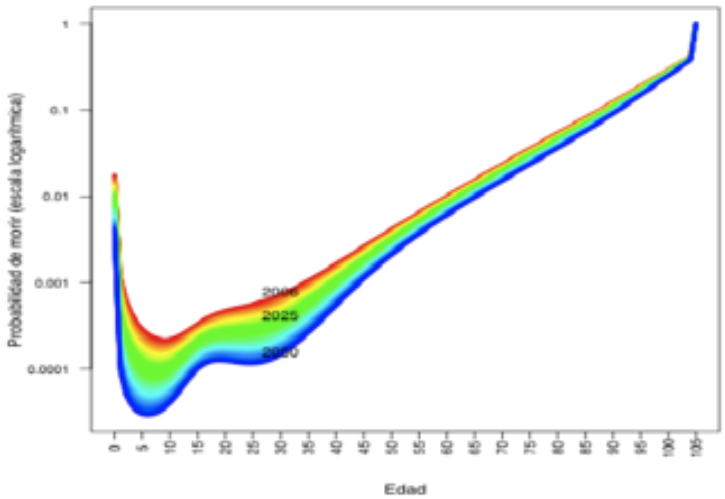
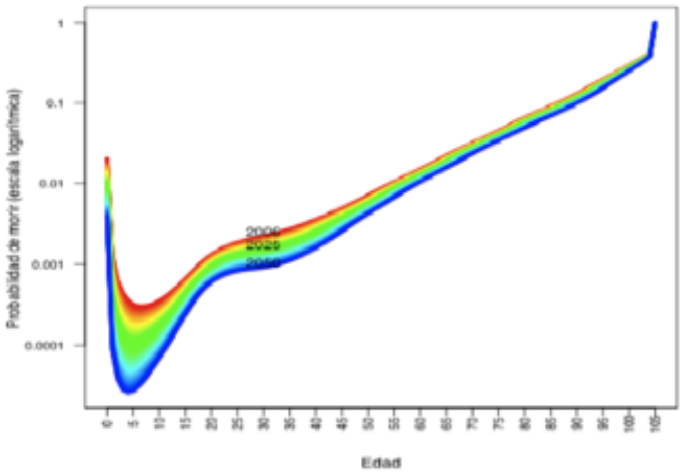


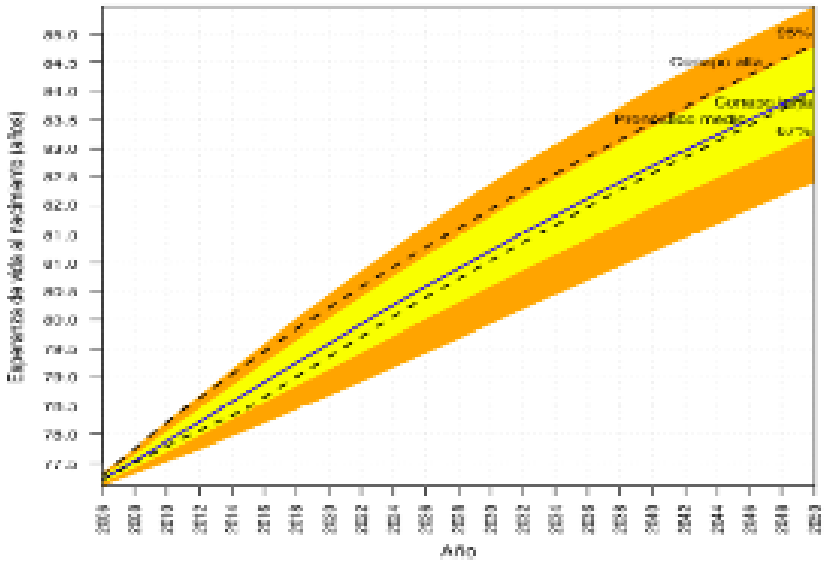
Figura 2. Logaritmo de la probabilidad de fallecer de los hombres (pronóstico mediano). México, 2006-2050.



En la Figura 1 se observa que es muy probable que la probabilidad de fallecer de las mujeres siga disminuyendo, aunque la forma que adquiere el patrón de esta disminución se aparta un poco de lo que se ha observado en otros contextos. Es decir, en México dicho patrón muestra un desfase en las mujeres entre 17 y 40 años. Observe que al año 2050, las mujeres entre 18 y 28 años incrementan su probabilidad de fallecer respecto de aquellas entre 29 y 40 años. Usualmente se esperaría que conforme avanza la edad la probabilidad de fallecer también se incremente. Una posible explicación de esto, y que de hecho es materia de políticas públicas, es que en el futuro se incremente la "masculinización" de las mujeres en las edades jóvenes. Al utilizar el término "masculinización" se hace referencia a la exposición de los individuos a riesgos que exponen su integridad física con el fin de reforzar un conjunto de atributos dentro de la sociedad. En el caso que aquí ocupa, es posible que las mujeres en dichas edades se encuentren en un proceso de transformación de sus roles tradicionales que las llevan a imitar ciertas conductas —fumar y beber alcohol en exceso, uso de drogas, ejercer violencia, etc.— que menguan su calidad de vida y por ende incrementen su probabilidad de fallecer.

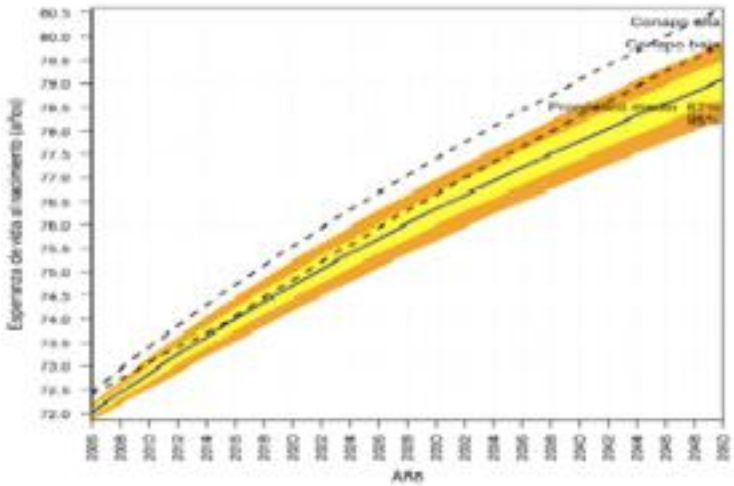
En este marco, se calculan las esperanzas de vida al nacimiento con sus respectivos intervalos de confianza. En las figuras 3 y 4 se muestra el pronóstico para mujeres y hombres, respectivamente, y se comparan con las proyecciones del Consejo Nacional de Población (CONAPO, 2006). Para el caso de las mujeres, se observa que la variante que aquí se denomina "baja" —y que de hecho es la que se considera dentro del escenario "probable" ya que se encuentra determinada por supuestos de mortalidad baja— es muy similar al pronóstico estocástico medio. La variante alternativa —o alta— no cae dentro del intervalo del 65 por ciento pero sí dentro del de 95 por ciento. Esto no significa que exista una probabilidad mayor de que ocurra cualquiera de la dos variantes, sino que constituyen tan sólo una posibilidad dentro del intervalo de predicción y, dado que no fueron construidas considerando la aleatoriedad asociada, no se puede decir que el área comprendida entre ellas representa un espacio de posibilidades de ocurrencia, sino que son dos eventos aislados, o en otras palabras, significa que son dos conjuntos de medida cero.

Figura 3. Pronóstico de la esperanza de vida al nacimiento. Mujeres, México, 2006-2050.



En el caso de los hombres mexicanos, en la Figura 4 se observa que las proyecciones del CONAPO señalan o esperan un incremento mayor en la esperanza de vida en comparación con lo que el pronóstico estocástico indica. En efecto, mientras que hacia el 2050 la proyección "probable" del CONAPO espera un incremento de la esperanza de vida de 8 años (a 80 años) respecto del valor estimado a 2005, este incremento, de acuerdo al pronóstico estocástico, sería de entre 6 y 8 años (78 y 80 años), aproximadamente. Lo anterior muestra que es posible que se esté sobreestimando la capacidad de sobrevivir de los hombres.

Figura 3. Pronóstico de la esperanza de vida al nacimiento. Hombres, México, 2006-2050.



En general, el pronostico de las esperanzas de vida, femeninas y masculinas, señala que, hacia el futuro, la dinámica de este indicador es más incierto en el caso de las mujeres que en el de los hombres. Sin embargo, dicha esperanza de vida sigue siendo mayor para las mujeres que

para los hombres. En efecto, mientras que en el 2050 es muy probable que las mujeres mexicanas incrementen su esperanza de vida a entre 82 y 86 años, los hombres la incrementarán a entre 76 y 80 años.

Fecundidad

Para pronosticar la fecundidad se utiliza nuevamente el modelo de LC expresado en la ecuación (1) pero utilizando las tasas específicas de fecundidad históricas estimadas en la conciliación demográfica de México mencionada anteriormente. Esto es posible debido a los datos que se emplean ya que el ajuste de estos al modelo es muy bueno (el nivel de ajuste es del 97%). Sin embargo, tal vez esto no se aplique a otros ámbitos ya que esta variable demográfica es muy volátil y depende de diversos factores externos determinados por cambios de comportamiento reproductivo y de políticas públicas que los impulsen. Cabe mencionar que en este caso, en lugar de emplear la DVS utilizada para la mortalidad, se utilizó el método alternativo sugerido por Lee y Carter (1992:668-669) en el cual el índice de fecundidad f_t, se calcula como la suma sobre todas la edades del $\ln(f_x - a_x)$ —el logaritmo natural de la diferencia entre las tasas específicas de fecundidad y su parámetro de forma— debido a que ofrece un mejor ajuste que en cuando se utiliza la DVS.

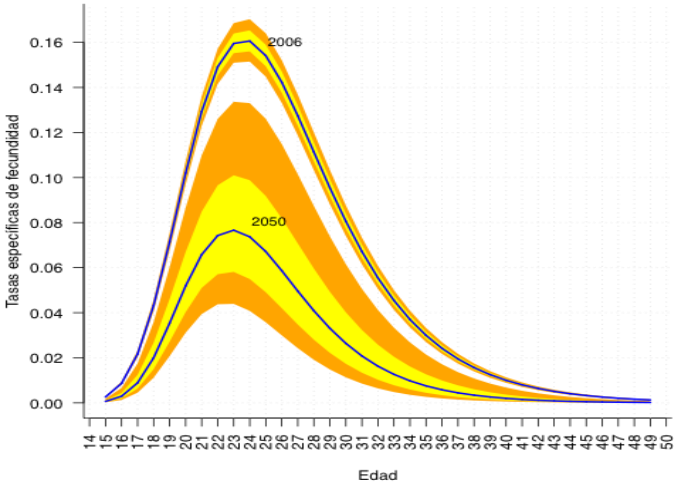
Así, el modelo óptimo para modelar el índice de fecundidad —que tiene su símil con el índice de mortalidad en la ecuación (1)— resulta ser un ARIMA(1,1,1) descrito por la siguiente ecuación:

$$f_t = \theta_0 + f_{t-1} + \phi_1(f_{t-1} - f_{t-2}) + e_t + \theta_1 e_{t-1}. \qquad (4)$$

Una vez pronosticado el índice de fecundidad, fácilmente se calculan las tasas específicas de fecundidad manteniendo constantes los parámetros de forma e intensidad, a_x y b_x, respectivamente.

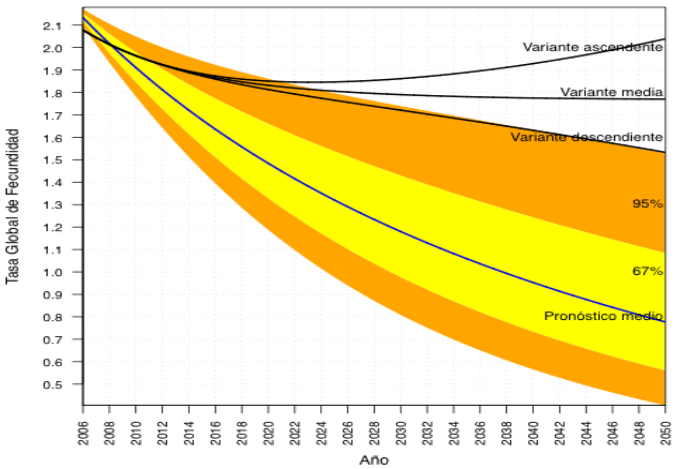
Así, en la Figura 5 se muestran las tasas específicas de fecundidad (TEF) pronosticadas para los años 2006 y 2050. Observe que la incertidumbre (determinada por la amplitud del intervalo de confianza) de las TEF del año 2006 es menor que la del año 2050. Esto es lógico debido a que la incertidumbre se incrementa en el largo plazo.

Figura 5. Tasas específicas de fecundidad. México, 2006-2050.



Ahora bien, al calcular las respectivas Tasas Globales de Fecundidad se observa que la tendencia histórica descendiente de la fecundidad, cuyo ritmo de decremento se incrementó durante los últimos 30 años, implica un descenso demasiado pronunciado en este indicador. En la Figura 6 se observa que, a diferencia de las proyecciones del CONAPO, la TGF podría disminuir a entre 0.5 y 1.6 hijos por mujer hacia el año 2050. En cambio, la proyección programática o media calculada por el CONAPO señala que para ese año la TGF permanecería en 1.85 hijos por mujer. Esto se encuentra acorde con el método empleado por Naciones Unidas que presupone una estabilización en este nivel desde el año 2030. Sin embargo, este nivel de estabilización de la TGF es un tanto irreal para un país como México donde la emigración juega un papel importante en la dinámica demográfica.

Figura 6. Tasa Global de Fecundidad pronosticada. México, 2006-2050.



Cabe mencionar que los escenarios alternativos del CONAPO indican, por un lado, un descenso un tanto conservador respecto de la dinámica histórica de la fecundidad, y, por otro lado, un incremento sostenido de ésta sin que exista algún fundamento teórico o alguna experiencia encontrada en algún otro ámbito que lo respalde.

Migración internacional

El pronóstico de la migración neta internacional no es tan complicado como su estimación ya que para eso se requiere hacer uso de una gran cantidad de fuentes, principalmente encuestas, y de disponer de información desagregada por grupo de edad, lo cual es muy complicado debido a la existencia de la migración no documentada. Como se mencionó para los casos de la mortalidad y fecundidad, en este trabajo serán utilizadas las estimaciones de la conciliación demográfica llevada a cabo por INEGI-CONAPO-COLMEX.

El pronóstico de la migración internacional es un tema no resuelto y que permanece en la mesa de debate dentro de la comunidad de demógrafos. Esta componente es muy volátil y depende en gran medida de los contextos económico, político y social de los países de origen y de destino correspondientes. Sin embargo, aquí se propone pronosticarla de acuerdo al modelo propuesto por Lee (1993) aplicado a la fecundidad, considerando únicamente la evolución histórica del saldo neto migratorio (SNM). En el trabajo de Lee, se realiza una transformación logística al modelo LC con el fin de establecer un valor límite a la variable en cuestión. De esta manera, se ajusta y pronostica el saldo neto migratorio por edad individual aunque de manera distinta de como se realizó para las otras dos componentes. En efecto, se sabe que durante los últimos años la emigración de mexicanos hacia los Estados Unidos ha disminuido debido al recrudecimiento en las deportaciones y controles en la frontera así como por la crisis económica mundial que en particular ha afectado los sectores donde la mayoría de los emigrantes obtienen trabajo —como el de la construcción, el agrícola y los servicios— en este trabajo se propone modelar y pronosticar la migración neta de acuerdo al modelo que Lee (1993) propuso para pronosticar la fecundidad de Estados Unidos. Esto se debe a que dicho modelo se encuentra basado en una función logística que permite establecer cotas, ya que de otra manera siguiendo con la forma en que se pronosticaron la mortalidad y la fecundidad se obtendría una emigración creciente que puede llegar a niveles insostenibles por ningún país. A cambio, el modelo incrementa considerablemente la incertidumbre futura.

En primer lugar no se utilizan tasas sino los niveles históricos de la migración neta en cada edad. Estos niveles se modelan de acuerdo a una función lineal que depende de un parámetro desconocido al que se denominará índice de migración neta —tal como se hace en el modelo de LC. Así, la migración internacional neta por edad se encuentra definida por la siguiente función,

$$g_{x,t} = a_x + b_x g_t + \varepsilon_{x,t}, \tag{5}$$

donde los parámetros tienen el mismo significado que para el caso de la mortalidad pero aplicados a la migración. El parámetro de forma, a_x, se calcula como el promedio del SNM a lo largo del tiempo; el índice de migración se estimó como la suma de la diferencia del SNM por edad y año calendario y el parámetro de forma. Finalmente, de la ecuación (5), el parámetro de intensidad, b_x, se estima utilizando mínimos cuadrados ordinarios. De esta manera, para cada año se tiene que,

$$SNM_t = \sum_{x=0}^{81+} g_{x,t} = \sum_{x=0}^{81+} a_x + \sum_{x=0}^{81+} b_x g_t = A + g_t,$$

dado que $\sum_{x=0}^{81+} b_x = 1$ y A es el SNM promedio de toda la serie histórica.
Después, se modela el SNM de acuerdo a una función logística, i.e.

$$z_t = \ln\left(\frac{SNM_t - L}{U - SNM_t}\right), \tag{6}$$

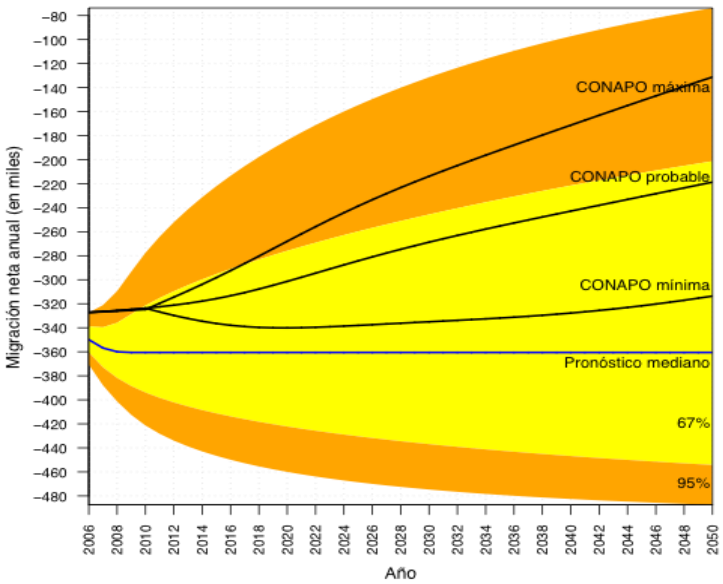
donde *L* y *U* son las cotas inferior y superior del SNM, respectivamente, las cuales son establecidas *a priori*. De esta manera, todo se reduce a pronosticar el índice de migración neta modificado, z_t, con algún método estadístico de series de tiempo que mejor se ajuste a dicho índice. Una vez pronosticado z_t y calculados sus intervalos de predicción se obtienen tanto el SNM como los valores de la migración neta por edad sustituyendo dichos pronósticos en las ecuaciones anteriores. Así, en este trabajo se pronosticó el SNM por edad y sexo.

En el caso de los hombres, se supuso como nivel óptimo de "sustentabilidad" migratoria a $U = 0$ —un equilibrio exacto entre emigración e inmigración—, y como nivel límite de "sustentabilidad" a $L = -500{,}000$. El establecimiento de estas dos cotas no es del todo subjetivo, ya que el primero se refiere a la cantidad de migración requerida para que el crecimiento poblacional total dependa únicamente del crecimiento natural; la última cota se refiere al nivel máximo de migración masculina que la demografía mexicana podría aguantar. Esto se debe principalmente a que si se rebasa dicho límite, se podría llegar a valores negativos de población, lo cual carece de significado. Con lo anterior en mente, el modelo estadístico de series de tiempo que mejor se ajustó a los datos fue un ARIMA(0,1,4). Matemáticamente, $z_t = z_{t-1} + e_t + \theta_1 e_{t-1} + \theta_2 e_{t-2} + \theta_3 e_{t-3} + \theta_4 e_{t-4}$.

La ecuación anterior señala que en la mediana, todos los valores permanecerán constantes a los largo del horizonte de proyección.

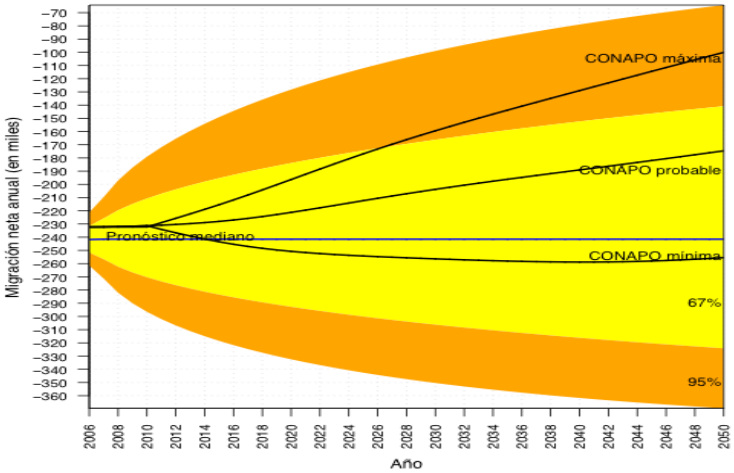
Ahora bien, si se sustituyen estos valores pronosticados en la ecuación (6) y se despeja SNM_t se obtiene el SNM para cada año pronosticado. La dinámica en la mediana permanecería constante debido a los argumentos expuestos en el párrafo anterior. Sin embargo, dadas las restricciones en el modelo, el intervalo de confianza no es simétrico. Note que conforme z_t sea "más negativo", el SNM también disminuiría; conforme z_t incremente su valor, el SNM también lo haría. En la Figura 7 se muestra el SNM masculino pronosticado entre los años 2006 y 2050. Observe que en el pronóstico mediano, se mantiene constante el monto de la migración obtenido para el año 2010, de -360 mil hombres, aproximadamente. Sin embargo, los intervalos de predicción reflejan la carga de incertidumbre que tiene esta variable. De hecho, los intervalos no son simétricos, indicando así que es tan probable una gran disminución en la emigración como un pequeño incremento en ella.

Figura 7. Pronóstico del saldo neto migratorio mexicano. Hombres, 2006-2050.



Para el caso del SNM femenino se procedió de igual manera aplicando las ecuaciones (5) y (6) a la serie histórica. El índice de migración, z_t, se ajusta a un proceso ARIMA(0,1,2), es decir, $z_t = z_{t-1} + e_t + \theta_1 e_{t-1} + \theta_2 e_{t-2}$. El que el índice modificado de la migración femenina óptimo *desestacionarizado* haya resultado ser un promedio móvil de orden dos, implica que la mediana del error rezagado dos periodos puede ser cero hasta dos años después del inicio del pronóstico; es decir, la migración femenina mediana sería constante hasta después del año 2007. Por ello, la tendencia descendiente de la migración femenina continuaría hasta el año 2007. Lo anterior se debe a que la autocovarianza de cualquier proceso MA de orden *q*, se trunca en cero después de *q* rezagos –en este caso *q*=2. En este marco, el índice modificado de migración femenina y sus intervalos del 67 y 95 por ciento de predicción se muestran en la Figura 8.

Figura 8. Pronóstico del saldo neto migratorio mexicano. Mujeres, 2006-2050.



Ahora, comparando el SNM pronosticado estocásticamente con las proyecciones del CONAPO, se observa en las dos figuras anteriores que hasta el año 2010 se proyectó un sólo escenario de incremento del SNM constante, i.e. lineal. Después se consideraron las respectivas variantes de proyección, las cuales se encuentran alejadas del pronóstico mediano. Tanto en el caso de los hombres como en el de las mujeres se espera que la emigración sea cada vez menor en valor absoluto, lo cual se contrapone con la tendencia histórica de las series. Por ello, es posible que la emigración internacional se encuentre subestimada en valor absoluto. Esto conlleva a que es posible que en la dinámica demográfica futura de México se presente un decrecimiento poblacional mucho antes de lo que se ha esperado.

Pronóstico de la población total por edad y sexo

El método de pronóstico que se expondrá en esta sección se encuentra basado completamente en el método tradicional de las componentes demográficas (CCM por sus siglas en inglés). Sin embargo, dado que las variables demográficas por sexo y edad fueron modeladas como variables aleatorias, es posible simular miles de escenarios que en su conjunto representen una muestra de los posibles escenarios futuros. A partir de dichas simulaciones es posible determinar los intervalos de confianza (IC) de la población total y de la estructura por edad —para cada sexo por separado o para ambos en conjunto—, así como de cada uno de los indicadores que se deseen.

De esta forma se propone un cambio de paradigma en la interpretación y uso de los resultados finales. En lugar de ofrecer datos puntuales se señalan las tendencias y el intervalo de tiempo en el que podrían ocurrir los cambios más significativos. El pronóstico mediano pude ser utilizado como referencia y los IC como su margen de error. En el primer apartado de esta sección se explica el modelo y el método de pronóstico utilizados y en el segundo, se exponen los resultados obtenidos así como la manera en que se obtuvieron los indicadores demográficos que se derivan del pronóstico de la población. Al igual que en las secciones anteriores, para llevar a cabo las simulaciones se programaron las distintas rutinas en el lenguaje de programación R. El modelo matemático que es utilizado se encuentra claramente descrito en Preston *et. al.* (2000) incorporando la variable de la migración.

Así, como se puede observar en las figuras 9, 10 y 11, la combinación de una alta incertidumbre en el SNM tanto masculino como femenino, como de una alta incertidumbre en la fecundidad (Figura 6) en continuo descenso determinan que tanto la población femenina como la masculina pueden comenzar a disminuir su volumen total en el transcurso del segundo decenio del S.XXI. En estas mismas figuras se incluyen las proyecciones del CONAPO, las cuales al suponer un descenso en valor absoluto de la emigración y una estabilización o un descenso marginal de la fecundidad conllevan a un incremento de la población mexicana hasta finales de la década de los 2040. Lo más impactante es que de continuar estas tendencias en las variables demográficas hacia el inicio de la segunda mitad del siglo XXI la población total de México podría situarse en los mismos niveles que hubo en la década de los 90 del S.XX.

Figura 9. Pronóstico de la población femenina. México, 2006-2050.

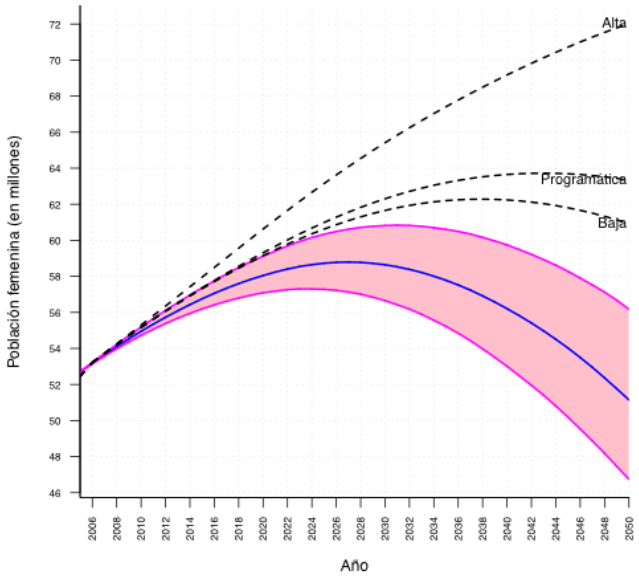


Figura 10. Pronóstico de la población masculina. México, 2006-2050.

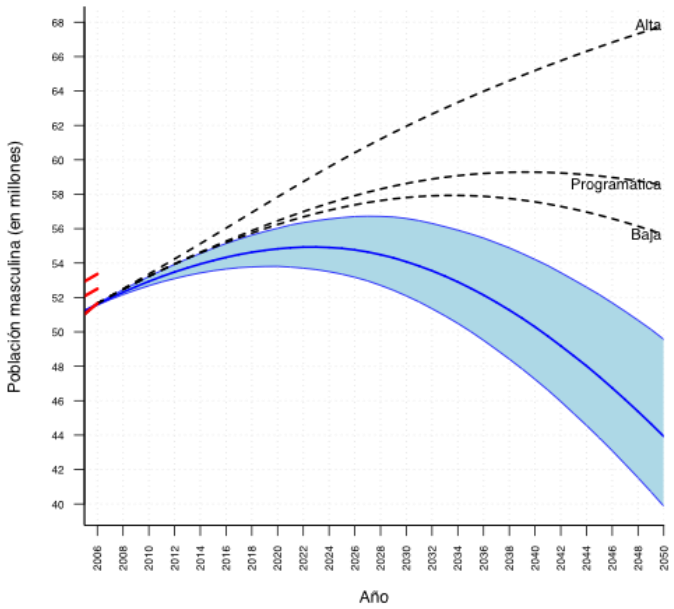
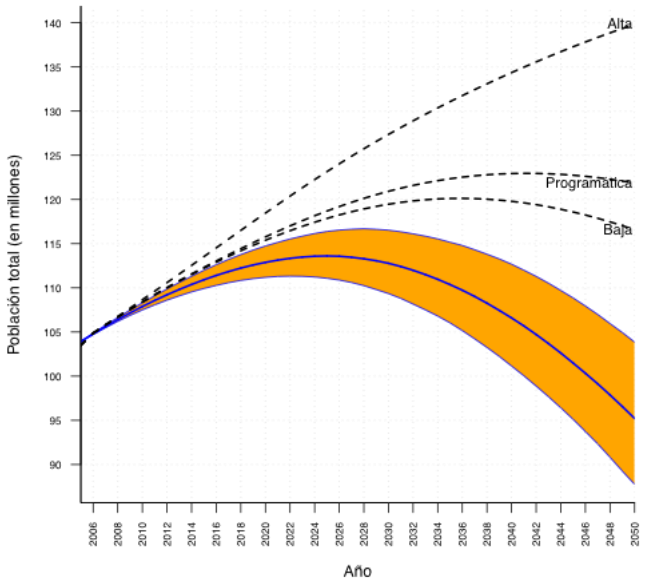


Figura 11. Pronóstico de la población total. México, 2006-2050.



En la Figura 12 se muestra la estructura por edad y sexo de la población mexicana al año 2050. Al lado derecho se muestran las variantes de proyección calculadas por el CONAPO y al lado izquierdo se muestran los resultados con el pronóstico probabilístico. Observe que ambas gráficas son muy similares en la forma de la evolución de las cohortes que nacieron antes del año 2005 –o sea, aquellos que en 2050 son mayores de 45 años; mas no en el volumen ya que por causa de la emigración, en el pronóstico estocástico se obtiene un volumen menor de población entre esas edades. Pero para las generaciones posteriores se observa una dinámica completamente divergente. Mientras que en el caso de las proyecciones del CONAPO, en el mejor de los casos estas generaciones comienzan a "rectangulizar" la pirámide poblacional, en el caso de las proyecciones estocásticas estas generaciones muestran una clara disminución implicando un estrechamiento en la base de la pirámide.

Lo anterior aunado a lo que se puede observar en la Figura 13, implica que el envejecimiento poblacional en México puede ser un fenómeno que se adelante a cualquier previsión que esté haciendo el Estado. En efecto, de acuerdo a la Figura 13, hacia el 2050 el grupo de mayores de 65 años puede representar entre el 25 y el 30% de la población total. Mientras que la población de menores de 15 años puede representar entre un 7 y un 12% de la población total. Esto significa que la población en edades laborales sería de entre 58 y 68% de la población total. Lo cual implicará un reto trascendental para el Estado mexicano para el que debe comenzar a prepararse.

Figura 12. Pirámide poblacional. México, 2050. A la derecha los resultantes del pronóstico estocástico, a la derecha las proyecciones del CONAPO.

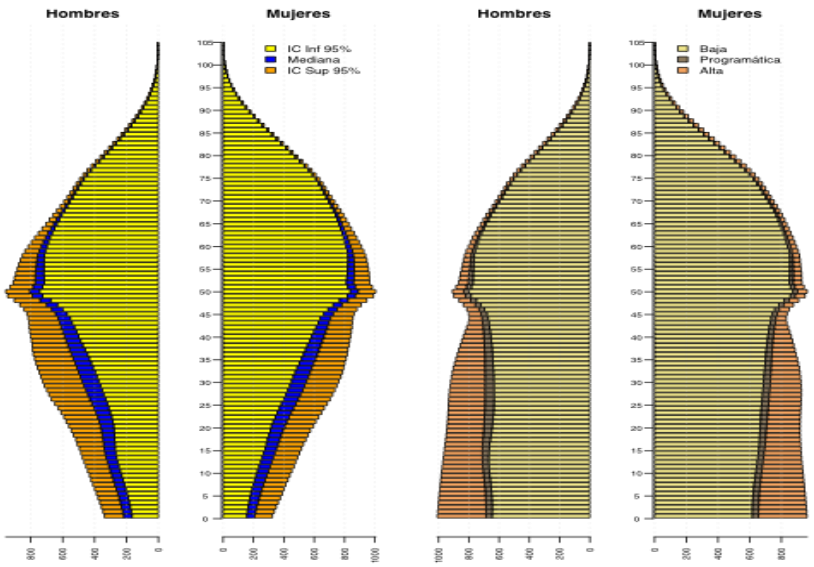
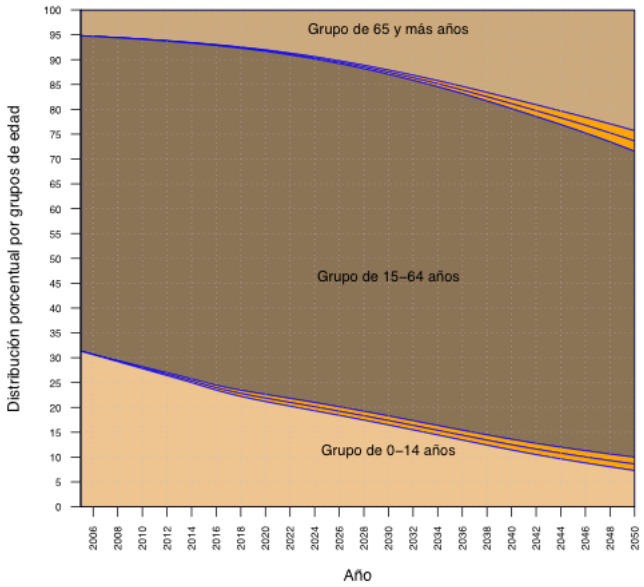


Figura 13. Distribución porcentual de tres grandes grupos de edad. México, 2006-2050. Intervalos de confianza en naranja.



Reflexiones finales

A comienzos de la década de los 80 del S.XX, en México como en muchos países de Latinoamérica se comenzaron a establecer metas sobre el crecimiento demográfico. En el caso de México, se estableció que la tasa de crecimiento poblacional debería disminuir a 2.3% para el año 1982 y a 1% para el año 2000. Estas metas no se cumplieron exactamente en esos

años, pero tampoco mucho después. Se pensaba que el principal motor del descenso poblacional sería la planificación de la reproducción natural; se realizaron grandes esfuerzos para disminuir la mortalidad creando instituciones de salud sólidas, que si bien no cubren las necesidades de los sectores más desprotegidos si han servido para que un amplio sector de la población acceda a sus servicios. Adicionalmente, se crearon instituciones que satisficieran la demanda de métodos para el control natal pero aún no existe evidencia clara de que la fecundidad haya disminuido al ritmo que señalan las instituciones oficiales, como el CONAPO. En un trabajo previo (García Guerrero, 2010) se muestra que al realizar el pronóstico estocástico de México tomando como año base el 2000, la fecundidad estimada por los organismos oficiales entre 2000 y 2005 resulta un tanto menor que la pronosticada –de poco más de 0.7 hijos en promedio por mujer.

En el establecimiento de las metas mencionadas no se contaba que la debilidad económica de México y su cercanía geográfica con la principal potencia económica mundial fomentara la movilidad poblacional entre México y Estados Unidos. Es decir, el haber alcanzado las metas de crecimiento no necesariamente significa que se debió al éxito de los programas de salud reproductiva sino al volumen de emigrantes que han llevado su reproducción a otros contextos. Por ello, en la actualidad es necesario dejar de lado el establecimiento de metas demográficas para acercarse a la dinámica demográfica probable de los países y actuar en consecuencia ante retos como los que implica el envejecimiento poblacional. Esta nueva dinámica poblacional al interior de los países podría significar una reconfiguración en los patrones migratorios entre los países latinoamericanos, como por ejemplo entre los países de Centroamérica y México, para la que los gobiernos del futuro deben estar preparados y los gobiernos del presente deben comenzar a sentar las bases de un intercambio justo de recursos humanos.

Finalmente, sería interesante contar con series históricas de distintos países de Latinoamérica con el fin de realizar comparativos dentro de un marco probabilístico y comenzar, así, a conformar un registro histórico de estimaciones que sirvan para realizar pronósticos a nivel de la región.

Referencias

Alho, Juha y B. Spencer (2005). *Statistical demography and forecasting*, Springer Series in Statistics, Springer, USA.

Alho, Juha y B. Spencer (1985). "Uncertain Population Forecasting", *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 80, No. 390, pp. 306-314.

Alho, Juha (1990). "Stochastic methods in population forecasting", *International Journal of Forecasting* 6, pp. 521-530.

Booth, Heather, J. Maindonald y L. Smith (2002). "Age-time interactions in mortality projection: Applying Lee-Carter to Australia", Working Papers in Demography No. 85, Demography and Sociology Program, Research School of Social Sciences, The Australian National University.

Chatfield, Chris (1995). *The Analysis of Time Series. An Introduction*., 5a edición, Chapman

and Hall, E.U.A.

Consejo Nacional de Población (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.

González Pérez, Carlos, y V. Guerrero Guzmán (2007) "Pronósticos estadísticos de mortalidad y su impacto sobre el sistema de pensiones de México", trabajo ganador del Premio de Pensiones 2007 otorgado por la Comisión Nacional del Sistema de Ahorro para el Retiro, consultado en http://www.consar.gob.mx/premio_pensiones/premio_2007.shtml

Heyde, C. C. y J. E. Cohen (1985). "Confidence Intervals for Demographic Projections Based on Products of Random Matrices", *Theoretical Population Biology*, Vol. 27, No. 2, pp. 120-153.

INEGI-CONAPO-COLMEX (2006). *Conciliación demográfica de México*, México.

Kesseli, Katja y C. Galindo (2007). "The Many Mexicos. Stochastic Forecast 2001-2050", *Papeles de Población*, No.51, pp. 147-185.

Lee, R. D. y Rofman, R. (1994), "Modeling and projecting mortality in Chile", *Notas de Población*, 22(59), 183–213.

Hyndman, Rob J. y H. Booth (2008). "Stochastic population forecasts using functional data models for mortality, fertility and migration", *International Journal of Forecasting*, Vol. 24, No. 3, pp. 323{342.

Lee, Ronald y T. Miller (2001), "Evaluating the performance of the Lee-Carter method for forecasting mortality", *Demography*, Vol. 38, No. 4, pp. 537-549.

Lee, Ronald, (1993) "Modeling and forecasting the time series of US fertility: Age distribution, range, and ultimate level", *International Journal of Forecasting*, Vol. 9, pp. 187-202.

Lee, Ronald y S. Tuljapurkar (1994), "Stochastic population forecast for the United States: Beyond high, medium and low", *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 89, No. 428 pp. 1175-1189.

Lee, Ronald y L. 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.

Ordorica, Manuel (2004) "Pronóstico de las defunciones por medio de los modelos autorregresivos integrados de promedios móviles", *Papeles de Población*, Universidad Autónoma del Estado de México, No 42, pp.249-264.

R Development Core Team (2005) *R: A language and environment for statistical computing*, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, http://www.R-project.org

Saboia, João L. (1974). “Modeling and forecasting populations by time series: The Swedish case”, *Demography*, 11, pp. 483-492.

Sykes, Z. M. (1969). “Some stochastic versions of the matrix model for population dynamics” *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 44, pp. 111-130.

Wilmoth, John, (1993), “Computational methods for fitting and extrapolating the Lee-Carter model of mortality change”, *Tecnical Report*, Department of Demography, University of California, Berkeley, EUA.