

Demografía Dinámica de México

(DemoDinMéxico)

Dirección de Análisis Demográficos, INEGI



Orange paper cut out figure among plain figurmanly/Dimitri Vervitsiotis/Getty Images

El Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) da a conocer el modelo Demografía Dinámica de México (DemoDinMéxico), el cual utiliza un conjunto de metodologías matemáticas y herramientas computacionales que permiten visualizar de manera oportuna los efectos surgidos por los cambios en la dinámica demográfica, es decir, sobre el volumen y la estructura por edad y sexo de la población a través de la dinámica de sistemas. DemoDinMéxico ofrece diferentes escenarios que anticipan el futuro sociodemográfico con la finalidad de dar oportunidad al desarrollo de mecanismos y acciones necesarias.

Palabras clave: demografía; fecundidad; mortalidad; migración; dinámica de sistemas; proyecciones; escenarios futuros.

Recibido: 16 de junio de 2015
Aceptado: 29 de octubre de 2015

Introducción

La complejidad de los problemas mundiales en la actualidad obliga a buscar métodos de medición y pronóstico en los sectores público y privado que justifiquen las acciones que se toman para abordarlos, como el caso del crecimiento poblacional, ya que esta problemática se caracteriza por involucrar un gran número de variables interconectadas entre sí que involucran constantes cambios. Tales características tipifican a los problemas sistémicos que ameritan, por sí mismos, un enfoque de partida diferente para deducir cuál será el comportamiento del crecimiento de la población en un tiempo determinado.

Desde la perspectiva del análisis de problemas complejos, el INEGI enfrenta dos retos:

1. Establecimiento de la dinámica demográfica.
2. Análisis de las transformaciones multisectoriales derivadas a largo plazo.

Mediante el empleo de sistemas lineales y dinámica de sistemas —ambas relacionadas con la

The National Institute of Statistics and Geography (INEGI), discloses the Mexico's Dynamics Demography System (DemoDinMéxico), which uses a set of mathematical methodologies and computational tools that allow to opportunely display the effects arising by the changes in the demographic dynamic, such as the volume, age and sex structure of the population, through system dynamics. DemoDinMéxico offers different demographic scenarios that anticipate the sociodemographic future in order to give opportunity to the development of mechanisms and actions needed.

Key words: demography; fertility; mortality; migration; system dynamics; projections; future scenarios.

Teoría de Sistemas—, el INEGI ha modelado recientemente esos dos retos para abordar su análisis en virtud de que la dinámica de sistemas ofrece metodologías con visión integradora y cuantificadora entre los fenómenos demográficos (fecundidad, mortalidad y migración) y que, en un futuro, se busca relacionarlos con variables transformadoras, como el medio ambiente, entre otras.

La dinámica de sistemas combina aspectos filosóficos, teoría y métodos para analizar el comportamiento de sistemas ambientales, políticos, económicos, de salud y físicos, además de otras disciplinas, para mostrar cómo cambian a lo largo del tiempo. Se aplica al comportamiento de sistemas complejos en la Naturaleza, la sociedad y la ciencia para investigar y/o describir el comportamiento de grupos de objetos que trabajan juntos para producir un resultado.

Los sistemas complejos se caracterizan por permitir la integración de un gran número de componentes que interaccionan de forma continua y permiten introducir variaciones de cada uno de los componentes en el tiempo, es decir, son diná-

Nota: la realización de este trabajo al interior del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) estuvo a cargo del maestro Juan Enrique García López, y se contó con la colaboración del doctor Juan Manuel Huerta Tolís y la participación de Juan Pablo Navarro Romo, Laura Elena Olivares Moncibaiz, Roberto Guadalupe Navarro Pérez, Miguel Ángel Martínez Herrera, Román Álvarez González, Arturo Rubio García y Rocío Gaytán Nieto.

nicos. Estas características los hace ideales para el modelo DemoDinMéxico.

Los sistemas dinámicos se representan matemáticamente con ecuaciones diferenciales que se escriben de la siguiente manera:

$$dx(t)/dt = ax(t) + bu(t) \quad (1)$$

donde:

- t = tiempo.
- $x(t)$ = variable de estado.
- a = coeficiente constante de acoplo de la variable de estado.
- $u(t)$ = variable de control.
- b = coeficiente de acoplo de las variables de control.

si:

$$\begin{aligned} x(t) &= \text{Población}(t). \\ u(t) &= (\text{Nacimientos}(t) - \text{Muertes}(t)). \\ a &= 1 \text{ y } b = 1. \\ d\text{Población}/dt &= \text{Población}(t) \\ &\quad + (\text{Nacimientos}(t) \\ &\quad - \text{Muertes}(t)) \end{aligned} \quad (2)$$

La dinámica de sistemas se fundamenta en la representación de los procesos que conforman la *realidad observable* contenida en un espacio geográfico con ecuaciones diferenciales para estructurar un modelo matemático. En Demografía, estas ecuaciones han sido utilizadas, pero no con tanta frecuencia como se pudiera pensar, inclinándose más hacia los *modelos de autor* construidos a partir de algún método estadístico.

Caracterización del modelo DemoDinMéxico

Éste se desarrolló en la plataforma informática *Stella Research*®, en la cual se construyeron dos versiones: una por edad desplegada y otra por grupos quinquenales, ambas para cada sexo.

Se acordó caracterizar a DemoDinMéxico como un modelo de dinámica de sistemas de la pobla-

ción total del país que se estructura como dos vectores idénticos, uno de población femenina y el otro de la masculina los cuales, juntos, forman la pirámide de población de México (en adelante pirámide).

De manera alternativa, la pirámide puede estar formada por grupos de una sola edad (edad desplegada), en cuyo caso existen 102 grupos cohortes, la cual es una estructuración más detallada que arroja resultados con mayor precisión que la quinquenal para el análisis; sin embargo, su aplicación se dificulta, pues se deben establecer políticas individuales para el gran número de grupos considerados.

Las variables de política (también llamadas de control), que aplicadas a lo largo del tiempo de ejecución del modelo para formar historias de control, cambian el tamaño y la forma de la pirámide. Estas variables son las: 1) tasas de fecundidad para los grupos cohortes de mujeres en edades fértiles y 2) tasas de mortalidad para cada grupo cohorte.

De forma adicional, por ser DemoDinMéxico un modelo de la demografía del país en su totalidad, las tasas de emigración e inmigración podrán aplicarse sólo a los individuos que abandonan el país o regresan a él.

Estructura matemática de DemoDinMéxico

La ecuación diferencial que aplica para cualquier grupo de edad de los dos vectores (una para la población masculina y otra para la femenina) es:

$$\begin{aligned} x_j(t) &= x_j(t-1) + \Delta t (\alpha_j - 1(t-1)x_j \\ &\quad - 1(t-1) - \beta_j(t-1)x_j(t-1) \\ &\quad - \varepsilon_j(t-1)x_j(t-1)) \end{aligned} \quad (3)$$

donde:

t = índice de tiempo de tal manera que $t_i \leq t \leq t_f$, donde t_i y t_f son el tiempo inicial y el final, respectivamente.

$x_j(t)$ = grupo cohorte j (puede ser un grupo, un año de edad o de cinco años consecutivos y puede ser de hombres o de mujeres) en el instante t .

$x_j(t-1)$ = grupo cohorte j en el instante $t-1$.

$\Delta t = t - (t-1)$ = tamaño del incremento de tiempo.

$\alpha_{j-1}(t-1)x_{j-1}(t-1)$ = porción del grupo cohorte x_{j-1} que pasan el grupo superior $x_j(t)$.

$\beta_j(t-1)x_j(t-1)$ = porción del grupo cohorte x_j que pasa al grupo cohorte x_{j+1} .

$\varepsilon_j(t-1)x_j(t-1)$ = porción del grupo cohorte x_j que muere en el instante $t-1$.

En la formulación se puede apreciar que las tasas que controlan el comportamiento de la población (femenina o masculina) son: $\alpha_{j-1}(t-1)$, $\beta_j(t-1)$ y $\varepsilon_j(t-1)$, y que se pueden formar series de tiempo para cada una de estas tasas, las que, al ser utilizadas de forma iterativa en la ecuación (1), guían el cambio de la estructura de la población a lo largo del tiempo.

Son precisamente estas tasas las que gobiernan el comportamiento de la población y son, también, las que un gobierno utiliza para implementar programas públicos. En este caso, la tasa de mortalidad $\varepsilon_j(t-1)$ debería disminuir su valor provocando un incremento en la población.

Desarrollo y construcción del modelo DemoDinMéxico-Edad Desplegada

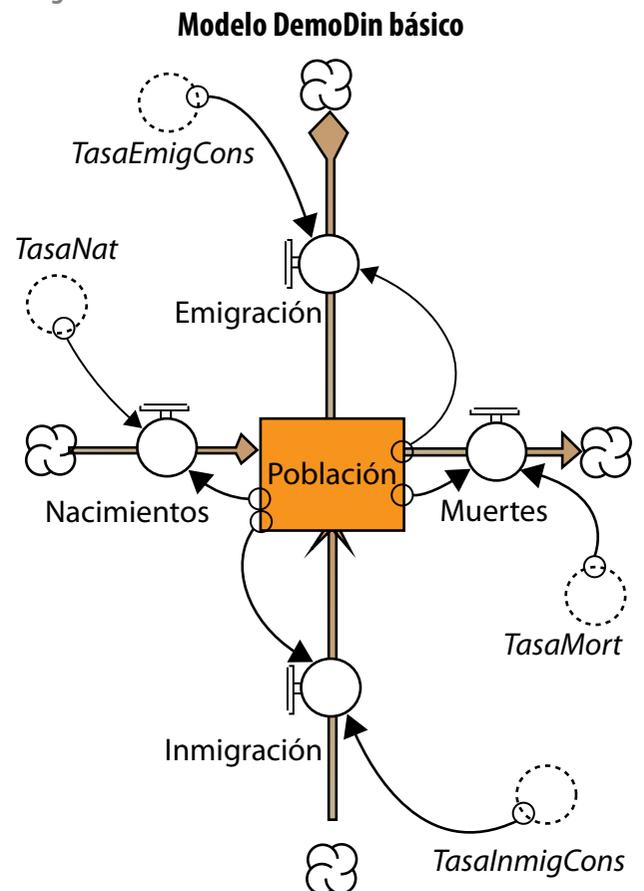
En este apartado se analizará uno de los modelos, denominado DemoDinMéxico-Edad Desplegada, el cual presenta la proyección de población por sexo y edad tanto para los datos absolutos como relativos; en éste se integran los fenómenos demográficos,

como: fecundidad total, mortalidad infantil y general, además del saldo neto migratorio. La representación del modelo se aprecia en el diagrama 1.

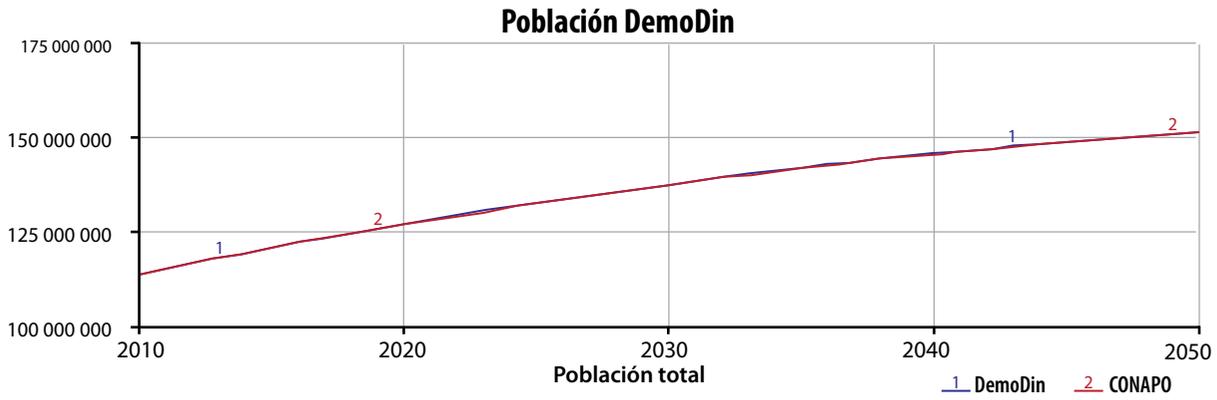
Para este modelo, se construyó un proceso demográfico con base en la ecuación (3) y se buscó replicar las proyecciones generadas por el Consejo Nacional de Población (CONAPO) utilizando las variables propias de la Demografía: fecundidad, migración y mortalidad. Una vez desarrollado el modelo, se programó en la plataforma Stella Research® que proveyó la forma rápida y confiable para resolver las ecuaciones diferenciales del sistema demográfico de México de edad desplegada y generar las proyecciones.

Para homologar las proyecciones del CONAPO, se hizo la selección del horizonte de simulación 2010 a 2050. A continuación, se presentan los resultados de DemoDinMéxico-Edad Desplegada.

Diagrama 1



Gráfica 1



La gráfica 1 muestra las proyecciones de población de DemoDinMéxico-Edad Desplegada y el CONAPO para el periodo 2010 a 2050. La población estimada al 1 de enero de 2050 es de 150 622 767 personas para el CONAPO y de 150 615 828 para DemoDinMéxico-Edad Desplegada, lo cual arroja una discrepancia de 6 939 personas, equivalente a 0.0046%, que es un error insignificante.

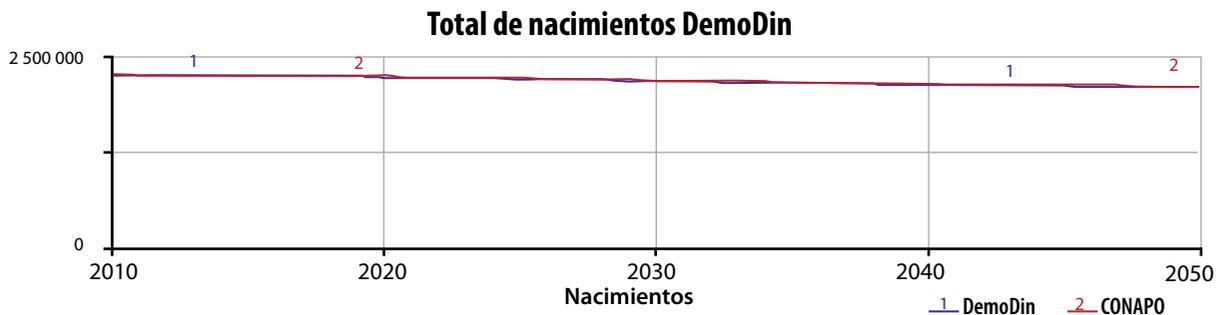
La gráfica 2 presenta las proyecciones del total de nacimientos de DemoDinMéxico-Edad Desplegada y el CONAPO para el mismo periodo mencionado. Los nacimientos totales estimados en el 2050 para el CONAPO son de 2 088 538 y para DemoDinMéxico-Edad Desplegada de 2 099 528,

lo que arroja una discrepancia de 10 990 nacimientos, equivalente a 0.53%, lo cual, también, es un error menor.

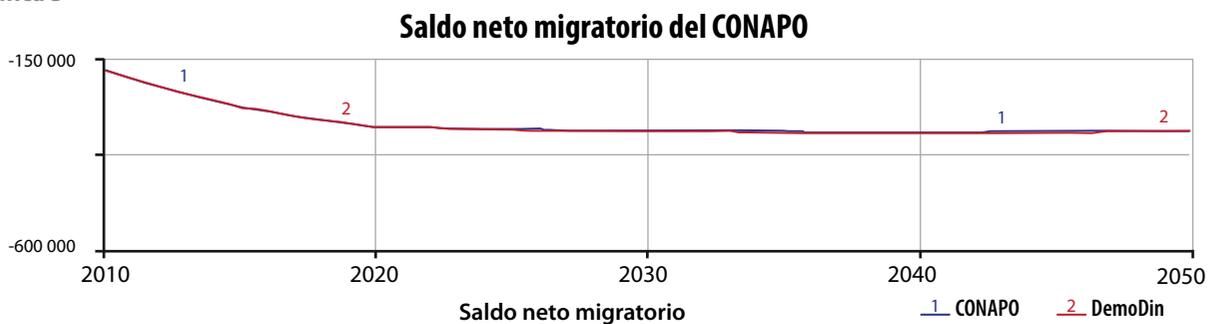
La gráfica 3 muestra las proyecciones del saldo neto migratorio de DemoDinMéxico-Edad Desplegada y el CONAPO para el periodo 2010 a 2050. En el 2050, la cifra es de 326 058 para el CONAPO y de 327 100 para DemoDinMéxico-Edad Desplegada, lo que arroja una discrepancia de 1 043 (una diferencia de sólo 0.32%), es decir, el error es insignificante.

Cabe señalar que también se generó un modelo de tasas brutas para las 32 entidades federativas,

Gráfica 2

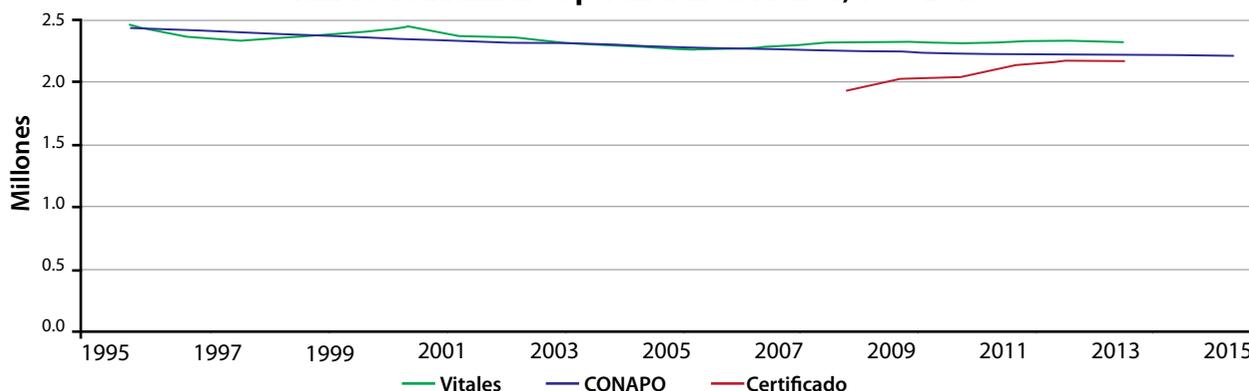


Gráfica 3



Gráfica 4

Número de nacimientos por diferentes fuentes, 1995-2015



tos de la madre, del recién nacido, de las condiciones en que se da el nacimiento y de la persona que lo certifica.

Otro registro administrativo que permite darle seguimiento continuo a los nacimientos ocurridos en México son las estadísticas vitales de natalidad que capta el INEGI. Provenientes del registro de nacimientos (actas de nacimiento), han sido una fuente de datos relevantes para la estimación de la fecundidad debido a su cobertura, nivel de desagregación geográfica, periodicidad y la calidad de la información sobre sexo, fechas de registro y de nacimiento del registrado, lugares de nacimiento y de residencia habitual de la madre, así como información de los padres.

En conjunto con estas fuentes, el CONAPO realizó las proyecciones de población a partir del

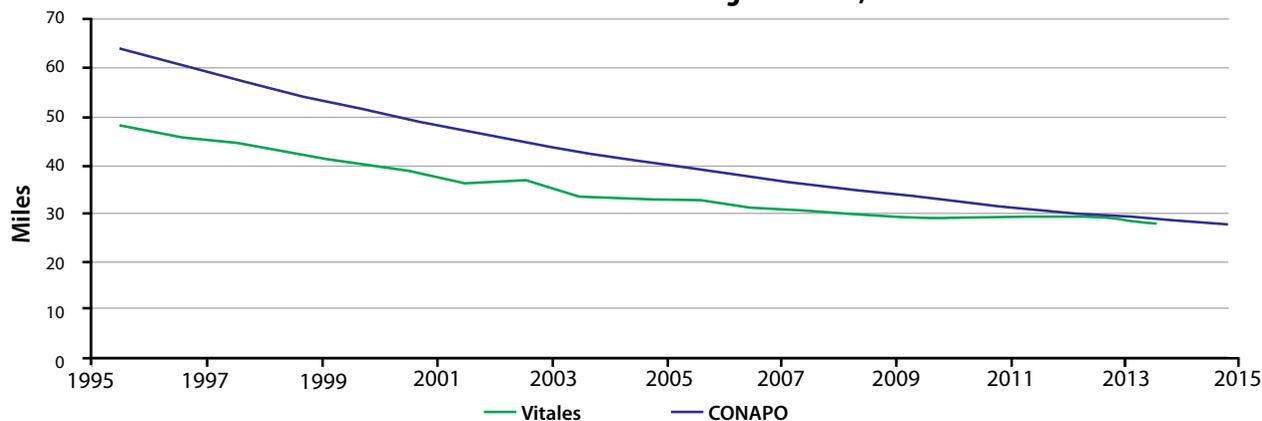
Censo de Población y Vivienda 2010, contando con la información más reciente (en ese momento para el 2009). En la actualidad, se tienen estadísticas vitales y del Certificado de Nacimiento para el 2013, por lo que, al contrastarlo con las proyecciones de población, se observa que las estadísticas vitales sugieren que el número de nacimientos para ese año es de 100 mil más que los estimados por el CONAPO, lo que representa 4.5 por ciento (ver gráfica 4).

Mortalidad

Esta variable requiere de dos componentes para estimar su tendencia y nivel, la mortalidad infantil y la general. En el caso de la primera, ha utilizado las encuestas de hogares señaladas con anterioridad, además del contraste con las estadísticas vi-

Gráfica 5

Defunciones de menores de un año según fuente, 1995-2015



tales de mortalidad. En cuanto a la mortalidad de la población en general se usan las estadísticas vitales y, después, se realiza un ajuste a un indicador resumen que es la esperanza de vida que permite contar con las probabilidades de sobrevivencia y que, finalmente, se emplean para estimar el número de defunciones del país; sin embargo, es importante señalar que se parte del supuesto de que las estadísticas vitales presentan un subregistro por lo cual, si las utilizamos para monitorear las hipótesis de proyección sobre mortalidad, es necesario analizar que los registros no se encuentren por encima de las estimaciones de defunciones de proyección.

En el caso de la mortalidad infantil, se ha podido observar que hasta el 2013 las defunciones de menores de 1 año de edad que reportan las estadísticas vitales se encuentran por debajo de las proyecciones de población en poco menos de mil decesos (que representan 3.1%). Si bien se tienen indicios de que posiblemente el nivel de mortalidad infantil sea un poco mayor a las 12.8 defunciones por cada mil nacidos vivos que se plantearon en las proyecciones de población, no se cuenta con evidencia suficiente para poder realizar una estimación, debido a que los registros vitales se encuentran aún por debajo de las estimaciones y sería muy aleatorio suponer que el nivel de subcobertura se mantiene constante a partir del 2009, cuando se tuvo información de otras fuentes de datos. Por lo anterior, se puede señalar que es posible mantener los mismos niveles de la mortalidad infantil planteada por el CONAPO, pero que es ne-

cesario realizar una revisión detallada una vez que se cuente con la ENADID 2014, las estadísticas vitales de defunciones de 2014 y los resultados de la Encuesta Intercensal 2015 (ver gráfica 5).

En cuanto a la mortalidad general, se tiene que el número total de defunciones registradas se encuentra de manera consistente por debajo de las estimaciones hechas a partir de las proyecciones de población, sugiriendo que la subcobertura establecida para las defunciones (cercana a 10%), se mantiene hasta las últimas estadísticas vitales con las que se cuenta (2013).

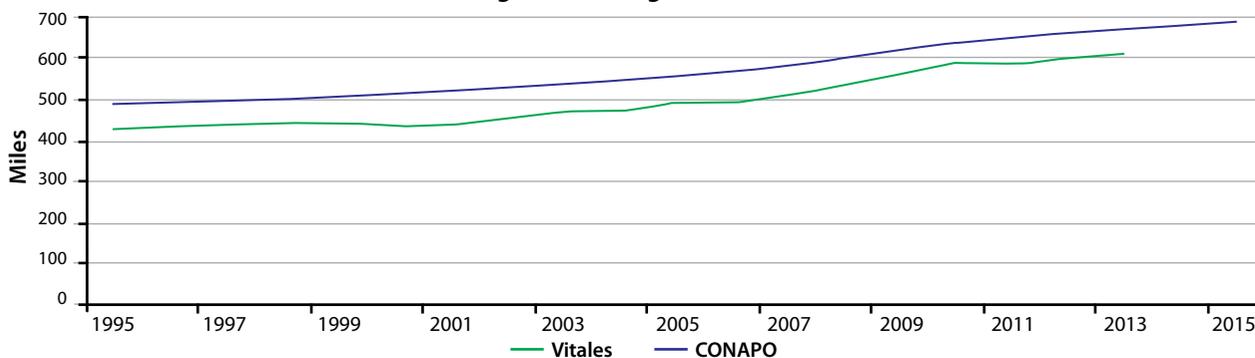
Algo similar ocurre en el caso de las muertes infantiles. La evidencia con la que se cuenta no es suficiente para plantear un cambio en los niveles y tendencias establecidos por las proyecciones de población del CONAPO; sin embargo, es importante señalar que en la medida en que se pueda disponer de las estadísticas vitales de manera más oportuna, será posible dar un seguimiento más cercano a este fenómeno (ver gráfica 6).

Migración internacional

La migración es un factor de cambio cada vez más determinante en el ritmo de crecimiento de la población, en la composición por edad y sexo, así como su distribución entre las entidades federativas. Para establecer sus niveles y tendencias se han revisado diversas fuentes, entre las que destacan:

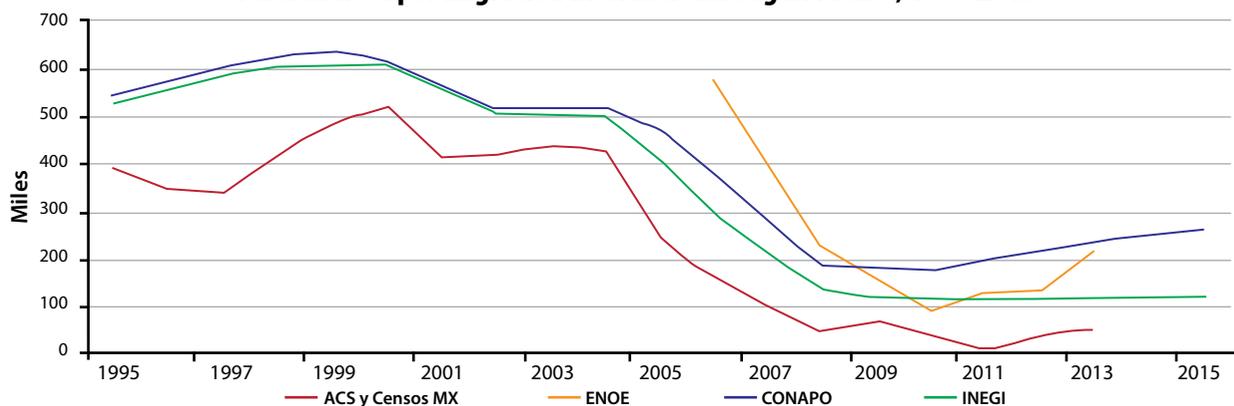
Gráfica 6

Defunciones generales según fuente, 1995-2015



Gráfica 7

Perdida neta por migración internacional según fuente, 1995-2015



- a) Censos y conteos de población de México entre 1990 y el 2010 (levantados por el INEGI).
- b) Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo (ENOE) del 2002 al 2014 (del INEGI).
- c) Encuesta de la Comunidad Americana (ACS, por sus siglas en inglés) del 2000 al 2013.

El aprovechamiento de éstas se hizo de manera combinada, obteniendo los niveles y las tendencias de la inmigración a partir de las fuentes mexicanas; para la emigración, se consideraron, sobre todo, los resultados de la ACS, en complemento con los resultados censales de México.

Los resultados brutos (serie ACS y CensosMx de la gráfica) indican que el promedio de pérdida neta entre el 2005 y 2010 es de 116 mil personas y que entre el 2010 y 2013, el promedio está por debajo de 40 mil, es decir, desde el 2005 la pérdida neta es de, al menos, 90 mil personas por año (ver gráfica 7).

Las proyecciones del CONAPO se derivan de la consideración de las mismas fuentes pero, además, involucran determinados supuestos, por ejemplo, la mejora continua y sustantiva de la economía de Estados Unidos de América, como se describe en su documento metodológico,¹ dando como resultado que estimen una pérdida neta promedio de 212 mil personas por año a partir del 2010 y hasta

el 2013. Las estimaciones superan, incluso, lo registrado en fecha reciente por el INEGI (en la ENOE), que permite una estimación de un promedio de 148 mil personas para el mismo periodo.

Las valoraciones de la serie INEGI se basan en la evidencia de las fuentes mencionadas —sin considerar variantes económicas—, dando como resultado una pérdida neta promedio de 121 mil personas para el periodo 2010-2013, posicionándose entre lo estimado a partir de la ACS, el CONAPO y cercanas a las de la ENOE. A diferencia del CONAPO, se sugiere que las tasas de migración internacional se mantengan constantes y su volumen varíe exclusivamente debido al cambio en la estructura por edad de la población.

Resultados del seguimiento

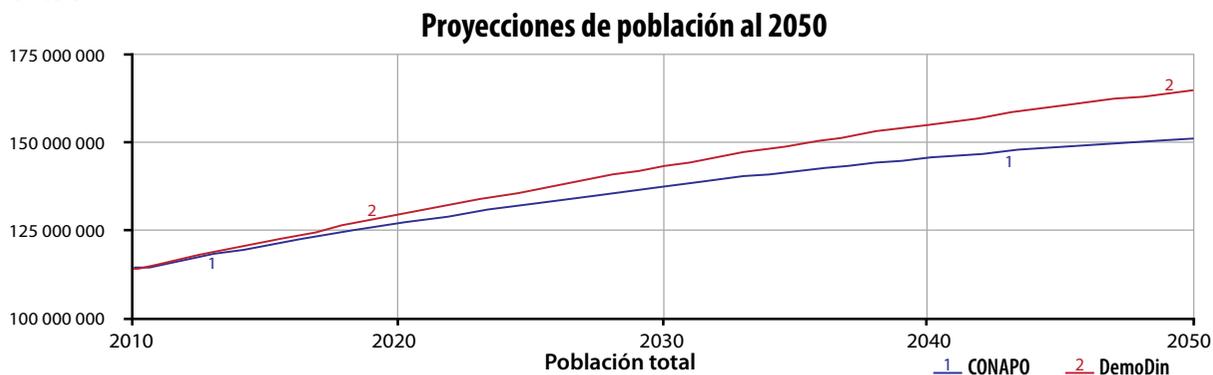
Al aplicar estos nuevos niveles y tendencias al modelo DemoDinMéxico en *Stella Research*[®], es decir, considerar que la fecundidad observada es de alrededor de 100 mil nacimientos mayor a la planteada en las hipótesis de proyección del CONAPO cada año, considerar una pérdida de población por migración internacional cercana a 120 mil personas cada año y mantener las mismas hipótesis para la mortalidad infantil y general, se tiene que la población esperada para 2015, a partir de la conciliada del Censo de Población y Vivienda 2010 (que estableció una cifra de 114.3 millones a mediados del 2010), sería cercana a 122 millones de personas.

¹ CONAPO. *Proyecciones de la población 2010-2050*. México, Consejo Nacional de Población, 2014, p. 88. Consultado en http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Documentos_Tecnicos el 4 de junio de 2015.

Estos resultados nos señalan que no existe una diferencia significativa entre las proyecciones del CONAPO y las estimaciones a partir del seguimiento de los componentes demográficos con DemoDinMéxico a corto plazo; sin embargo, al final del horizonte de proyección (2050), las

diferencias se van acentuando: por un lado, las proyecciones del CONAPO suponen una población de 150.8 millones de personas, en cambio, DemoDinMéxico estima que serán 162.9 millones, es decir, 12.1 millones de personas más (ver gráfica 8 y cuadro).

Gráfica 8



Estimaciones recientes y proyecciones de la fecundidad, mortalidad infantil y general, así como migración internacional, 2010-2013

Componente demográfica	2010	2011	2012	2013
Nacimientos				
Estadísticas vitales ¹	2 335 269	2 353 553	2 357 664	2 345 908
CONAPO ²	2 251 731	2 249 218	2 247 125	2 245 228
Diferencia %	3.7%	4.6%	4.9%	4.5%
Mortalidad infantil				
Estadísticas vitales ³	28 865	29 050	28 956	27 775
CONAPO ²	31 713	30 628	29 616	28 673
Diferencia %	-9.0%	-5.2%	-2.2%	-3.1%
Mortalidad general				
Estadísticas vitales ³	592 018	590 693	602 354	611 829
CONAPO ²	640 522	651 896	664 424	672 978
Diferencia %	-7.6%	-9.4%	-9.3%	-9.1%
Migración internacional				
INEGI ⁴	118 646	120 175	121 585	122 867
CONAPO ²	182 532	203 590	222 313	239 017
Diferencia %	-35.0%	-41.0%	-45.3%	-48.6%

Fuente: ¹ INEGI. Estadísticas vitales de nacimientos 1995-2015. SSA.
² CONAPO. *Proyecciones de la población de México 2010-2050*.
³ INEGI. Estadísticas vitales de defunciones 1995-2013.
⁴ INEGI. Estimaciones a partir de:
 US Census Bureau. American Community Survey, años 2000 al 2013.
 INEGI. *Censo de Población y Vivienda 2010*.
 _____ *II Censo de Población y Vivienda 2005*.
 _____ *XII Censo General de Población y Vivienda 2000*.
 _____ *ENOE. 2.º trimestre del 2002 al 3.º trimestre del 2014*. Boletines de prensa.

Otros usos de DemoDinMéxico

El desarrollo de los modelos que a continuación se describen ha sido una satisfactoria sorpresa para el equipo de trabajo de DemoDinMéxico, ya que con el avanzado trabajo que se tiene en población, se ha logrado evolucionar en nuevas aplicaciones de manera ágil y con una inversión mínima de tiempo para su construcción.

DemoDinMéxico para proyectar el programa Seguro de Vida para Jefas de Familia

El INEGI apoyó a la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) en ese programa, que se dirige a incorporar a las jefas de familia en condición de vulnerabilidad a un seguro de vida. La edad de aseguramiento de ellas es a partir de los 12 años y hasta los 68, con hijos menores de 24 años.

Con ayuda del DemoDinMéxico se proveyó a SEDESOL de una herramienta que permite estimar la demanda futura, es decir, de los beneficiarios, así como el costo anual acumulado del programa 2014-2050.

DemoDinMéxico para la proyección de analfabetismo

La Campaña Nacional de Alfabetización y Abatimiento del Rezago Educativo, llevada a cabo por el Instituto Nacional para la Educación de los Adultos (INEA), tiene como objetivo alfabetizar a 2.2 millones de personas y reducir el índice de personas que no saben leer y escribir a 3.5% en 2018.

El Instituto ofrece propuestas de estimación de la población analfabeta para el periodo 2010-2030 por medio de las tasas de analfabetismo por grupos quinquenales de edad y sexo para cada entidad federativa y una estimación de la población analfabeta a través de la metodología de prospectiva demográfica. En la actualidad, la Dirección de Análisis Demográficos del Instituto se concentra

en el proceso de incorporar el modelo a *Stella Research*®.

Fuentes

CONAPO. *Proyecciones de la población 2010-2050*. México, CONAPO, 2014. Consultado en <http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Proyecciones> en junio del 2015.

Dirección General de Planificación Familiar, Subsecretaría de Servicios de Salud, Secretaría de Salud e Institute for Resource Development/Macro Systems, Inc. Columbia, Maryland, EE.UU. *Encuesta Nacional de Fecundidad y Salud (ENFES) 1987*. México, DF, 1989. Consultado en <http://dhsprogram.com/publications/publication-FR24-DHS-Final-Reports.cfm> en junio del 2015.

Forrester, Jay W. "Policies, decisions and information sources for modeling", en: *European Journal of Operational Research*. Volume 59, Issue 1, 26 May 1992, pages 42-63. Consultado en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/037722179290006U> en junio del 2015.

INEGI. Censos de población 1990-2010. México, INEGI. Consultados en <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/default.aspx> en junio del 2015.

_____. Censos de Población 1995 y 2005. México, INEGI. Consultado en <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/default.aspx> en junio del 2015.

_____. Encuesta Nacional de la Dinámica Demográfica (ENADID) 1992, 1997 y 2009. Consultadas en <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/encuestas/hogares/especiales/enadid/default.aspx> en junio del 2015.

_____. Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo (ENOE) 2002-2014. Consultadas en <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/Proyectos/encuestas/hogares/regulares/enoe/> en junio del 2015.

_____. *Registros administrativos. Natalidad*. México, INEGI. Consultado en <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/registros/vitales/natalidad/default.aspx> en junio del 2015.

_____. *Registros administrativos. Mortalidad*. México, INEGI. Consultado en <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/registros/vitales/mortalidad/default.aspx> en junio de 2015.

Instituto Nacional de Salud Pública, CONAPO, Secretaría de Salud e INEGI. *Encuesta Nacional de la Dinámica Demográfica (ENADID) 2006*. Consultado en <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/encuestas/hogares/especiales/enadid/default.aspx> en junio del 2015.

United States Census Bureau. *American Community Survey 2000-2013*. Consultado en <https://www.census.gov/acs/www/#> en junio del 2015.