



Papeles de Población
ISSN: 1405-7425
rpapeles@uaemex.mx
Universidad Autónoma del Estado de México
México

Proyecciones poblacionales y económicas bajo diferentes escenarios para México

Mendoza-Ponce, Alma Virgen; Corona-Núñez, Rogelio Omar; Galicia-Sarmiento, Leopoldo; García-Guerrero, Víctor Manuel

Proyecciones poblacionales y económicas bajo diferentes escenarios para México

Papeles de Población, vol. 25, núm. 99, 2019

Universidad Autónoma del Estado de México, México

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=11260181002>

DOI: <https://doi.org/10.22185/24487147.2019.99.02>

Proyecciones poblacionales y económicas bajo diferentes escenarios para México

Population and economic projections under different scenarios for Mexico

Alma Virgen Mendoza-Ponce *

almamendoza@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-9069-0652>

DOI: <https://doi.org/10.22185/24487147.2019.99.02>

Redalyc: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=11260181002>

id=11260181002

Rogelio Omar Corona-Núñez *

Procesos y Sistemas de Información en Geomática, México

rogelio.corona@sigeomatica.com

 <http://orcid.org/0000-0002-1966-637>

Leopoldo Galicia-Sarmiento *

Sistema Nacional de Investigadores, México

lgalicia@igg.unam.mx

Víctor Manuel García-Guerrero *

El Colegio de México, México

vmgarcia@colmex.mx

 <http://orcid.org/0000-0003-1367-9262>

Recepción: 16 Mayo 2017

Aprobación: 09 Julio 2018

RESUMEN:

NOTAS DE AUTOR

- * Doctora en Estudios Atmosféricos y Ambientales por la Universidad de Edimburgo, Reino Unido y con posdoctorado en el International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA) en Austria. Estudió biología y la maestría en Ciencias Biológicas en la UNAM. Asimismo, posee un master sobre conservación de especies en comercio por la Universidad Internacional de Andalucía. Ha sido profesora en la carrera de Biología en la Facultad de Ciencias de la UNAM. Tiene estudios complementarios en modelados de sistemas dinámicos, de cambio de usos de suelo, y de divulgación de la ciencia. Ha participado en foros nacionales e internacionales de medio ambiente, presentando trabajos relacionados con los impactos antrópicos sobre los ecosistemas.
- * Es el director general de la empresa Procesos y Sistemas de Información en Geomática. Es maestro en ciencias biológicas por la Facultad de Ciencias de la UNAM y doctor en Estudios Atmosféricos y Ambientales por la Universidad de Edimburgo, Reino Unido. Realizó una estancia de investigación en el WSL de Suiza para evaluar los impactos socioeconómicos en los sistemas naturales. Ha impartido cursos de licenciatura de recursos naturales y sistemas terrestres para la carrera en biología y de ingeniería ambiental. Así también ha hecho diversas presentaciones en diferentes foros de divulgación. Se ha especializado en análisis geoestadísticos, impactos antropogénicos sobre los sistemas naturales, y manejo y conservación de los ecosistemas.
- * Investigador titular C de tiempo completo y categoría II del Sistema Nacional de Investigadores. El Dr. Galicia es licenciado en Geografía por la Facultad de Filosofía y Letras, UNAM y doctorado en Ecología, por el Instituto de Ecología, UNAM. 2001. Ha realizado estancias en Sydney, Australia en la Universidad de McGill, Montreal, Canadá. Sus líneas de investigación son: 1) la ecología de ecosistemas de bosques templados, 2) los impactos del manejo forestal sobre la estructura y funcionamiento de los ecosistemas, y 3) los servicios ecosistémicos, el manejo forestal y agrícola. Ha publicado más de 50 artículos en revistas arbitradas internacionales. También ha desarrollado proyectos DGAPA, PAPIIT y CONACyT. Asimismo, ha sido asesor de más de 20 tesis en diversas áreas ambientales y ha sido docente durante más de 15 años en la UNAM.
- * Es Profesor-Investigador y coordinador de la Maestría en Demografía del Centro de Estudios Demográficos, Urbanos y Ambientales de El Colegio de México (CEDUA-Colmex). Es doctor en Estudios de Población por el Colmex; parte de su investigación doctoral la realizó en el World Population Program del International Institute for Applied Systems Analysis en Austria y tomó cursos en el Max Planck Institute for Demographic Research en Alemania. Estudió Actuaría, la maestría en Investigación de Operaciones y un diplomado en Econometría Avanzada en la UNAM. Sus temas de investigación son: estimaciones y proyecciones de población y su uso en la política pública y toma de decisiones, modelación matemática, estadística y computacional de la mortalidad, fecundidad y migraciones. Es autor del libro: García Guerrero, Víctor Manuel (2014). Proyecciones y Políticas de Población en México, Centro de Estudios Demográficos, Urbanos y Ambientales, El Colegio de México, Es coautor de las proyecciones de población oficiales de México elaboradas para el Consejo Nacional de Población publicadas en: Partida Bush, Virgilio y VM García Guerrero (2018). Proyecciones de la Población de México y sus Entidades Federativas 2016-2050, Consejo Nacional de Población, Fondo de Población de Naciones Unidas.

Los escenarios existentes que incluyen proyecciones poblacionales y económicas no permiten ser utilizados a niveles sub-nacionales. En países en desarrollo la información a nivel sub-nacional y la contextualización de escenarios es escasa. El objetivo de este trabajo es mostrar cómo pueden superarse estas limitaciones desarrollando: 1) proyecciones demográficas (probabilísticas y determinísticas) y económicas (probabilísticas) bajo diferentes escenarios y escalas temporales y espaciales, y 2) espacializar la distribución de la población a una resolución de un km². Los resultados indican que para el 2050, la población mexicana podría ser entre 22 a 55 por ciento más grande que en el 2010 y tener un crecimiento del PIB entre 0.54 y 2.5 por ciento. Este estudio muestra cómo los escenarios socioeconómicos sub-nacionales son necesarios para la evaluación de la vulnerabilidad de los sistemas socio-ecológicos.

PALABRAS CLAVE: Escenarios, cambio ambiental global, demografía, México.

ABSTRACT:

Existing scenarios that include population and economic projections do not allow to be used at sub-national levels. In developing countries, information at the sub-national level and the contextualization of scenarios is scarce. The objective of this paper is to show how these limitations can be overcome by developing: 1) demographic (probabilistic and deterministic) and economic (probabilistic) projections under different scenarios and temporal and spatial scales, and 2) spatialize the distribution of the population at a resolution of one km². The results indicate that by 2050, the Mexican population could be between 22 to 55 percent larger than in 2010 and have a GDP growth between 0.54 and 2.5 percent. This study shows how sub-national socio-economic scenarios are necessary for the assessment of the vulnerability of socio-ecological systems.

KEYWORDS: Scenarios, global environmental change, demography, Mexico.

INTRODUCCIÓN

Las proyecciones poblacionales y económicas son de gran importancia en la investigación del cambio ambiental global, ya que la dinámica poblacional está estrechamente relacionada con las emisiones de gases de efecto invernadero que conducen al cambio climático, la contaminación, el uso de recursos y los cambios de uso y cobertura del suelo (Jones y O'Neill, 2016). Además, el saber dónde se distribuye la población permite establecer las estrategias de planeación dirigidas a áreas en donde un mayor número de personas puede enfrentar más exposición o vulnerabilidad a eventos ambientales como son las sequías, las tormentas, los incendios o las inundaciones (Matsui *et al.*, 2018). Hace más de treinta años Porter (1985) definió a los escenarios como visiones, internamente consistentes, de cómo el futuro podría desenvolverse. Los escenarios están basados en dos componentes, uno cuantitativo, el cual lo constituyen las proyecciones, y un elemento cualitativo, formado por las narrativas (Rounsevell y Metzger, 2010). Los escenarios no pueden ser considerados como predicciones debido, principalmente, a dos elementos: i) la inherente incertidumbre del comportamiento de los conductores que consideran, y ii) la complejidad temporal y espacial de las interrelaciones (MEA, 2005; Abildtrup *et al.*, 2006; Zurek y Henrichs, 2007). Sin embargo, los escenarios, a pesar de su incertidumbre, tienen un gran valor al permitir comunicar los posibles cambios futuros del desarrollo de los conductores de cambio de un sistema (Rounsevell y Metzger, 2010). Asimismo, las narrativas permiten reflexionar sobre los supuestos de las trayectorias de los conductores, en los cuales los escenarios se sustentan, se desarrollan (por ejemplo, el crecimiento poblacional, el consumo energético, y el desarrollo tecnológico) y que de manera última determinan los impactos antropogénicos en el ambiente. Los escenarios globales, como aquellos del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés), sobre el Reporte especial de los Escenarios de Emisiones (llamados SRES) o las Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (conocidos como SSPs), pocas veces han sido contextualizados nacionalmente y ello ha dificultado el entendimiento de los elementos poblacionales y económicos, sus cambios espacio-temporales, y los posibles efectos en el ambiente.

En años recientes, algunos países han desarrollado y publicado estudios relacionados con diversos escenarios socioeconómicos (EEA, 2011), tanto a escala regional como nacional (Kaivo-oja *et al.*, 2004; Sleeter *et al.*, 2012). Estos estudios se encuentran en países desarrollados, especialmente aquellos pertenecientes a la Unión Europea (Rounsevell *et al.*, 2006; Verburg *et al.*, 2006; Costantini *et al.*, 2007). En

contraste, los estudios nacionales en países en desarrollo son escasos, tal es el caso de México, considerando que son éstos los más vulnerables ante los efectos del cambio ambiental global (Yohe *et al.*, 2006). Existen ejemplos de escenarios globales, que están disponibles libremente a varias resoluciones espaciales (CIESIN, 2004; IIASA, 2012). Sin embargo, estos escenarios demográficos y económicos están a resoluciones muy gruesas (Arnell *et al.*, 2004; Gaffin *et al.*, 2004; Grübler *et al.*, 2007; Riahi *et al.*, 2007; van Vuuren *et al.*, 2007). Por ejemplo, la resolución más fina disponible para la mayoría de los países en desarrollo es de 0.5o x 0.5o (~55km x 55 km en el Ecuador) (Grübler *et al.*, 2007). Esta información generada a dichas resoluciones no permitiría la implementación de estrategias específicas y contextualizadas (Verburg *et al.*, 2006), como por ejemplo, la generación de políticas públicas para la mitigación ante el cambio climático, o la implementación de acciones puntuales para la reducción de la vulnerabilidad de la población ante los impactos meteorológico, planes de desarrollo sociales y económicos, entre otros.

Si bien México ha reconocido la necesidad de implementar políticas o estrategias nacionales de índole social y ambiental, éstas han sido poco dirigidas a los contextos de las problemáticas locales, y muchas veces se ha minimizado su importancia para el desarrollo nacional. Esta dificultad puede deberse a la gran heterogeneidad social, económica y ambiental de sus 32 estados y sus más de 2,450 municipios. Por ejemplo, en cuestión demográfica, la población de México se cuadruplicó en el periodo 1950-2005, pasando de 25.8 millones de personas a 112 millones (INEGI, 2010b), pero el crecimiento fue heterogéneo, ya que algunos estados incrementaron su población más de 40 veces, mientras que otros se duplicaron en ese mismo periodo (Rhoda y Burton, 2010). El mayor crecimiento se presentó en la población urbana pasando de 43 por ciento a más de 74 por ciento del país (INEGI, 2010c).

La distinción entre urbano y rural tiene un rol importante en el momento de hacer proyecciones poblacionales y económicas, debido a las definiciones y supuestos empleados en la metodología, y en consecuencia en los resultados obtenidos. De acuerdo al Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), México establece un umbral de 2,500 habitantes para diferenciar las entidades rurales y urbanas (INEGI, 2010c). En contraste, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo y Económico (OECD, por sus siglas en inglés) establece un criterio de ruralidad en función de la densidad poblacional: < 150 habitantes por km² (OECD, 2010). Esto es relevante ya que el uso de recursos, mayoritariamente fluye de las zonas rurales a las urbanas y en el momento de los análisis de producción y consumo, las definiciones pueden sesgar resultados diferentes.

En términos de economía, en el año 2010, México estaba considerado como la décimo primera economía más grande del mundo (Hoornweg *et al.*, 2010). Las tasas de crecimiento del Producto Interno Bruto (PIB) han oscilado de manera importante desde 1993, mostrando valores desde -6.2 por ciento hasta 7.2 por ciento de crecimiento anual, con un valor promedio de 2.6 por ciento (INEGI, 2012). A pesar del crecimiento moderado de la economía nacional, la distribución de la riqueza económica es desigual. Por ejemplo, se estima que para el año 2014 solamente cuatro mexicanos acaparaban nueve por ciento del PIB nacional (Esquivel, 2015). Geográficamente, la riqueza muestra dinámicas contrastantes también. Los estados del norte del país son los que han mostrado un mayor crecimiento económico, sobre todo desde la firma del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), mientras que los estados del sur han mostrado un decrecimiento en términos del PIB (Rodríguez-Oreggia, 2005).

Ahora bien, el desarrollo económico y el crecimiento poblacional se han relacionado de manera muy estrecha con los cambios en los sistemas naturales. Diferentes autores han reportado que la deforestación se vincula con el crecimiento poblacional (Ningal *et al.*, 2008; Lambin y Meyfroidt, 2011), mientras que otros a nivel local han reportado que la relación del PIB y la expansión urbana han promovido la regeneración natural de los bosques, por la reducción de las actividades primarias (Aide y Grau, 2004). Sin embargo, en países en vías de desarrollo, como México, esta información no se encuentra a escalas finas que permitan entender estos procesos, y en su caso, implementar las políticas adecuadas para reducir las afectaciones ambientales, y la vulnerabilidad de las comunidades.

La relación que existe entre los conductores poblacionales y tecnológicos, y los sistemas naturales requieren de datos cuantitativos que permitan entender el desarrollo posible de las trayectorias de cada elemento, como la población y la economía, y la interacción de estos. La generación de las proyecciones cuantitativas permite analizar las relaciones de los conductores de cambio y los efectos de estos con el ambiente. Es por esto, que este estudio tiene como objetivo contextualizar y proyectar anualmente los conductores socioeconómicos a nivel nacional y sub-nacional para México hasta el año 2080. Para ello, se generaron proyecciones poblacionales, por medio de dos métodos (determinístico y probabilístico), y económicas a través de un método probabilístico auto-regresivo. Asimismo, se produjeron mapas de la distribución poblacional nacional para diferentes fechas y escenarios a una resolución de un kilómetro por un kilómetro, lo que constituiría el conjunto de datos espaciales más finos creado para México, y de algún otro país en vías de desarrollo.

MÉTODOS

Proyecciones poblacionales

Las proyecciones poblacionales fueron desarrolladas anualmente hasta el año 2080 ya que ha sido un horizonte temporal para escenarios de índole ambiental, especialmente los relacionados al cambio climático (Nakicenovic *et al.*, 2000). Los escenarios de crecimiento alto, medio y bajo se estimaron con dos métodos: i) uno determinístico y ii) uno probabilístico. Estas aproximaciones permiten resaltar las diferencias cuantificables entre los métodos, y tratar de resolver las deficiencias de las bases de datos nacionales. Cualquier tipo de proyecciones de población, ya sean probabilísticas o determinísticas, dependen principalmente de dos factores: i) la estimación inicial, y ii) los supuestos que se utilizan para su extrapolación. Las estimaciones iniciales dependen a su vez de la calidad de la información, así como de las técnicas estadísticas y demográficas para realizarlas.

Las técnicas de proyección conforman un cuerpo de conocimiento que integran, en una sola metodología, gran parte de las herramientas metodológicas del análisis demográfico (García-Guerrero, 2014). Como se mencionó arriba, existen dos enfoques metodológicos, el determinístico y el probabilístico. Con ambos enfoques se puede proyectar el volumen total de la población a partir de la extrapolación de cohortes por edad y sexo. A esta forma de proyección se le conoce, en español, como método de los componentes demográficos (MCD).¹

De acuerdo con García Guerrero (2014, 2017) el MCD consiste en proyectar los niveles y tendencias de la mortalidad, fecundidad, inmigración y emigración, utilizando algún método de extrapolación; luego se imputa una estructura por edades de alguna otra fuente. Para proyectar los sobrevivientes futuros por edades, primero se proyecta la mortalidad y se calculan las probabilidades de sobrevivencia, mismas que se multiplican por la población a inicio de cada año considerado dentro de la proyección, después al resultado se le agregan los inmigrantes y se le restan los emigrantes para cada edad. Finalmente, se calculan los nacimientos a partir de la proyección de las tasas específicas de fecundidad y de multiplicarlas a la población femenina proyectada en edades reproductivas. El procedimiento se repite hasta cubrir todo el horizonte de tiempo que se desea proyectar (i.e. cada uno de los años en el futuro que se desean proyectar, también llamado horizonte de proyección).

Proyección poblacional determinística

En su vertiente determinística, este procedimiento se calcula una sola vez. Es decir cada punto en el tiempo calculado implica un solo punto en el tiempo en el futuro. Este tipo de proyecciones está lejos de ofrecer datos

ciertos sobre el futuro demográfico ya que, como en cualquier extrapolación del futuro, se articulan muchos factores que incrementan su incertidumbre o rango de error (García-Guerrero, 2014). Dichas proyecciones son simulaciones sobre el futuro de la demografía de tipo “qué pasaría si...” ocurriese determinada evolución de la mortalidad, fecundidad y migración (Lee, 1998; Alho y Spencer, 2005).

Bajo este esquema, es prácticamente imposible calcular todos los escenarios posibles o todas las combinaciones de trayectorias posibles de la mortalidad, fecundidad y migración que conlleven a escenarios de alto o bajo crecimiento demográfico. Sin embargo, usualmente se calculan escenarios alternativos donde se simula un alto crecimiento poblacional y uno bajo con el fin de mostrar la plausibilidad de la proyección que será utilizada para la toma de decisiones (Gómez de León y Partida, 2001), y con ello evaluar la amplitud de las proyecciones.

La proyección de la población determinística fue desarrollada a nivel municipal, y después agregada a nivel estatal y nacional. Este método estuvo basado en tablas de vida construidas por cohortes cada cinco años (Rowland, 2006). Las tablas de vida están compuestas por tres elementos demográficos: fecundidad, mortalidad y migración. La fecundidad se mide como la tasa global de fecundidad (TGF), que es calculada a partir de las tasas específicas de fecundidad para cada año y cada cohorte (TEF) (Ecuación 1); TGF es la suma de cada una de las TEF (por cada mil) (Ecuación 2) (Rowland, 2006). La mortalidad es derivada de la tasa de supervivencia de cada cohorte (Klosterman et al., 1993). La migración neta es la diferencia entre la tasa de crecimiento natural (tiempo 1), y la información del año previo (tiempo 0), expresado en valores absolutos. El modelo puede ser modificado en función del ajuste de los supuestos de fecundidad para cada cohorte, el volumen neto de la migración, y la tasa de supervivencia. Las tablas de vida permiten los cálculos de supervivencia para la cohorte subsecuente. Los datos base utilizados para generar las proyecciones de los componentes de las cohortes fueron los censos de México del año 2005 y 2010 (INEGI-CONAPO-COLMEX, 2006; INEGI, 2010a). Las estimaciones de mortalidad y migración de los censos son altamente inciertas a nivel municipal, especialmente para municipios con poca población que tienden a generar proyecciones negativas. La migración fue mantenida constantes en las proyecciones poblacionales con el fin de evitar poblaciones negativas.

$$TEF_x = \frac{\text{Número de nacimientos por mujer a la edad } X}{\text{Población femenina a mitad de año por cohorte}} * 1000 \quad (1)$$

[1]

$$TGF (\text{por mujer}) = \frac{\text{Suma de las TEF} * 5}{1000} \quad (2)$$

[2]

Donde: TEF es la tasa específica de fecundidad por cohorte de cinco años y TGF es la tasa global de fecundidad.

En México, los municipios con mayor marginación, relacionados con áreas rurales, tienen las mayores tasas de fecundidad (INEGI, 2006), por esto es importante considerar el grado de ruralidad de cada municipio y ajustar la TGF de las proyecciones poblacionales. En este estudio se utilizaron tanto los criterios de la OCDE y del INEGI para definir la ruralidad municipal. Sin embargo, en los casos en los que se encontró una contradicción se tomó en consideración el índice de marginación del año 2010 reportado por CONAPO (2011) para definir si dicho municipio era rural o urbano. Por ejemplo, en el año 2010 el INEGI reportó para el municipio de Calvillo una población de 54,136 personas, una densidad de 58.63 personas por km², y un índice de marginación bajo. Como consecuencia, basándonos en el criterio del INEGI, este municipio sería considerado urbano, mientras que al aplicar el criterio de la OCDE el mismo municipio sería rural;

tomando en cuenta que el índice de marginación es bajo, este municipio fue considerado como urbano. El presente estudio utilizó la TGF propuesta por la ONU para las proyecciones de los escenarios alto, medio y bajo, dependiendo de la ruralidad y del escenario en cuestión (Tabla 1). El resultado es la obtención de tres proyecciones poblacionales en las diferentes cohortes bajo diferentes TGF con una migración y tasas de supervivencia constantes debido a que con los datos de los censos, los municipios pequeños mostraban poblaciones negativas (Figura 1).

TABLA 1
Tasa Global de Fecundidad usadas en los escenarios alto, medio y bajo en las proyecciones poblacionales con base en de la urbanidad y ruralidad de los municipios (UN, 2010)

Escenario	Alto (A)		Medio (M)		Bajo (B)	
	Municipios (TGF)					
Año	Urbano (A)	Rural (A)	Urbano (M)	Rural (A)	Urbano (B)	Rural (M)
2010	2.4774	2.4774	2.2274	2.4774	1.9774	2.2274
2015	2.4774	2.4774	2.0724	2.4774	1.6724	2.0724
2020	2.4439	2.4439	1.9439	2.4439	1.4439	1.9439
2025	2.3417	2.3417	1.8417	2.3417	1.3417	1.8417
2030	2.2670	2.2670	1.7670	2.2670	1.2670	1.7670
2035	2.2190	2.2190	1.7190	2.2190	1.2190	1.7190
2040	2.1973	2.1973	1.6973	2.1973	1.1973	1.6973
2045	2.1972	2.1972	1.6972	2.1972	1.1972	1.6972
2050	2.2160	2.2160	1.7116	2.2160	1.2116	1.7116
2055	2.2374	2.2374	1.7334	2.2374	1.2374	1.7334
2060	2.2662	2.2662	1.7662	2.2662	1.2662	1.7662
2065	2.2978	2.2978	1.7978	2.2978	1.2978	1.7978
2070	2.3284	2.3284	1.8284	2.3284	1.3284	1.8284
2075	2.3572	2.3572	1.8572	2.3572	1.3572	1.8572
2080	2.3838	2.3838	1.8838	2.3838	1.8838	1.8838

Fuente: Organización de las Naciones Unidas (UN por sus siglas en inglés) 2010, World Population Prospects.

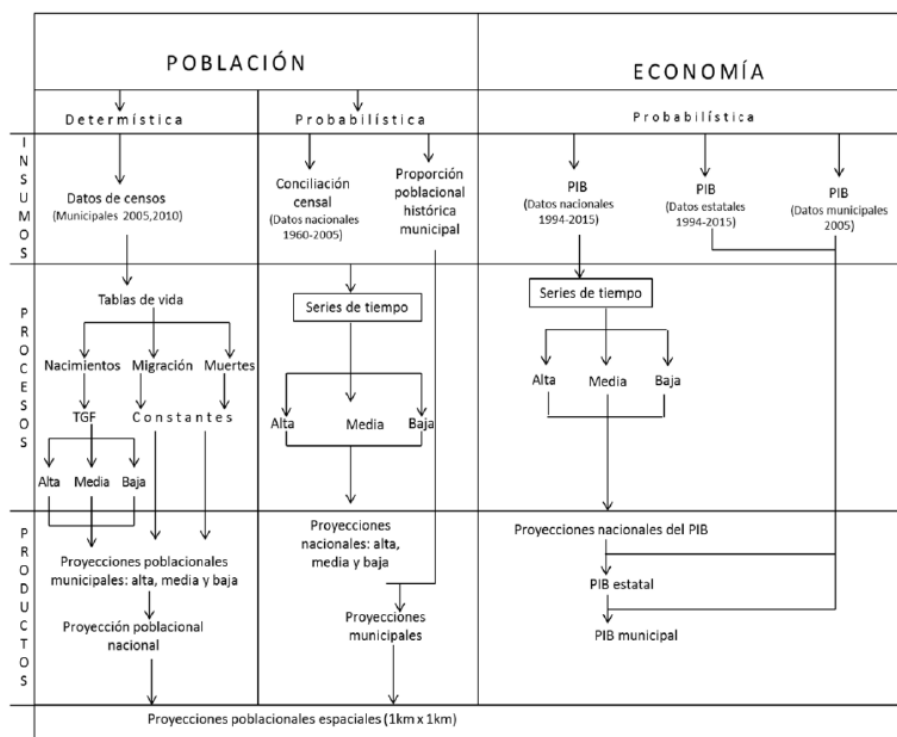


FIGURA 1

Diagrama de flujo del desarrollo metodológico seguido para desarrollar las proyecciones socioeconómicas

Fuente: elaboración propia.

Proyección poblacional probabilística

Para subsanar las deficiencias de las proyecciones de población determinísticas se han realizado proyecciones de tipo probabilístico. Estas consisten en determinar el conjunto de escenarios probables que tendría la dinámica demográfica en su conjunto, así como la de las componentes que la conforman, a partir de una serie temporal de información estimada (la cual, para el caso de México puede ser la conciliación demográfica). Existen tres tipos de aproximaciones para el cálculo de proyecciones probabilísticas: i) la bayesiana (Raftery *et al.*, 2014), ii) utilizando métodos de simulación estocástica (García-Guerrero, 2014), y iii) utilizando las técnicas de suavización exponencial y datos funcionales (Hyndman y Booth, 2008).

En la versión probabilística del MCD, cada punto en el tiempo calculado implica un conjunto de posibles realizaciones del futuro, por ello, usualmente a este tipo de proyecciones se les conoce como pronósticos. Este término hace referencia a que no se calcula un solo escenario futuro, sino que se calculan miles de ellos en función de la incertidumbre asociada (llamadas realizaciones del pronóstico). Dichas realizaciones se agrupan en un intervalo de predicción que lleva consigo una probabilidad de ocurrencia. A partir de estos cálculos, es posible extraer un escenario que resume el comportamiento promedio de la dinámica de la variable demográfica en cuestión o de la población total.² En este marco, la principal diferencia entre las proyecciones y los pronósticos de población es que en las primeras se construye un escenario, y después se evalúa su plausibilidad; en cambio, en las estocásticas primeramente se mide y se pronostica su variabilidad, y luego, se extrae el escenario medio de referencia (García-Guerrero, 2017).

Para estos análisis se utilizó la información de la encuesta intercensal de población 2015 (INEGI, 2015) para validar los datos nacionales de las proyecciones determinísticas y probabilísticas con los diferentes escenarios.

Proyecciones económicas

Las proyecciones se basaron en la técnica auto-regresiva de promedios móviles integrada (ARIMA, por sus siglas en inglés). Esta técnica fue seleccionada para proyectar el crecimiento del PIB toda vez que sigue un proceso estocástico que no necesita información de los factores que influyen en su crecimiento. Además, permite la estimación de valores futuros en función de las observaciones pasadas en forma auto-regresiva. Las proyecciones del PIB fueron desarrolladas a nivel nacional con la información oficial para el periodo 1993-2015 en pesos mexicanos constantes del año 2008 (INEGI, 2012, 2015), los datos fueron convertidos a dólares del 2008 considerando una tasa de cambio constante de 11.14381 pesos por dólar. De esta manera, la información ya cuenta con la transformación de deflación y permite la comparación entre los diferentes años de la serie de tiempo.

La información que compone la serie de tiempo fue descompuesta en 66 sub-muestreos, cada uno con un mínimo de 12 años consecutivos, por ejemplo 1993-2007, 1994-2007 y 1995-2007. Este mínimo de 12 años fue definido por el sesgo que se pudiera presentar por las políticas nacionales debido a los periodos políticos sexenales. El proceso fue generado de manera iterativa para todas las combinaciones posibles. Para cada uno de los 66 sub-muestreos existen 216 posibles combinaciones de los factores p , q y d , que son los factores que influyen en el modelo ARIMA. Esto arroja un total de 14,256 modelos que fueron generados y evaluados. Para identificar el mejor modelo de ARIMA para cada uno de los sub-muestreos, se adoptó una selección automática con base en el criterio de Akaike más bajo. El criterio de Akaike se utilizó por que evalúa la bondad de ajuste de los modelos, y penaliza los modelos más complejos. Además, este indicador es el recomendado al momento de construir y seleccionar los mejores modelos ARIMA (Akaike, 1974; Ozaki, 1977; Aguirre, 1994); todos los modelos seleccionados fueron revalidados por inspección de los residuales.

Los acuerdos multi-modelos fueron validados por dos métodos. En el primer método se evaluaron las diferencias entre las estimaciones por medio de la prueba de Wilcoxon-Mann-Whitney, en la cual se contrastan los valores observados y modelados del PIB para el periodo 2005-2016. El segundo método consistió en una validación independiente con valores no incluidos en la calibración del modelo para los trimestres dos, tres y cuatro del año 2015 y el primer trimestre del año 2016.

Los diez escenarios más altos y los diez más bajos, fueron considerados como escenarios alto y bajo, respectivamente. El escenario medio fue definido por el promedio de los modelos restantes. El escenario alto es el resultado de los promedios de las estimaciones más altas derivadas de los sub-muestreos, sugiriendo el crecimiento máximo del PIB que pudiera esperarse en función de los años más productivos de la economía mexicana. El escenario bajo, representa los periodos de crecimiento económico más bajos que se ha registrado históricamente. Cada uno de los modelos fue transformado para obtener una tasa de crecimiento media anual.

La proyección económica a nivel municipal se hizo al desagregar las proyecciones nacionales; primeramente, a nivel estatal, por medio del análisis de la contribución histórica de cada estado en el total del PIB nacional (Ecuación 3), y posteriormente, obtenida a nivel municipal a partir de los datos publicados en el año 2005 de la participación municipal en el PIB nacional, y generada por el Sistema Nacional de Información Municipal (SNIM, 2013). El PIB fue ajustado con base en las tendencias de los datos históricos, para asegurar que la suma de los municipios igualara al total del PIB nacional. Finalmente, el PIB per cápita fue calculado con base en las nueve posibles combinaciones de los tres escenarios de PIB y las tres proyecciones poblacionales.

$$A_{mun\ t+1} = A_{t0} \left(\frac{A_{mun\ t0}}{A_{nat\ t0}} \right) \quad (3)$$

[3]

Donde $Amun_{t+1}$ es el PIB a nivel municipal en el tiempo 1; y $Anat$ es el total nacional del PIB en el tiempo 0

Representación espacial de la distribución de la población

Para hacer la representación espacial de la distribución poblacional se desarrollaron mapas de alta resolución (un km por un km para cada píxel) en el programa ArcGIS (10.2). La densidad poblacional se calculó para el área real habitada por municipio. El área real habitada consiste en el área territorial en la que se concentra la población, considerando que existen regiones donde la población muestra una baja densidad, o en su caso es totalmente ausente. El área real habitada se determinó eliminando los cuerpos de agua, además de considerar la distribución y área de las localidades rurales y urbanas. Es importante mencionar que no se eliminaron las áreas naturales protegidas ya que existen comunidades habitando dentro de algunas de ellas (Riemann *et al.*, 2011). Finalmente, se utilizó una ventana móvil de tres km por tres km para estimar la dispersión de la población fuera de los bordes de las áreas habitadas.

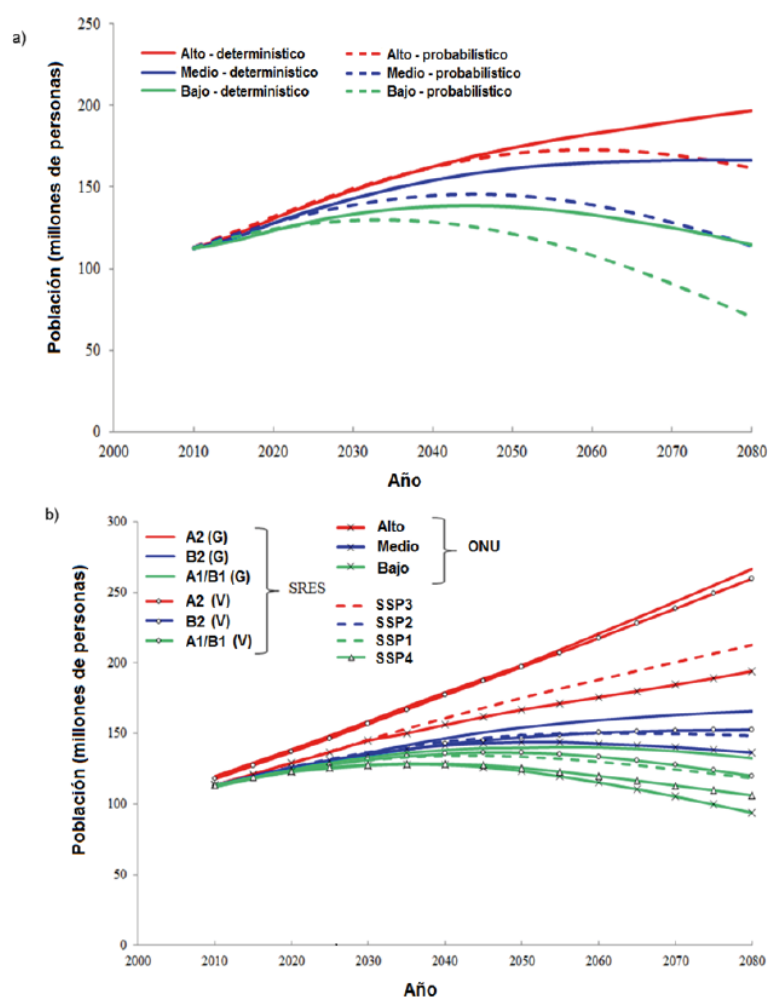
RESULTADOS

Proyecciones poblacionales

Para el año 2050, de acuerdo al modelo determinístico, la población de México sería entre 22 por ciento (138 millones de personas) a 55 por ciento (174 millones de personas) más grande que en el año 2010. Mientras que la proyección probabilística en el mismo periodo muestra una mayor dispersión entre los escenarios con crecimientos que van entre ocho por ciento (122 millones de personas) y 51 por ciento (171 millones de personas) (Figura 2). En relación con la información más reciente oficial del INEGI para 2015 (INEGI, 2015), se observa un subestimación para ese año de 0.96 por ciento de la proyección determinística y una sobreestimación de 0.86 por ciento con la probabilística, lo cual considera una tolerancia al error de proyección de uno por ciento, estos rangos son razonables para ambas aproximaciones. Las tasas de crecimiento promedio total con ambos métodos muestran para el periodo 2010-2020 un crecimiento de 1.54 por ciento para el escenario alto, 1.29 por ciento para el medio y 0.96 por ciento para el bajo. El periodo 2020-2050 mostró tasas de crecimiento más bajas con valores de 0.91, 0.60 y 0.14 por ciento, respectivamente; y para el periodo 2050-2080 las tasas fueron menores, 0.12, -0.35 y -1.20 por ciento para los escenarios alto, medio y bajo. Es importante mencionar que para los años 2050 y 2080 los métodos arrojaron resultados contradictorios ya que mientras el método determinístico mostraba un crecimiento continuo, el método probabilístico presentaba tasas negativas. De acuerdo a la distribución de la población municipal, en el año 2010 once municipios mostraron una población superior a un millón de personas, pero menos de uno por ciento de los municipios contribuían con más de 20 por ciento de la población nacional. El método determinista mostró que los municipios con alta marginación y altas TGF están concentrados en los estados de Guerrero, Veracruz y Oaxaca. Por ejemplo, de acuerdo con el escenario alto derivado por el método determinista, 57, 34 y 64 por ciento de todos los municipios mostrarían una mayor tasa de crecimiento que la media nacional (1.6, 1.29, y 0.96 por ciento, para los tres periodos de tiempo). Estos municipios tendrían, para el 2080, un crecimiento superior a 100 por ciento de lo observado en el año 2010. La mayoría de los municipios se caracterizan por una alta marginación y principalmente en los estados de Veracruz, Oaxaca, Guerrero y Puebla. En contraste, existen 47 municipios con menos de 500 habitantes, donde se estiman crecimientos negativos de población, varios de ellos distribuidos en el estado de Oaxaca.

De acuerdo con las proyecciones probabilísticas y para el escenario alto, la densidad poblacional mostraría una duplicación en tres y siete por ciento de los municipios para los años 2050 y 2080. A diferencia de las

proyecciones deterministas que indican que la densidad poblacional se duplicaría para los mismos años en 18 y 43 por ciento de los municipios, respectivamente.



Nota: A2 corresponde al escenario alto, B2 al medio y A1/B1 al bajo. (G) refiere a las proyecciones de Gaffin *et al.* (2004), y (V) refiere a van Vuuren *et al.* (2007). ONU hace referencia a las proyecciones hechas por esa organización bajo tres escenarios (2015). Finalmente, las proyecciones relativas a los escenarios de las Trayectorias Socioeconómicas Compartidas o SSPs por sus siglas en inglés (Shared Socio-economic Pathways).

FIGURA 2

a) Proyecciones poblacionales obtenidas por los métodos determinístico y probabilístico en este estudio; y b) proyecciones poblacionales disponibles en escenarios globales para México, de acuerdo al Reporte especial de los Escenarios de Emisiones (SRES por sus siglas en inglés)

Fuente: elaboración propia y con datos tomados de las Fuentes descritas en las líneas previas.

Para el escenario medio, ambos métodos mostraron una duplicación de la densidad poblacional en 20 y 35 por ciento de los municipios para 2050 y 2080. El escenario bajo sugiere un patrón similar, la proyección probabilística muestra que la densidad poblacional se duplicaría en menos de uno por ciento de los municipios para ambas fechas, mientras que la proyección determinista sugiere que esto se observaría en 12 por ciento de los municipios en el año 2050 y aumentando a 19 por ciento para el año 2080.

El análisis de ruralidad versus urbanidad, mostro mayor incertidumbre y esto está relacionado con el problema inherente de su definición y el método empleado. De acuerdo al criterio de la OCDE, 36.6 por ciento de los municipios sería urbano para el año 2050 y 40 por ciento para el año 2080. Sin embargo, conforme a la definición del INEGI, cerca de 90 por ciento de los municipios serían urbanos para ambas fechas.

Proyecciones económicas

Para 2050, los valores del PIB más altos para los escenarios alto, medio y bajo muestran una tasa de crecimiento anual de 3.5, 1.5 y 1.1 por ciento, respectivamente. Estos valores representan un aumento de 120, 53 y 34 por ciento del PIB registrado en 2016. Sin embargo, las estimaciones promedio entre los modelos muestran que el PIB crecerá por debajo del escenario medio (Figura 3). La distribución del PIB entre los diferentes municipios y estados son contrastantes. La Ciudad de México resalta con cuatro de los 15 municipios que en conjunto representan 25 por ciento del PIB nacional de 2015. Además, los resultados muestran que diez municipios, hoy alcaldías de la Ciudad de México, producen más de 14 por ciento del PIB nacional, mientras que 23 por ciento del PIB está concentrado en los 2,305 municipios más pobres. Debido a que el PIB y el crecimiento de la población no están directamente correlacionados, el PIB per cápita mostró diferencias importantes. Por ejemplo, en el año 2015, nueve por ciento de los municipios mostró un per cápita muy alto (> 40 mil dólares 2008), mientras que 59 por ciento de los municipios (1,450) tuvieron valores per cápita muy bajos ($< cinco$ mil dólares 2008). Para el año 2050, resaltan dos diferentes escenarios. Por un lado, el escenario con un crecimiento económico bajo y un escenario de crecimiento poblacional alto sugiere un PIB per cápita muy alto en sólo cinco municipios, y muy bajo para 71 por ciento de los municipios, de los cuales 102 mostrarán una mayor limitación con valores inferiores a mil dólares per cápita. Por otro lado, la combinación del escenario alto de crecimiento económico y el escenario bajo de crecimiento demográfico, sugiere que el PIB per cápita será muy alto para 42 municipios, y muy bajo en 29 por ciento de los municipios.

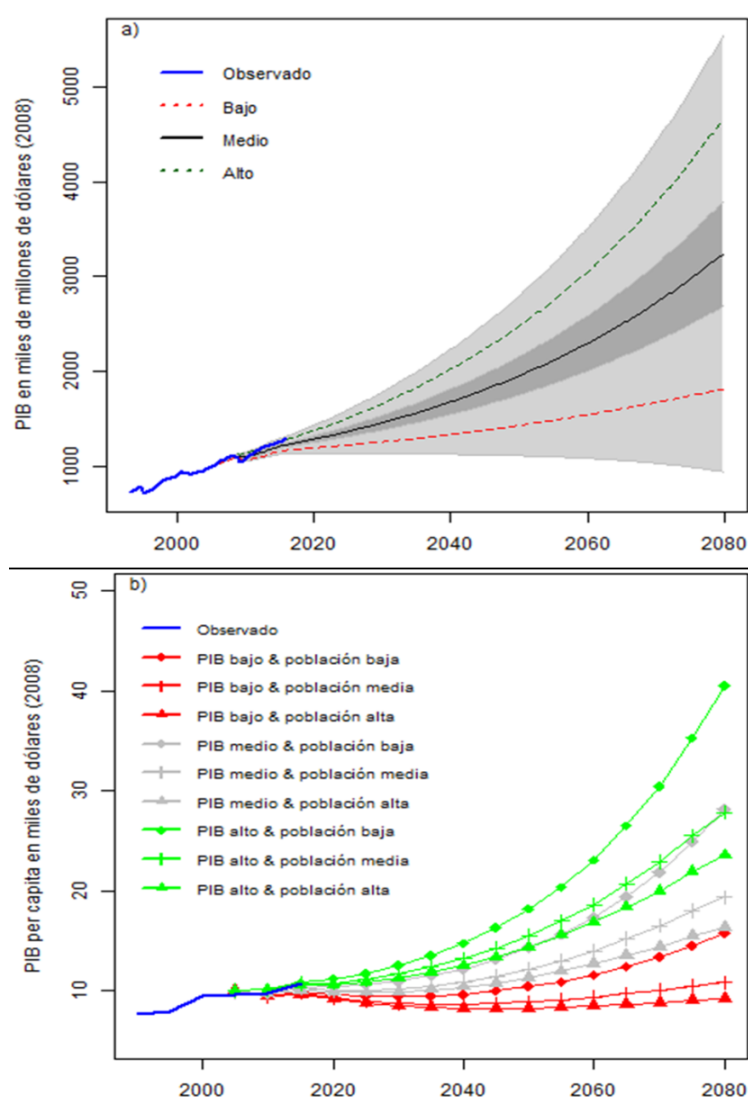


FIGURA 3

Proyecciones del PIB para México: a) Proyecciones del PIB en dólares constantes (2008) en miles de millones de dólares; y b) PIB per cápita en dólares constantes (2008) en miles de dólares por persona

Fuente: elaboración propia con datos tomados de los ciclo económicos y cuentas nacionales del INEGI (2000-2016) y los censos y conteos poblacionales del INEGI (2000, 2005 y 2010) para los cálculos del PIB históricos per cápita.

Los municipios con los mayores valores de PIB per cápita se concentran en los estados de Campeche, Ciudad de México y Nuevo León, mientras que los valores más bajos se detectaron en Oaxaca, Chiapas y el Estado de México. Sin embargo, este último es altamente heterogéneo, mostrando municipios con valores muy altos y bajos de PIB per cápita. Los municipios que muestran altos valores fueron aquellos que dependen casi exclusivamente del ingreso del petróleo o de la industria. Sin embargo, los valores más bajos del PIB per cápita fueron registrados en las áreas más marginadas de México, relacionados con las actividades agrícolas de subsistencia, tal es el caso del estado de Oaxaca.

Distribución espacial de la población

Existen diferentes estudios que han publicado escenarios globales de la distribución de la población, estos se hacen comúnmente, a través de la representación de la densidad en celdas o píxeles (Figura 4). En particular

los estudios globales reportan valores contrastantes de las densidades poblacionales, principalmente por la variación metodológica en la forma en cómo calculan la densidad poblacional. Algunos estudios reportan valores únicos de las densidades poblacionales municipales (Figura 4, parte a), sugiriendo que la población habita de forma homogénea en la totalidad del municipio. El Centro para la Red Internacional de Información sobre Ciencias de la Tierra (CIESIN por sus siglas en inglés) (2004) utilizó las áreas urbanas para confinar la mayoría de la población, asignando un valor uniforme de densidad poblacional dentro de los límites de las áreas urbanas, y con una densidad reducida para el resto del municipio (Figura 4, parte b y parte c). En el caso particular de nuestro estudio, se logra plasmar el área real habitada a una alta resolución (un kilómetro por un kilómetro) (Figura 4, parte d). Por lo que los resultados fueron capaces de capturar no solamente los límites urbanos, sino también a comunidades rurales pequeñas y aisladas, convirtiéndose en el primer estudio de esta índole para un país en vías de desarrollo.

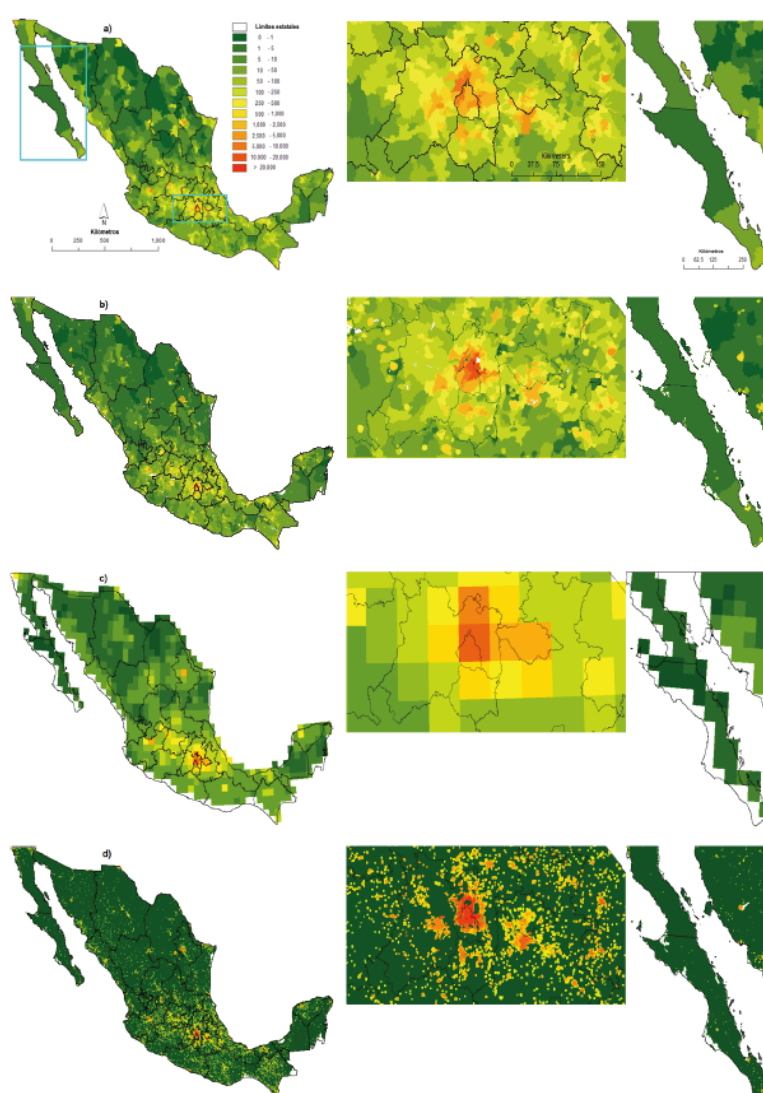


FIGURA 4

Mapas de densidad poblacional disponibles para México. La segunda columna hace referencia a un acercamiento de la zona metropolitana de la Ciudad de México y la tercer columna a la Península de bajaCalifornia. Los valores refieren a número de personas por km^2 : a) densidad poblacional calculada a nivel municipal en donde todo el territorio municipal presenta el mismo valor, b) datos obtenidos de la fuente llamada gridded population from the world population density (CIESIN y CIAT, 2005) a 2.50×2.50 de resolución (<http://sedac.ciesin.columbia.edu>) desarrollado por Gaffin *et al.* (2004); c) densidad poblacional a 0.50×0.50 de resolución (Grübler *et al.*, 2007); d) mapa de densidad poblacional en área real habitada del año 2010 y generado por este estudio

Fuente: elaboración propia a partir de las Fuentes indicadas en el título.

DISCUSIÓN

Proyecciones socioeconómicas

Las proyecciones poblacionales a escalas locales y regionales son de gran importancia para el entendimiento de los cambios de los componentes demográficos. Las proyecciones sugieren que para el año 2050 la

población mexicana aumentaría ~50 por ciento (de 121 a 174 millones de personas) y éstas se concentrarán principalmente en las áreas urbanas aunque las mayores tasas de crecimiento relacionadas a la tasa de fecundidad se esperan en las zonas altamente marginadas, especialmente en municipios del sureste mexicano. Este desequilibrio en la distribución poblacional impactaría de forma diferencial, ya que mientras la mayoría de la población urbana demandaría recursos aumentando no sólo en los cambios de usos y cobertura del suelo por la expansión de la frontera agrícola y ganadera, sino también por el aumento en los costos energéticos para su transportación.

Con relación a las metodologías usadas, se encontró que el método probabilístico tiende a producir menores estimaciones que las del método determinista y a otros reportes nacionales. Por ejemplo, se encontró que el modelo alto del escenario probabilístico es similar al medio del determinístico, y similar a los datos reportados por Gaffin et al. (2004) y por Van Vuuren et al. (2007). Por su parte, el escenario medio fue equivalente al escenario bajo del determinista (Figura 2, partes a y b). Estos resultados pudieran sugerir que el modelo determinista puede estar sobreestimando los valores a través de los supuestos de la migración que entre municipios se mantuvo constante. En este sentido, se añade que las dinámicas espaciales y temporales de la migración no están bien entendidas, y esto puede proveer la mayor incertidumbre vinculada con este tipo de modelos (Partida, 2010; Verduzco, 2010). En consecuencia, se sugiere que las proyecciones poblacionales sean actualizadas continuamente por medio de la integración de la información más reciente y que incorpore la migración intermunicipal, la cual en México aún no está disponible. Dicha información será de mucha utilidad para poder entender las dinámicas locales que tienen relación con los factores sociales, laborales, y en consecuencia, en los flujos de producción de los productos y la cuantificación de sus impactos.

La desagregación de las proyecciones nacionales y globales a un nivel municipal o local conlleva muchas limitaciones e incertidumbres las cuales deben atenderse, con una mejor calidad y disponibilidad de la información municipal y/o local, además de trabajar en las contextualizaciones regionales de los supuestos que utilizan los escenarios. Sin embargo, esta aproximación resulta de gran importancia para entender e identificar aquellas regiones y municipios que estarán sometidos a una mayor presión como resultado de una alta densidad poblacional.

Con relación a los resultados obtenidos se observó que si bien se muestra una reducción de la TGF a nivel nacional, similar a los resultados reportados por otros estudios (Mier y Terán, 2011), si existirán diferencias entre los municipios, aun entre los más marginados. Se considera que una fuente de incertidumbre de este estudio se debe a que no se incluyó una tasa de mortalidad diferenciada y de esperanza de vida para la población indígena, tal como se ha hecho en otros estudios locales (Torres et al., 2003). Es por esto que la información de la fecundidad, la mortalidad y la migración a nivel local y municipal debe ser mejorada para poder integrarse en los ejercicios de escenarios y con ello reducir la incertidumbre de las estimaciones.

En relación con las proyecciones económicas, éstas capturaron las tendencias históricas y actuales, ya que no se incorporaron supuestos relacionados a cambio de políticas a largo plazo aunado al desconocimiento del impacto político futuro dentro de la economía regional o local. Los modelos económicos generados no fueron sensibles a los cambios drásticos del crecimiento del PIB durante periodos cortos, lo que resulta en que las estimaciones sean más conservadoras en los escenarios económicos evitando subestimaciones para los escenarios pesimistas o las sobreestimaciones para los optimistas. El escenario alto mostró una tasa de crecimiento del PIB (2.3 por ciento al año) similar a otros reportados para México, 2.3 por ciento por La Comisión Económica para América Latina y el Caribe (ECLAC, 2015), 2.4 por ciento Fondo Monetario Internacional (2016), pero ligeramente menor que otras fuentes, 2.6 por ciento y 3.5 por ciento para 2016 y 2017 (Banco Mundial, 2016), y 3.05 por ciento y 3.3 por ciento para 2016 y 2017 OECD (2016). En relación con las proyecciones económicas de la OECD, se hace notar que éstas muestran un crecimiento exponencial, esto puede deberse a las políticas estructurales, principalmente las relacionadas con la producción del petróleo que fueron implementadas en México y que tienen un impacto en el desarrollo económico en el corto-mediano plazo (OECD, 2015). Sin embargo, estas proyecciones tomaron en consideración el escenario

alto del Panorama Internacional de Energía (International Energy Outlook en inglés) (EIA, 2014), la cual no incorporó el colapso de los precios del petróleo de esta última década. Esto es importante considerando que hay economías altamente dependientes del petróleo como Venezuela (Monaldi, 2015) y México (Palacios, 2015).

Finalmente, pese a que el PIB es un índice económico ampliamente usado, éste puede presentar grandes limitaciones y dificulta el poder hacer comparaciones. Este indicador está asociado a la incertidumbre existente en proyecciones a largo plazo, y que se asocian con la precisión de las bases de datos, y los presupuestos de los crecimientos futuros (Duval y de la Maisonneuve, 2010). Stiglitz et al., (2009) sugieren que el PIB, como indicador económico debe dejar de usarse porque no es una medida de bienestar y de sustentabilidad. Sin embargo, a pesar de sus limitaciones, es usado para generar posibles escenarios de impactos sobre el medio ambiente (Jorgenson, 2003) mientras se generan mejores medidas cuantificables, pero considerando las limitaciones que conlleva. En este sentido, Sánchez (2006) encontró una correlación negativa entre el PIB de México y el índice de Gini (-0.43). Además, los países en vías de desarrollo han incrementado sus ingresos por medio del pago de una mano de obra barata, con una baja inversión en tecnologías limpias, que han promovido el incremento de la contaminación como resultado de la regulación ambiental limitada o no aplicada (Dasgupta et al., 2000). En contraste, los países desarrollados tienen una mayor oportunidad de invertir en desarrollos limpios (Ockwell et al., 2008), investigación tecnológica, e importación de productos que les facilita la externalización de su degradación ambiental.

Las diferentes trayectorias del crecimiento poblacional y del PIB mostraron que el PIB per cápita de los municipios de los estados de Campeche y Nuevo León contrastan ampliamente; algunos municipios presentan valores similares a algunos países europeos como Alemania y Francia (Banco Mundial, 2016), mientras que otros registraron valores PIB per cápita similares a países como Malawi, Burkina Faso o Uganda (los más bajos) (Banco Mundial, 2016). Estos contrastes hacen que la presión ambiental sea diferencial en todo el país. Las áreas rurales invierten en la producción agropecuaria, lo que promoverá el aumento de la deforestación, compactación del suelo y la sobreexplotación de mantos freáticos. En contraste, las áreas urbanas crecerán constantemente. Por ejemplo, de acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas (UN, 2015) se estima que para 2050 dos terceras partes de la humanidad vivirán en ciudades, por arriba de 54 por ciento que ocupaba la población urbana en el año 2015. Como consecuencia, habrá mayor demanda de productos y servicios, lo que promoverá un incremento en la contaminación, generación de basura y de gases con efecto invernadero. En particular, el área Metropolitana de la Ciudad de México se verá altamente limitada con el acceso al agua, en particular en aquellas alcaldías que dependen de mantos freáticos.

Distribución espacial de la población

La representación espacial de los elementos socioeconómicos, tanto de población como del PIB, derivados de los modelos globales, tales como la colección de datos disponibles en el CIESIN (previamente mencionado) (CIESIN y CIAT, 2005) o los del Instituto Internacional para el Análisis de Sistemas Aplicados (IIASA por sus siglas en inglés) (IIASA, 2016), son útiles para el entendimiento de los cambios a escalas globales. Sin embargo, estos datos no son útiles para niveles nacionales y sub-nacionales y menos cuando se consideran supuestos generales que involucran decenas de países, como es en el caso de Latinoamérica, en el cual se toman los mismos supuestos para toda la región en términos de los componentes demográficos (Grübler et al., 2007). La contextualización nacional y sub-nacional de los escenarios globales es importante para poder incluir aspectos específicos relacionados con la ruralidad, la migración y características locales para el correcto entendimiento de los componentes demográficos (Camarena y Lerner, 2008; Szasz, 2008) y su posterior integración para estudios socio-ambientales. La mayor limitación de esta aproximación de lo local a lo regional es la disponibilidad de la información, que normalmente es ausente o inconsistente para la migración interna entre los municipios, y de las comunidades rurales a las ciudades. Sin embargo, el uso de la

población total captura las tendencias de crecimiento o disminución de la población donde indirectamente se registran los procesos migratorios, y donde asumimos que estas tendencias se verán reflejadas en el futuro. A pesar de estas restricciones, estudios futuros debieran identificar y entender los conductores de la migración con el fin de hacer los ajustes pertinentes en las estimaciones y sus efectos sobre las diferentes políticas migratorias. Además, es recomendable tomar en consideración la expansión de las áreas urbanas, toda vez que la migración interna tiene cambios significativos en las dinámicas de los cambios de usos y de cobertura del suelo (Garza, 2010).

Esta información, que deberá seguir mejorando, servirá para poder generar conocimiento que permita entender los cambios de las condiciones ambientales. En este sentido, pese a que no existe una correlación lineal entre los ecosistemas y los servicios de provisión de los mismos (Koch et al., 2009), es evidente que la creciente población demandará un incremento en recursos. Esto podría tener efectos adversos en áreas con poblaciones vulnerables a eventos naturales como huracanes, sequías, etc. Además de los impactos negativos que se incrementarán sobre los cambios de uso y cobertura del suelo, los ecosistemas, y la biodiversidad. El aumento de la población incrementará las demandas de áreas de vivienda, comida, agua potable y energía. Con relación al sector agrícola, por ejemplo, para el año 2050, México debería ser capaz de proveer y distribuir, 50 por ciento más alimento, considerando patrones alimenticios similares a los actuales. Las expectativas globales del crecimiento de la agricultura sugieren que no responderán de manera similar al crecimiento poblacional (Ray et al., 2013). Además, es importante analizar las disyuntivas entre el crecimiento de la población humana, los servicios ecosistémicos (Jantz y Manuel, 2013) y la biodiversidad. Estas disyuntivas se agudizarán a menos de que se establezcas agendas para vislumbrar posibles vías para evitar o disminuir la depredación y degradación de los servicios ambientales a escalas locales y regionales.

CONCLUSIONES

La generación y la contextualización de escenarios nacionales y sub-nacionales son importantes para poder analizar las implicaciones del crecimiento poblacional y económico y la demanda de recursos y los impactos en el ambiente. Así como para la planificación urbano-territorial, y la generación de la política pública que promueva el desarrollo nacional de forma ordenada. Este trabajo es uno de los primeros esfuerzos para contextualizar a nivel nacional y sub-nacional los principales conductores socioeconómicos del cambio ambiental global, para un país en vías de desarrollo. Este estudio muestra la resolución espacial más fina disponible para representar la distribución de la población en el área realmente habitada lo que permite evaluar las poblaciones, municipios y estados más vulnerables a los efectos del cambio climático. Los resultados generados pueden servir para estimar el aumento de la presión que ejercerá una población creciente sobre los servicios ambientales a escalas locales y regionales. Además, permitirá identificar áreas de alta prioridad nacional donde se presentarán los mayores rezagos sociales y económicos del país. Los datos generados pueden ser integrados en los modelos dinámicos para estimar la demanda local y el abasto de los servicios ecosistémicos. Sin embargo, para reducir la incertidumbre de escenarios futuros es indispensable: i) aumentar la calidad y disponibilidad de la información relacionada con la migración interna (entre municipios); ii) hacer disponible la información económica a nivel municipal; iii) reportar la información espacial de la expansión de las coberturas urbanas y agrícolas; iv) integrar la información social para generar indicadores de bienestar; y v) integrar información cuantitativa ambiental de los servicios ecosistémicos y de su degradación.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se hizo bajo la beca número 198044 otorgada por el Consejo de Ciencia y Tecnología de México (CONACYT).

REFERENCIAS

- Abildtrup, J. et al., 2006, "Socio-economic scenario development for the assessment of climate change impacts on agricultural land use: a pairwise comparison approach". *Environmental Science and Policy* 9, 101-115.
- Aguirre, J., A., 1994, *Introducción al tratamiento de series temporales. Aplicación a las ciencias de la salud*, Madrid, España.
- Aide, T.M., Grau, H.R., 2004, "Globalization, migration, and Latin American ecosystems". *Science* 305, 1915.
- Akaike, H., 1974, "A new look at the statistical model identification". *IEEE Transactions on Automatic Control* 19, 716-723.
- Alho, J., Spencer, B., 2005, *Statistical demography and forecasting*. Springer, Nueva York, USA.
- Arnell, N. et al., 2004, "Climate and socio-economic scenarios for global-scale climate change impacts assessments: characterising the SRES storylines". *Global Environmental Change* 14, 3-20.
- Banco Mundial, 2016, *Global Economic Prospects*.
- Camarena, R., Lerner, S., 2008, "Salud reproductiva y condiciones de vida en México", en S. Lerner y Szasz, I. (coords.), *Necesidades insatisfechas en salud reproductiva: mitos y realidades en el México rural*. El Colegio de México, México, pp. 117-216 pp.
- CIESIN, 2004, *Socioeconomic data and applications center (SEDAC). Network*, CIESIN at Columbia University, Palisades, NY.
- CIESIN, CIAT, 2005, *Gridded population of the world, Version 3 (GPWv3): population density grid, future estimates*. Center for International Earth Science Information Network (CIESIN), (CIAT), C.I.d.A.T. NASA Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC), Palisades, NY.
- CONAPO, 2011, *Índice de marginación por entidad federativa y municipio 2010*. México.
- Costantini, V., Gracceva, F., Markandya, A., Vicini, G., 2007. "Security of energy supply: comparing scenarios from a European perspective". *Energy Policy* 35, 210-226.
- Dasgupta, S., Hettige, H., Wheeler, D., 2000, "What improves environmental compliance? Evidence from Mexican industry". *Journal of Environmental Economics and Management* 39, 39-66.
- Duval, R., de la Maisonnette, C., 2010, "Long-run growth scenarios for the world economy". *Journal of Policy Modeling* 32, 64-80.
- ECLAC, 2015, *Updated projections for Latin America and the Caribbean, 2015 - 2016. Gross domestic product (constant prices in national currencies)*.
- EEA, 2011, *Knowledge base for forward-looking information and services. Catalogue of scenario studies*. European Environment Agency, Luxembourg, p. 192 pp.
- EIA, 2014, *The International Economic Outlook*. Energy Information Administration (EIA).
- Esquivel, G., 2015, *Desigualdad extrema en México. Concentración del poder económico y político*. OXFAM, Mexico City.
- FMI, 2016, *World Economic Outlook*, International Monetary Fund, (ed.), International Monetary Fund.
- Gaffin, S., Rosenzweig, C., Xing, X., Yetman, G., 2004, "Downscaling and geo-spatial gridding of socio-economic projections from the IPCC special report on emissions scenarios (SRES)". *Global Environmental Change* 14, 105-123.
- García-Guerrero, V., 2014, *Proyecciones y políticas de población en México*. COLMEX, México.
- García-Guerrero, V., 2017, "Una revisión de la versión probabilística del método de las componentes demográficas para pronosticar la población de México". *Acta Universitaria. Multidisciplinary Scientific Journal* 27, 5-16.
- Garza, G., 2010, "La transformación urbana de México, 1970-2020", en Garza, G. y Schteingart, M. (eds.), *Los grandes problemas de México. Desarrollo urbano y regional*. El Colegio de México, Mexico, p. 657.

- Gómez de León, J., Partida, V., 2001, "Proyecciones de la población para el nuevo siglo: el proceso de envejecimiento de la población mexicana", en *La Población de México. Tendencias y Perspectivas Sociodemográficas hacia el Siglo XXI*. CONAPO, Fondo de Cultura Económica, México, pp. 991-1022.
- Grübler, A., O'Neill, B., Riahi, K., Chirkov, V., Goujon, A., Kolp, P., Prommer, I., Scherbov, S., and Slentoe, E., 2007, "Regional, national, and spatially explicit scenarios of demographic and economic change based on SRES". *Technological Forecasting and Social Change* 74, 980-1029.
- Hoornweg, D. et al., 2010, *Cities and climate change: an urgent agenda*. World Bank, disponible en <http://siteresources.worldbank.org/INTUWM/Resources/WorldsTop100Economies.pdf>
- Hyndman, R. y Fan, Y., 1996, "Sample quantiles in statistical packages", en *American Statistician*. 50:361–365.
- Hyndman, R., Booth, H., 2008, "Stochastic population forecasts using functional data models for mortality, fertility and migration", en *International Journal of Forecasting* 24, 323-342.
- Hyndman, R. y Khandakar, Y., 2008, "Automatic time series forecasting: the forecast package for R", en *Journal of Statistical Software* 26(3):1-22. Consultado en <http://www.jstatsoft.org/article/view/v027i03>
- IIASA, 2012, Shared socioeconomic pathways, (SSP Data base version 0.93), available: <https://secure.iiasa.ac.at/web-apps/ene/SspDb/dsd?Action=htmlpage&page=about> consulted on 24th February 2014. In: IIASA (Ed.).
- IIASA, 2016, SSP Database (Shared Socioeconomic Pathways). IIASA (Ed.).
- INEGI-CONAPO-COLMEX, 2006, Conciliación de cifras sobre la dinámica demográfica de México.
- INEGI, 2006, *Mujeres y hombres en México*.
- INEGI, 2010a, Censo de Población y Vivienda, 2010. Estados Unidos Mexicanos y Estado de Oaxaca, Tabulados del Cuestionario Básico, Población. INEGI, Aguascalientes, Mexico.
- INEGI, 2010b, Censos de Población y Vivienda, disponible en <http://www.inegi.org.mx/sistemas/sisept/Default.aspx?t=mdemo09&cs=est&c=17511>
- INEGI, 2010c, Población rural y urbana, disponible en http://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/rur_urb.aspx?tema=P
- INEGI, 2012, Ciclos económicos de México, disponible en <http://www.inegi.org.mx/sistemas/bie/?idserPadre=10000215#D10000215> (Ed.).
- INEGI, 2015, Encuesta intercensal. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Jantz, C.A. and Manuel, J.J., 2013, "Estimating impacts of population growth and land use policy on ecosystem services: A community-level case study in Virginia, USA". *Ecosystem Services* 5, 110-123.
- Jones, B. and O'Neill, B.C., 2016, "Spatially explicit global population scenarios consistent with the shared socioeconomic pathways". *Environmental Research Letters* 11, 084003.
- Jorgenson, A., 2003, "Consumption and environmental degradation: a cross-national analysis of the ecological footprint". *Social Problems* 50, 374-394.
- Kaivo-oja, J., Luukkanen, J., Wilenius, M., 2004, "Defining alternative national-scale socio-economic and technological futures up to 2100: SRES scenarios for the case of Finland". *Boreal Environment Research* 9, 109-125.
- Klosterman, R., Brail, R., Bossard, E., 1993, *Spreadsheet models for urban and regional analysis*. Rutgers University, New BrunswJ.
- Koch, E.W. et al., 2009, "Non-linearity in ecosystem services: temporal and spatial variability in coastal protection". *Frontiers in Ecology and the Environment* 7, 29-37.
- Lambin, E., Meyfroidt, P., 2011, "Global land use change, economic globalization, and the looming land scarcity". *Proceedings of the National Academy of Sciences* 108, 3465-3472.
- Lee, R., 1993, "Modeling and forecasting the time series of US fertility: Age distribution, range, and ultimate level", en *International Journal of Forecasting*. 9:187-202.
- Lee R. y Carter L., 1992, "Modeling and forecasting U.S. mortality", en *Journal of the American Statistical Association*. 87:659-671.

- Lee, R., 1998, "Probabilistic approaches to population forecasting". *Population and Development Review* 24, 156-190.
- Lee, R., Tuljapurkar, S., 1994, "Stochastic population forecast for the United States: beyond high, medium and low", en *Journal of the American Statistical Association*, 89:428-1175-1189.
- Matsui, T., Haga, C., Saito, O., Hashimoto, S., 2018, "Spatially explicit residential and working population assumptions for projecting and assessing natural capital and ecosystem services in Japan". *Sustainability Science*, 1-15, 1-15.
- MEA, 2005, *Ecosystems and human well being. Biodiversity synthesis*. World Resources Institute, Washington, DC., p. 86.
- Mier y Terán, M., 2011, "La fecundidad en México en las últimas dos décadas. Un análisis de la información censal". *Coyuntura Demográfica* 1, 57-61.
- Monaldi, F., 2015, *The impact of the decline in oil prices on the economics, politics and oil industry of Venezuela*. Columbia/SIPA. Center on Global Energy Policy, New York.
- Nakicenovic, N., Alcamo, J., Davis, G., De Vries, B., Fenhann, J., Gaffin, S., Gregory, K., Grübler, A., Jung, T. Y., Kram, T., Emilio La Rovere, E., Michaelis, L., Mori, S., Morita, T., Pepper, W., Pitcher, H., Price, L., Riahi, K., Roehrl, A., Rogner, H., Sankovski, A., Schlesinger, M., Shukla, P., Smith, S., Swart, R., Van Rooyen, S. Victor, N., Dadi, Z., 2000, *Special report on emissions scenarios*. Cambridge University Press, Cambridge, p. 599.
- Ningal, T., Hartemink, A.E., Bregt, A.K., 2008, "Land use change and population growth in the Morobe Province of Papua New Guinea between 1975 and 2000". *Journal of Environmental Management* 87, 117-124.
- Ockwell D.G., Watson J., MacKerron G., Pal P., Yamin F., 2008, "Key policy considerations for facilitating low carbon technology transfer to developing countries". *Energy Policy* 36, 4104-4115.
- OECD, 2010, *OECD regional typology*, disponible en <http://www.oecd.org/gov/regional-policy/42392595.pdf> (Ed.).
- OECD, 2015, *Measuring well-being in Mexican States*. OECD Publishing, Paris.
- OECD, 2016, *Real GDP forecast (indicator)*, disponible en <https://data.oecd.org/gdp/real-gdp-forecast.htm> (Accessed on 27/04/2016).
- Ozaki, T., 1977, "On the order determination of ARIMA models". *Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics)* 26, 290-301.
- Palacios, L., 2015, "The impact of falling oil prices. Is Latin America part of global oil supply ajustment?", *Revista. Harvard Review of Latin America* 15, 28-31.
- Partida, V., 2010, "Migración interna", en Ordorica, M., Prud'homme, J.-F. (eds.), *Los grandes problemas de México. Población*. El Colegio de México, México, p. 453.
- Porter, M., 1985, *Competitive advantage. Creating and sustaining superior performance*. Free Press, New York.
- Raftery, A.E., Alkema, L., Gerland, P., 2014, "Bayesian population projections for the United Nations. Statist". *Sci.* 29, 58-68.
- Ray, D., Mueller, N., West, P., Foley, J., 2013, "Yield trends are insufficient to double global crop production by 2050". *PLoS ONE* 8(6): e66428. doi:10.1371/journal.pone.0066428.
- Rhoda, R., Burton, T., 2010, *Geo-Mexico: the geography and dynamics of modern Mexico*. Sombrero Books, Canada.
- Riahi, K., Grübler, A., Nakicenovic, N., 2007, "Scenarios of long-term socio-economic and environmental development under climate stabilization". *Technological Forecasting and Social Change* 74, 887-935.
- Riemann, H., Antes-Álvarez, A., Pombo, A., 2011, "El papel de las áreas naturales protegidas en el desarrollo local: El caso de la península de Baja California". *Gestión y política pública* 20, 141-172.
- Rodríguez-Oreggia, E., 2005, "Regional disparities and determinants of growth in Mexico". *The Annals of Regional Science* 39, 207-220.
- Rounsevell, M. and Metzger, M., 2010, *Developing qualitative scenario storylines for environmental change assessment*. Wiley interdisciplinary reviews: climate change 1, 606-619.

- Rounsevell M., Reginster I., Araújo M., Carter T., Dendoncker N., Ewert F., House J., Kankaanpää S., Leemans R., Metzger M., Schmit C., Smith P., Tuck G., 2006, "A coherent set of future land use change scenarios for Europe". *Agriculture, Ecosystems and Environment* 114, 57-68.
- Rowland, D., 2006, *Demographic methods and concepts*. Oxford University Press, New York.
- Sánchez, A., 2006, "Crecimiento económico, desigualdad y pobreza: una reflexión a partir de Kuznets", en *Problemas de Desarrollo. Revista Latinoamericana de Economía* 37, 11-30.
- Sleeter B., Sohl T., Bouchard M., Reker R., Soulard C., Acevedo W., Griffith G., Sleeter R., Auch R., Sayler K., Prisley S., Zhu Z., 2012, "Scenarios of land use and land cover change in the conterminous United States: utilizing the special report on emission scenarios at ecoregional scales". *Global Environmental Change* 22, 896-914.
- SNIM, 2013, Base de Datos del PIB Municipal 2005, Sistema Nacional de Información Municipal en <http://www.snim.rami.gob.mx/> consultado el 23/06/2018.
- Stiglitz, J., Sen, A., Fitoussé, J.-P., 2009, Report by the Commission on the Measurement of Economic Performance and Social Progress, Report by the Commission on the Measurement of Economic Performance and Social Progress, p. 291.
- Szasz, I., 2008, "Relaciones de género y desigualdad socioeconómica en la construcción social de las normas sobre la sexualidad en México", en *Salud reproductiva y condiciones de vida en México*. El Colegio de México, México, pp. 431-475 pp.
- Torres, J., Villoro, R., Ramírez, T., Zurita, B., Hernández, P., Lozano, R., Franco, Y., 2003, "La salud de la población indígena en México", en *De la investigación a las políticas y de las políticas a la acción*. Funsalud, Ciudad de México, pp. 41-55.
- UN, 2010, *World population prospects, the 2010 revision*. United-Nations, disponible en <http://esa.un.org/unpd/wpp/index.htm>.
- UN, 2015, *World Population prospects: the 2015 revision, DVD Edition*. United Nations, Population Division.
- Van Vuuren, D., Lucas, P., Hilderink, H., 2007, "Downscaling drivers of global environmental change: enabling use of global SRES scenarios at the national and grid levels". *Global Environmental Change* 17, 114-130.
- Verburg, P.H., Schulp, C.J.E., Witte, N., Veldkamp, A., 2006, "Downscaling of land use change scenarios to assess the dynamics of European landscapes". *Agriculture, Ecosystems and Environment* 114, 39-56.
- Verduzco, G., 2010, "Las regiones de México ante las migraciones a Estados Unidos", en Francisco Alba et al. (eds.), *Los grandes problemas de México. Migraciones internacionales*. El Colegio de México, Mexico, p. 578.
- Yohe G., Malone E., Brenkert A., Schlesinger M., Meij H., Xing X., 2006, "Global distributions of vulnerability to climate change. The integrated assessment journal". *Bridging Sciences and Policy* 6, 35-44.
- Zurek, M., Henrichs, T., 2007, "Linking scenarios across geographical scales in international environmental assessments". *Technological Forecasting and Social Change* 74, 1282-1295.

Apéndice

Pronóstico de las componentes demográficas básicas

El método para modelar y pronosticar probabilísticamente las componentes demográficas ha sido desarrollado en los trabajos de Lee y Carter (1992), Lee (1993) y Lee y Tuljapurkar (1994). Para proyectar la población total por edades y sexo, se utiliza cada una de las realizaciones de los componentes demográficos y se articulan por medio del método de las componentes. Como se mencionó, el proceso se repite miles de veces considerando los factores de variabilidad de los modelos de series de tiempo con que fueron proyectadas. Con todas las simulaciones, se calculan los percentiles que se desean para cada punto en el tiempo. En este caso se calculan los percentiles 2.5 y 97.5 por ciento para determinar el intervalo de 95 por ciento de confianza. Para su cálculo se utiliza la función "quantile" del lenguaje de programación R (R Core Team, 2016) El cálculo

de los percentiles o cuantiles está sustentado en el trabajo de Hyndman y Fan (1996) donde se demuestra que todos los cuantiles muestrales pueden ser definidos como promedios ponderados de las estadísticas de orden consecutivas. Es decir, si $x_{(j)}$ es la j -ésima estadística de orden, n es el tamaño de la muestra, m es una constante determinada por el tipo de cuantil muestral, γ es una función de $j = (np + m)$, $g = np + m - j$, $(j - m)/n \leq p < (j - m + 1)/n$, y $1 \leq i \leq 9$, entonces el cuantil de tipo i está definido por ¹:

$$Q(p) = (1 - \gamma) x_j + \gamma x_{(j+1)}$$

En este trabajo y con fines de sintetizar la parte técnica de este trabajo, el modelo de Lee-Carter (LC) es generalizado para proyectar cada una de las componentes demográficas básicas. El modelo de LC parte del supuesto de que existe una relación lineal entre el logaritmo natural de las tasas específicas de los eventos demográficos y dos factores que las determinan: la edad x y el tiempo t .

Sea $\eta_{x,t}$ la tasa específica del evento demográfico (en este caso sólo mortalidad o fecundidad) a edad x al tiempo t y sea $\xi_{x,t}$ el volumen del evento demográfico (en este caso sólo inmigración o emigración) ² a edad x al tiempo t . De esta manera, si se define a α_x como el patrón por edades de referencia de $\ln(\eta_{x,t})$, β_x como el cambio por edades a lo largo del tiempo (intensidad) y k_t como la tendencia temporal, entonces,

$$\ln(\eta_{x,t}) = \alpha_x + \beta_x k_t + \varepsilon_{x,t} \quad (1)$$

garantizando que tiene solución única restringiéndola a que:

$$\sum_{x=0}^{\omega+} \beta_x = 1 \text{ y } \sum_{t=1}^N k_t = 0$$

donde $\omega +$ es la notación para el último grupo abierto de edades. Lo anterior conlleva a que α_x sea estimada como el promedio del logaritmo de las tasas a lo largo del tiempo; sin embargo, es posible utilizar algún criterio empírico que mejore la estimación. Por ejemplo, para el caso de la modelación del logaritmo natural de las tasas específicas de fecundidad en México se ha propuesto aproximar este parámetro utilizando la última información histórica o, en su caso, el promedio de los últimos años (García Guerrero, 2014).

Los parámetros β_x y k_t son estimados utilizando la descomposición en valores singulares (DVS) de la matriz $\ln(\#_{x,t}) - \alpha_x$. Es decir, ambos parámetros quedan aproximados por la primera componente principal en dicha descomposición, la cuál es la que representa la mayor cantidad de variabilidad asociada. En el texto original de Lee y Carter (1992) sugieren tomar sólo dicha primera componente, sin embargo, en Hyndman y Booth (2008) sugieren incorporar todas las componentes involucradas, es decir, estimar todas las β_x^i y k_t^i para $i = \{1, 2, \dots, n\}$, en virtud de que la capacidad computacional lo permite hoy en día. En este trabajo se toma únicamente la primera componente ya que, como se explica más adelante, el incorporar más parámetros incrementaría considerablemente la complejidad del algoritmo de simulación, además que, de la segunda componente en adelante los parámetros carecen de interpretación.

Para la mortalidad se utilizó el método usual de LC aplicado al caso mexicano (García Guerrero y Ordorica, 2012, y García Guerrero, 2014), y para la migración se utilizó la aproximación propuesta en García Guerrero (2017 y 2014). Respecto a la migración, en este trabajo se propone desagregar la migración neta en inmigración y emigración. Como se detalla en García Guerrero (2017) el modelo LC se modifica utilizando la información a nivel y no ajustada logarítmicamente. Es decir,

$$\xi_{x,t} = \alpha_x + \beta_x k_t + \varepsilon_{x,t}$$

donde α_x es el promedio en el tiempo del número de inmigrantes o emigrantes para cada edad x , a diferencia de los casos de la fecundidad y mortalidad, β_x y k_t no se estiman utilizando la DVS, sino que:

$$k_t = \sum_{x=0}^{\omega+1} (\xi_{x,t} - \alpha_x)$$

para cada t . Luego, β_x se estima utilizando mínimos cuadrados ordinarios. Finalmente, se estima un parámetro de tendencia que garantiza que la volatilidad de la migración total (inmigración o emigración) no conlleve a valores imposibles de población (e.g. valores del volumen poblacional negativos). Este parámetro es modelado a través de una transformación logística de la migración dirigida total (inmigración o emigración). Es decir,

$$z_t = \ln \left(\frac{Mig_t - L}{U - Mig_t} \right)$$

Donde Mig_t es la migración total en el periodo t y, U y L son las cotas superior e inferior de la migración total que se refieren a los niveles de sostenibilidad del flujo de inmigrantes y emigrantes (García Guerrero, 2016).

Para realizar el pronóstico, el parámetro k_t para el caso de la fecundidad y mortalidad, y el z_t para el caso de la inmigración y emigración, son modelados como procesos autorregresivos integrados de promedios móviles (ARIMA). Es decir, para $w_t = (1 - B)^d k_t$ o $w_t = (1 - B)^d z_t$ donde B es el operador de rezago tal que $B^d k_t = k_{t-d}$, se tiene que,

$$w_t = \varphi_1 w_{t-1} + \dots + \varphi_p w_{t-p} + X_t + \theta_1 X_{t-1} + \dots + \theta_q X_{t-q}$$

donde X_t son procesos puramente aleatorios con media cero y varianza constante.

Usualmente, en los eventos demográficos de fecundidad y mortalidad no se necesita más de una diferencia ya que cada diferencia implica un cambio estructural en la dinámica de la variable; ello, en términos demográficos está directamente relacionado con la transición demográfica. En otras palabras, más de una diferencia implicaría más de una transición demográfica, lo cual hasta el momento no ha ocurrido en algún otro contexto. En ocasiones es necesario adicionar un parámetro de tendencia determinista o deriva, μ , tal que:

$$\phi_0 = \mu + \sum_{i=1}^p \phi_i$$

La función “auto.arima” de la librería “forecast” del lenguaje de programación *R* permite determinar el mejor modelo de series de tiempo que se ajusta a la información (Hyndman, 2016 y Hyndman y Khandakar, 2008), mismo elemento detallado para el estudio económico.

Por último, para cada evento demográfico y cada sexo se calculan diez mil simulaciones de los parámetros ϕ_i y θ_j modelados de manera multivariada como $\Theta \sim \#_N(\#, \#)$ donde M es el conjunto de valores medianos del conjunto de parámetros Θ y Σ es la matriz de varianzas y covarianzas de dicho conjunto de parámetros. Con cada una de esas realizaciones se extrapola cada k_t y z_t y, manteniendo constantes los parámetros α_x y β_x respectivos a cada evento demográfico y cada sexo, se obtiene una extrapolación de las tasas específicas o niveles por edad de cada evento demográfico (diez mil por cada año proyectado). Con esas diez mil realizaciones de las tasas específicas de mortalidad, fecundidad y de los volúmenes por edad de los inmigrantes y emigrantes, se calculan, por un lado, los percentiles correspondientes para calcular los indicadores resumen (e.g. esperanza de vida y tasa global de fecundidad) con intervalos de predicción, y utilizando cada uno de ellos, se emplea el método de los componentes demográficos (véase García Guerrero, 2014 para una explicación más detallada respecto al cálculo del método de los componentes demográficos) para calcular diez mil realizaciones de la población total por edades y sexo. Después también utilizando el cálculo de los percentiles explicado arriba se calculan intervalos de predicción para la población total por edades y sexo. Es importante señalar que si se desea calcular algún otro tipo de indicador demográfico, como tasas de crecimiento o razones de dependencia, es necesario utilizar todas las realizaciones calculadas y después calcular los respectivos percentiles.

NOTAS

- 1 Los tipos de cuantil están definidos en Hyndman y Fan (1996). Una explicación muy sintética sobre ellos puede encontrarse en <https://stat.ethz.ch/R-manual/R-devel/library/stats/html/quantile.html>
- 2 En trabajos previos se ha usado el volumen de la migración neta (ver García Guerrero, 2014).
 1. En inglés se le conoce como *Cohort-Component Method (CCM)*
 2. La descripción más detallada sobre el método utilizado se encuentra en el Apéndice.