Vol. 4 Núm. 1 enero-abril 2013

ISSN 2007-2961

REALIDAD, DATOS Y ESPACIO REVISTA INTERNACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA

REALITY, DATA AND SPACE INTERNATIONAL JOURNAL OF STATISTICS AND GEOGRAPHY

Educación y pueblos indígenas: problemas de medición
Sylvia Schmelkes

Climate Change and Water Access Vulnerability in the Human Settlement Systems of Mexico: The Merida Metropolitan Area, Yucatan
Mauricio Domínguez Aguilar, Federico Dickinson Bannack
y Ana García de Fuentes

Retos de la información del agua en México para una mejor gestión
María Perevochtchikova

Huella de agua de uso público-urbano en México
Carole Farell Baril, Sylvie Turpin Marion y Nydia Suppen Reynaga

Integración de un sistema de cuentas económicas e hídricas en la Cuenca del Valle de México
Lilia Rodríguez Tapia y Jorge Armando Morales Novelo

Los *NiNis* en México: una aproximación crítica a su medición
Rodrigo Negrete y Gerardo Leyva

Estimación markoviana del tamaño y de las estructuras de una población
Alfredo Bustos

Geografía de suelos de México
Reseña
Eliseo Gerardo Guerrero Eufracio

Desde el espacio
Reseña
Miguel Moctezuma Flores

INEGI
INSTITUTO NACIONAL
DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA

Vol. 4 Núm. 1 enero-abril 2013

REVISTA INTERNACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA
INTERNATIONAL JOURNAL OF STATISTICS AND GEOGRAPHY
REALIDAD, DATOS Y ESPACIO
REALITY, DATA AND SPACE

Contenido

Educación y pueblos indígenas: problemas de medición 5
Sylvia Schmelkes

Climate Change and Water Access Vulnerability in the Human Settlement Systems of Mexico: The Merida Metropolitan Area, Yucatan 14
Mauricio Domínguez Aguilar, Federico Dickinson Bannack y Ana García de Fuentes

Retos de la información del agua en México para una mejor gestión 42
María Perevochtchikova

Huella de agua de uso público-urbano en México 58
Carole Farell Baril, Sylvie Turpin Marion y Nydia Suppen Reynaga

Integración de un sistema de cuentas económicas e hídricas en la Cuenca del Valle de México 72
Lilia Rodríguez Tapia y Jorge Armando Morales Novelo

Los *NiNis* en México: una aproximación crítica a su medición 90
Rodrigo Negrete y Gerardo Leyva

Estimación markoviana del tamaño y de las estructuras de una población 122
Alfredo Bustos

Geografía de suelos de México 160
Reseña
Eliseo Gerardo Guerrero Eufracio

Desde el espacio 161
Reseña
Miguel Moctezuma Flores

Colaboran en este número 165

INEGI
INSTITUTO NACIONAL
DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA

Presidente del Instituto
Eduardo Sojo Garza-Aldape

Vicepresidentes
Enrique de Alba Guerra
Mario Palma Rojo
Rolando Ocampo Alcántar
Félix Vélez Fernández Varela

Dirección General de Estadísticas Sociodemográficas
Miguel Juan Cervera Flores

Dirección General de Estadísticas de Gobierno, Seguridad Pública y Justicia
Adrián Franco Barrios

Dirección General de Estadísticas Económicas
José Arturo Blancas Espejo

Dirección General de Geografía y Medio Ambiente
Carlos Agustín Guerrero Elemen

Dirección General de Integración, Análisis e Investigación
Enrique Jesús Ordaz López

Dirección General de Coordinación del Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica
Norberto de Jesús Roque Díaz de León

Dirección General de Vinculación y Servicio Público de Información
Alberto Manuel Ortega y Venzor

Dirección General de Administración
Froylán Rolando Hernández Lara

Contraloría Interna
Marcos Benerice González Tejeda

Realidad, Datos y Espacio. Revista Internacional de Estadística y Geografía

Editor responsable
Enrique Jesús Ordaz López

Editor técnico
Gerardo Leyva Parra

Coordinación editorial
Virginia Abrín Batule y Mercedes Pedrosa Islas

Corrección de estilo
José Pablo Covarrubias Ordiales y Laura Elena López Ortiz

Diseño
Departamento de Arte Editorial / INEGI

REALIDAD, DATOS Y ESPACIO. REVISTA INTERNACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA, Vol. 4, Núm. 1 enero-abril 2013, es una publicación cuatrimestral editada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Avenida Héroe de Nacozari Sur 2301 Fraccionamiento Jardines del Parque, 20276 Aguascalientes, Aguascalientes, Aguascalientes, entre la calle INEGI, Avenida del Lago y Avenida Paseo de las Garzas, México. Teléfono 55 52781069. Toda correspondencia deberá dirigirse al correo: rde@inegi.org.mx

Editor responsable: Enrique Jesús Ordaz López. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo del Título Núm. 04-2010-090816081900-102, ISSN Núm. 2007-2961, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Certificado de Licitud de Título y Contenido Núm. 15099, otorgado por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación. Domicilio de la publicación, imprenta y distribución: Avenida Héroe de Nacozari Sur 2301 Fraccionamiento Jardines del Parque, 20276 Aguascalientes, Aguascalientes, Aguascalientes, entre la calle INEGI, Avenida del Lago y Avenida Paseo de las Garzas, México.

El contenido de los artículos, así como sus títulos y, en su caso, fotografías y gráficos utilizados son responsabilidad del autor, lo cual no refleja necesariamente el criterio editorial institucional. Asimismo, la Revista se reserva el derecho de modificar los títulos de los artículos, previo acuerdo con los autores. La mención de empresas o productos específicos en las páginas de la Revista no implica el respaldo por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

Se permite la reproducción total o parcial del material incluido en la Revista, sujeto a citar la fuente. Esta publicación consta de 1 502 ejemplares y se terminó de imprimir en abri del 2013.

Disponible en http://rde.inegi.org.mx

CONSEJO EDITORIAL

Enrique de Alba Guerra
Presidente del Consejo

Fernando Cortés Cáceres
El Colegio de México, AC

Gerardo Bocco Verdinelli
Universidad Nacional Autónoma de México

Ignacio Méndez Ramírez
Universidad Nacional Autónoma de México

Juan Carlos Chávez Martín del Campo
Banco de México

José Ramón Narro Robles
Universidad Nacional Autónoma de México

Lidia Bratanova
UNECE Statistical Division

Manuel Ordorica Mellado
El Colegio de México, AC

María Margarita Parás Fernández
Centro de Investigación en Geografía y Geomática "Ing. Jorge L. Tamayo", AC

María del Carmen Reyes Guerrero
Centro de Investigación en Geografía y Geomática "Ing. Jorge L. Tamayo", AC

José Antonio de la Peña Mena
Centro de Investigación en Matemáticas, AC

Rodolfo de la Torre García
Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo

Tonatiuh Guillén López
El Colegio de la Frontera Norte, AC

Víctor Manuel Guerrero Guzmán
Instituto Tecnológico Autónomo de México

Walter Radermacher
Statistical Office of the European Communities

Yoloxóchitl Bustamante Díez
Instituto Politécnico Nacional

Editorial

En este primer número del 2013 de Realidad, Datos y Espacio. Revista Internacional de Estadística y Geografía presentamos una serie de artículos que, si bien no son de una temática común, aportan elementos para un mayor conocimiento y una mejor utilización de la información estadística y geográfica.

Más allá de los temas específicos de investigación que se abordan, los siete artículos y las dos reseñas responden desde perspectivas diferentes a la misma pregunta: ¿cómo hacer para explotar óptimamente la información disponible y así tener mejores elementos para la toma de decisiones? Es interesante observar cómo esta pregunta sirve de hilo conductor entre temáticas tan disímbolas como la dinámica demográfica, las oportunidades para el desarrollo de los jóvenes, las cuencas hidrológicas, el avance educativo de los pueblos indígenas, diversos aspectos relacionados con la adecuada gestión de los recursos hídricos, el uso del suelo e imágenes multiespectrales.

Más que generar información adicional, emplear adecuadamente la que existe es una exigencia que cobra cada día más relevancia en el mundo de la estadística. En la era de la información, cuando a consecuencia de las redes mundiales vivimos navegando en mares de datos, poder distinguir los indicadores sólidos de los endebles y saber cómo articular bien las piezas de información disponible, así como dónde encontrar las cifras y datos que se necesitan, son facultades cuyo imperativo va adquiriendo un creciente peso relativo en relación con el proceso de generación de información primaria. Y es que no importa qué cantidad de información se tenga a la mano si no se cuenta con lo necesario para usarla apropiadamente. No es casual que Hal R. Varian, el economista en jefe de Google, haya pronosticado en fecha reciente que la Estadística (vista más como el saber usar que como el saber generar) sería la profesión más *sexy* del siglo XXI. Contar con cada vez más información pertinente, veraz y oportuna tiene sentido sólo si los destinatarios de ésta se encuentran en condiciones de emplearla de forma conveniente y si la incorporan consuetudinariamente en su proceso de toma de decisiones. Es por ello que resulta afortunado tener en este número un conjunto de aportaciones que fortalecen el quehacer estadístico al ayudarnos a utilizar de manera más eficaz la información estadística y geográfica de que disponemos. A continuación se describe brevemente cada uno de estos trabajos.

Educación y pueblos indígenas: problemas de medición. En el artículo se argumenta sobre la importancia de conocer mejor la realidad de los pueblos indígenas en general y de la educativa en particular; se sugiere una serie de medidas para profundizar en el diagnóstico y la explicación de las causas de la

problemática con el fin de fundamentar mejor las políticas públicas orientadas a disminuir las condiciones de pobreza y las grandes desigualdades que afectan a esta población.

Climate Change and Water Access Vulnerability in the Human Settlement Systems of México: The Merida Metropolitan Area, Yucatan. El acceso al agua en los asentamientos humanos del país está siendo modificado por el cambio climático. Éste es un trabajo que, desde la aproximación a la vulnerabilidad al cambio climático, propone un índice compuesto para estudiar este fenómeno en la Zona Metropolitana de Mérida.

Retos de la información del agua en México para una mejor gestión. En este texto se analiza la situación que guarda el acervo de este recurso con el fin de ofrecer reflexiones críticas acerca de sus avances y limitaciones; además, se formulan algunos desafíos para una óptima administración.

Huella de agua de uso público-urbano en México. Esta investigación propone una metodología para evaluarla con base en la técnica de análisis de ciclo de vida, la cual proporciona mayor información en la toma de decisiones y facilita la gestión de este recurso; dicha metodología se aplica a un estudio de caso cuantificando los efectos provocados por su utilización desde la extracción de materias primas y energía para la construcción de la red, la distribución y uso del elemento, hasta su vida final.

Integración de un sistema de cuentas económicas e hídricas en la Cuenca del Valle de México. Presenta los primeros resultados a partir de la construcción de las cuentas del agua en esta región del país para el 2008, que consisten en dos indicadores híbridos que monitorean la eficiencia del uso del vital líquido por actividad económica.

Los NiNis *en México: una aproximación crítica a su medición*. Los autores plantean una serie de elementos para tener una mejor comprensión del término *NiNi* y de su medición utilizando el aparato conceptual de la Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo del INEGI.

Estimación markoviana del tamaño y de las estructuras de una población. A partir de las semejanzas entre algunas estructuras básicas de la demografía y las de las Cadenas de Markov, en este trabajo se presentan extensiones y precisiones de algunas propuestas en la literatura. Las estimaciones obtenidas permiten corregir deficiencias de los procedimientos utilizados hasta el momento con el mismo fin.

Por último, se incluyen las reseñas de los libros *Geografía de suelos de México* y *Tratamiento digital de imágenes multiespectrales* (*Desde el espacio*).

http://rde.inegi.org.mx

Educación y pueblos indígenas: problemas de medición[1]

Sylvia Schmelkes

Fotografía: Edmundo Gutiérrez Martínez. Esperando me encuentres.

1 Presentación en el Panel sobre Vulnerabilidad Educativa en el Seminario Internacional "Medición de Grupos Sociales Vulnerables", organizado por el Instituto de Investigaciones Sociales de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), los días 18 y 19 de octubre de 2011.

Este artículo analiza lo que se sabe acerca de la educación de los pueblos indígenas y lo que no por la manera en cómo se recoge la información estadística. Después de argumentar en torno a la importancia de conocer mejor la realidad de los pueblos indígenas en general y de la educativa en particular, propone una serie de medidas que permitirían profundizar nuestro diagnóstico y la explicación de las causas de la problemática, además de fundamentar mejor las políticas públicas orientadas a disminuir las condiciones de pobreza y las grandes desigualdades que afectan a esta población; entre otras, sugiere que todos los instrumentos de recolección a gran escala pregunten sobre la condición indígena (a través de los indicadores más adecuados) de los informantes, así como acerca del pueblo indígena al que pertenecen, y que esta variable pueda cruzarse en línea en las bases de datos donde esto es posible. Asimismo, discute sobre la conveniencia de contar con información mucho más precisa de alumnos indígenas, las condiciones de sus escuelas y las características de sus docentes. Aborda la problemática de la medición del aprendizaje con los pueblos indígenas y, tras analizar las dificultades que ello implica, sugiere atenernos a lo que sostiene la *Declaración Universal de los Derechos de los Pueblos Indígenas*, que en nuestro país ya tiene valor constitucional: que los indígenas participen en el diseño de sus propios sistemas educativos, incluyendo la manera en que éstos, y sus resultados, deben ser evaluados.

Palabras clave: educación indígena, información en educación indígena, estadísticas en educación indígena.

This article describes what is known in Mexico regarding the education of indigenous peoples. It also analyzes what is not known due to the way in which statistical information is collected. After arguing on the importance of having information on the general situation of indigenous peoples, and their educational conditions in particular, several measures for deepening our knowledge that would allow for improved explanations of their situation and help to better underpin policies oriented towards diminishing poverty and reducing the inequality that affects this population are proposed. Among other suggestions, we propose that all large-scale information-gathering instruments include the most appropriate indicators of the ethnic condition of the informant, as well as information on the particular ethnic group to which he/she belongs. It also suggests that these indicators might be cross-tabbed with all other variables of the instrument in question on line, when this is possible. It discusses the convenience of having much more precise information on the education of indigenous students, the schools they attend and their teachers. As a last point it discusses the difficult question of assessing learning of indigenous students with standardized tests: the injustice of applying them in Spanish, and the difficulty of developing effective tests in indigenous languages. It concludes recalling the Universal *Declaration on the Rights of Indigenous Peoples*, which now has Constitutional standing in Mexico, and its prescription of the right of indigenous peoples to participate in the definition of their own educational systems, including their evaluation and the assessment of their results.

Key words: Indigenous Education, Information on Indigenous Education, Data on Indigenous Education.

Las condiciones educativas de los pueblos indígenas y la importancia de la información

De inicio, indicamos la importancia de contar con información detallada sobre cada uno de los pueblos indígenas de México respecto a los principales indicadores de bienestar y desarrollo del país. Esto es así por dos razones. La primera es la conocida marginación en la que se encuentran los pueblos indígenas: 89.7% de ellos viven por debajo de la línea de pobreza; la gran mayoría habita en municipios de alta o muy alta marginación y con los índices más bajos de desarrollo humano. La segunda obedece al reconocimiento de México como país pluricultural con fundamento en sus pueblos originarios, realizado en 1992 con motivo del 500 aniversario del encuentro entre dos mundos y, actualmente, consignado en el artículo 2° constitucional. Tanto la una como la otra apuntan claramente a la necesidad de avanzar hacia el aseguramiento de las condiciones para un desarrollo mucho más equilibrado entre los pueblos y las culturas originarias y la mestiza, que componen nuestro país, que lo hacen diverso y le otorgan su fortaleza.[2]

Estamos muy lejos de que se cumpla este ideal implícito en nuestra definición como país pluricultural. En cuanto a todos los indicadores de desarrollo de los que tenemos información, los pueblos indígenas se encuentran en rezago y ocupan los últimos lugares respecto a otros sectores de la población, como sea que éstos se clasifiquen. El índice de desarrollo humano de los pueblos indígenas de México (IDHPIM) se ubica en 0.7057, a diferencia del IDH de la población no indígena, el cual es de 0.8304, es decir, hay una brecha de 15% entre una y otra. Existen brechas de cada uno de los componentes del IDHPIM: el de salud es de 0.7319 para los pueblos indígenas y de 0.8841 para los no indígenas; el de ingresos para los primeros registra 0.6471 y el de los segundos, 0.7579. Las zonas de alta marginalidad continúan siendo predominantemente indígenas. Sus condiciones de salud, educación, ingresos y empleo, entre otros aspectos, siguen siendo, a todas luces, insuficientes para una vida digna (PNUD, 2010).

En relación con la educación, dos de cada tres niños entre los 6 y 14 años de edad que no están en la escuela son indígenas. El índice de analfabetismo de la población hablante de alguna lengua indígena disminuyó entre el 2005 y 2010 de 34 a 27%; sin embargo, sigue siendo cinco veces mayor que el analfabetismo de la población no hablante de lengua indígena del mismo grupo de edad (5.4%) (INEGI, 2011). El 28% de la población hablante de lengua indígena de 15 años o más no ha concluido su educación primaria; esto sólo es cierto de 6% de la población no hablante de lengua indígena de ese grupo de edad (INEGI, 2006).

Después de casi 20 años de que se publicara la *Ley General de Educación*, en la cual se estipula que el Estado tiene la obligación de asegurar que la población de 5 años de edad curse un año de educación preescolar, 90% de los niños no indígenas de 5 años asiste, contra sólo 76% de los infantes indígenas. El 84% de los alumnos de primer grado de primarias generales y 64% de los de primarias indígenas cursaron, al menos, un grado de preescolar. La desigualdad se reproduce también con los más pequeños (Schmelkes, 2007) y la educación preescolar, que tiene el propósito de "nivelar el terreno de juego" (Roemer, 1998), es decir, de preparar a los niños para tener igualdad de oportunidades de aprender en la primaria, con los indígenas no lo está cumpliendo por falta de oferta suficiente.

La expansión reciente de la escolaridad en zonas indígenas está modificando rápidamente esta situación. La población de 6 a 14 años que no asiste a la escuela y que no es hablante de lengua indígena representa 4.9% de la población de esa edad. El porcentaje correspondiente entre quienes hablan lengua indígena es de 8.3% (INEGI, 2006).

2 Una importante iniciativa para cambiar, introducir o especificar indicadores en el censo y otros instrumentos estadísticos para hacer la información más pertinente tanto para las instituciones gubernamentales como para la población especialmente interesada se presentó en la VII Sesión del Foro Permanente para las Cuestiones Indígenas, celebrado en Nueva York en el 2008 (Del Val, 2008).

De esta manera, la escuela se convierte en la principal responsable de la disminución de la brecha en analfabetismo entre la población indígena y la no indígena. A pesar de ello, la brecha persiste, y esto significa que seguirá habiendo, en el futuro, más analfabetas indígenas que no indígenas, con todo lo que ello trae consigo respecto a las dificultades de acceso a la satisfacción de necesidades básicas. Si bien mejoran los índices de retención y aprobación de los alumnos de escuelas primarias indígenas, la brecha entre primarias indígenas y no indígenas se mantiene. Datos procedentes de estudios etnográficos revelan índices de deserción mucho más elevados de los que muestran las cifras oficiales.

Los insumos con los que cuentan las escuelas indígenas explican, sin duda, parte de la desigualdad en sus resultados. Las escuelas primarias indígenas son las peor dotadas de infraestructura (INEE, 2007). El 50% de los maestros de las escuelas indígenas no cuenta con grado de licenciatura; de hecho, fuera de la Universidad Pedagógica Nacional, que ofrece a los maestros indígenas en servicio la formación profesional semiescolarizada, sólo 22 normales del país tienen la Licenciatura en Educación Primaria Intercultural Bilingüe, sin que exista una oferta similar para los maestros de preescolar indígena.

Todas las evaluaciones de logro académico realizadas por el Instituto Nacional para la Evaluación Educativa (INEE), en todas las asignaturas evaluadas y para todos los grados evaluados, colocan los niveles de aprendizaje de los niños que asisten a escuelas indígenas por debajo de todos los demás tipos de escuela. La distancia que los alumnos de escuelas primarias indígenas guardan respecto a los que asisten a escuelas primarias privadas es de dos desviaciones estándar (INEE, 2006 y 2007).

En las condiciones descritas, los niños indígenas aprenden mucho más tarde a leer y a escribir; a los 8 años de edad, un infante debe estar en tercer grado, y se espera que se alfabetice entre el primero y el segundo. A pesar de ello, el analfabetismo entre los hablantes de lengua indígena de 8 a 14 años de edad es de 13.5%; este dato es corroborado por estudios etnográficos (Bertely, 2000; Freedson y Pérez, 1999; García Ortega, 2003; López Guzmán, 1994; Modiano, 1974). En cambio, entre la población no hablante de lengua indígena, el porcentaje es de apenas 2.4 por ciento. Los niños indígenas, incluso asistiendo a la escuela, presentan un rezago en alfabetización consecuente. Como era de esperarse, esto es cierto de 99% de los monolingües en lengua indígena. Este rezago lo conservan los alumnos indígenas respecto a los no indígenas, aunque con menor distancia, entre los 12 y 14 años, edad en la que teóricamente ya debía haberse concluido la educación primaria: 1.2% de la población no hablante de lengua indígena y 5.8% de la hablante son analfabetas (INEGI, 2006).

Las causas de esta problemática son de todos conocidas y tienen que ver con la historia de México y el racismo que se ha incrustado en nuestras leyes, en las estructuras y en las formas de operar de las instituciones, además de manifestarse en las relaciones interpersonales, de forma especialmente crítica en los mercados (de trabajo, mercancías, insumos agrícolas) y con las instancias gubernamentales. Ello, sin embargo, no justifica que estas enormes diferencias sigan existiendo, con menor razón ahora que nacional e internacionalmente reconocemos los derechos de los pueblos indígenas. Por eso, resulta indispensable poder diagnosticar y denunciar de manera continua condiciones como las anteriores y, a la vez, medir y reconocer los progresos que el país ha venido haciendo a este respecto.

Una sociedad justa y democrática pasa, necesariamente, por la atención a las condiciones de vida de los pueblos indígenas, y ello supone el conocimiento de éstas. También, pasa por el logro de una mucha mayor participación de los pueblos indígenas en la definición de sus propios procesos de desarrollo, en todas las áreas. Esto, asimismo, supone conocer mejor sus condiciones para contribuir a eliminar los obstáculos a su mayor participación.

Necesidades de información

El diagnóstico que se hizo arriba acerca de la situación educativa de los pueblos indígenas en la educación primaria es más o menos todo lo que se puede decir a partir de la información estadística disponible, si bien es cierto que pueden realizarse estudios más profundos, utilizando las estadísticas, que relacionen los datos educativos con otros datos de las encuestas específicas para explicar mejor el fenómeno; pero hace falta contar con más información para, realmente, tener elementos que permitan diseñar políticas públicas eficaces para el logro de una mayor calidad de la educación destinada a los pueblos indígenas, en condiciones de mayor equidad con el resto de la población, a todos los niveles educativos. Así, por ejemplo:

a) Es importante tener información respecto de todos los indicadores de desarrollo educativo, en función de su condición de indígena.[3] Esto también se aplica a la que producen otros sectores, como: salud, economía, vivienda... En el caso de la educación, por ejemplo, no contamos con datos acerca de si los beneficiarios —estudiantes del sistema— son o no indígenas. En el de los niveles de preescolar y primaria, sabemos si los alumnos asisten o no a escuelas indígenas; los que van a éstas son, en efecto, casi todos indígenas; pero lo contrario no es cierto: a juzgar por la diferencia entre los alumnos que asisten a escuelas indígenas y los alumnos indígenas que van a la escuela (Comisión para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas, 2006), en el 2000 se calculó que, al menos, 30% de los indígenas asisten a preescolares y primarias no indígenas (Coordinación General de Educación Intercultural y Bilingüe, 2002). Muchos de ellos son indígenas que ya viven en zonas urbanas, donde, salvo excepciones (Tijuana, Acapulco y Monterrey en muy pequeña escala), no opera el subsistema de educación indígena (SEP, 2013). De esta manera, los datos que tenemos para saber cuántos alumnos indígenas están matriculados en escuelas no indígenas provienen de las respuestas de los directores de las mismas a una pregunta que se le formula en el formato 911[4] sobre el número de estudiantes indígenas que tienen. El director tampoco cuenta con una manera fehaciente de identificar a los alumnos indígenas, por lo cual responde con un dato sobre los alumnos que cree que tiene, y éste no es individualizado, sino agregado. En el caso de las universidades, no se pregunta por condición de lengua o pertenencia étnica: "Sería ofensivo", me comentó un rector en alguna ocasión. Podemos suponer que algo similar sucede con los datos que recaban otros sectores. Sólo el Censo de Población y Vivienda, cada 10 años para algunos indicadores, y el Conteo de Población y Vivienda, cada cinco años para otros, nos revelan la situación.

Se considera necesario que todos los instrumentos del INEGI que se presten a ello pregunten sobre la condición de ser indígena (a través de los indicadores más idóneos), de manera que esta variable pueda cruzarse con las sustantivas de la encuesta o censo en cuestión. Esto ya se hace con el indicador de *Hablante de alguna lengua indígena* en los censos de Población y Vivienda y Agropecuario, así como en las encuestas nacionales de Ingresos y Gastos de los Hogares (ENIGH), de Adicciones (en su Módulo de Migración), sobre Uso del Tiempo (ENUT) y sobre la Dinámica de las Relaciones en los Hogares (ENDIREH). En cambio, no se pregunta acerca de lengua indígena —ni sobre ningún otro indicador de pertenencia étnica— en las encuestas nacionales de Ocupación y Empleo

3 Es vieja la polémica acerca de cómo se sabe si una persona es o no indígena. El INEGI ha optado por definirla en función de su condición de habla de una lengua indígena; sin embargo, el propio INEGI, en el cuestionario ampliado del 2010, incluye la pregunta sobre si la persona se considera o no indígena. Sorprende la respuesta, pues si bien sólo 6.9% de la población de 3 años o más habla una lengua indígena, 15% se considera indígena. Esto nos indica lo importante que resulta tener formas más complejas de identificar a la población indígena. Por ahora, sólo contamos con el dato de la lengua.

4 Formato básico que se envía a todas las escuelas dos veces por año para recabar las estadísticas continuas, de principio y fin de cursos, de la Secretaría de Educación Pública (SEP).

(ENOE), ni en su Módulo de Trabajo Infantil, y sobre Confianza del Consumidor (ENCO), en la Encuesta sobre el Seguro Médico para una Nueva Generación ni en las encuestas nacionales sobre Cultura Política y Prácticas Ciudadanas y sobre Violencia en el Noviazgo.

b) Parece indispensable contar con información por pueblo indígena. Esto ya lo hacen tanto el Censo de Población y Vivienda como la ENIGH y la Encuesta Nacional de Adicciones en su Módulo de Migración. En la ENUT y ENDIREH se pregunta sobre la condición de habla de lengua indígena, pero no acerca de la lengua en específico. En los instrumentos ya mencionados en los que sí se pregunta la condición de hablante de lengua indígena, esta variable no se puede cruzar en línea con el resto de la información, es necesario solicitar al INEGI el procesamiento deseado.

Los pueblos indígenas de México son muy distintos entre sí. El que se consideren un todo homogéneo es, hasta cierto punto, una muestra más del racismo propio de nuestra idiosincrasia mestiza. De ahí la importancia de preguntar no sólo por la condición de pertenencia a una etnia, con los mejores indicadores que se vayan definiendo, sino por la etnia específica a la que se pertenece (o la lengua en particular que se habla). Además, debería ser posible hacer cruces en línea entre estas dos variables y las demás del instrumento en cuestión.

c) Sería muy conveniente, como ya indicábamos, añadir mayores aproximaciones a la definición de la condición de ser indígena. Celebramos enormemente que se considere ya desde hace 10 años, en el cuestionario ampliado, la autoadscripción, así como que se haya construido la variable de la pertenencia a un hogar donde el jefe del mismo hable una lengua indígena. También, resulta muy valioso el que puedan clasificarse las localidades según la proporción de hablantes de lengua indígena, pues esta variable sirve como *proxy* de gran utilidad a la de *población indígena*. No obstante, faltaría explorar más a fondo esta posibilidad a través, por ejemplo, de preguntar si se entiende una lengua indígena —esto ya lo hace la ENIGH— y si el padre y/o la madre hablan o entienden una lengua indígena. Esta última variable sirve, además, para alertar sobre el desplazamiento de las lenguas indígenas y para su análisis por lengua. Podrían diseñarse, también, otros indicadores relacionados con la cultura, que convendría consultar con antropólogos y otros profesionales, ya que a la fecha no existe ninguna variable que se aproxime a indagar aspectos de naturaleza cultural.

d) Un faltante muy notable es lo que se refiere a la migración en general y a la indígena en particular. Como bien se sabe, hay una numerosa población, de entre ella muchos indígenas, que migra a las zonas de agricultura comercial donde se requiere mano de obra para las fases intensivas de los cultivos, sobre todo para la cosecha, que no ha sido posible a la fecha contabilizarla. La Encuesta Nacional de Jornaleros Agrícolas representa un gran avance; sin embargo, todavía hay lagunas importantes de información, pues la unidad de estudio sigue siendo la vivienda, y estos migrantes, en los lugares de destino, viven en los campos. Los datos que se tienen parecen subestimar el número de indígenas que están en esta condición. Se conoce la reticencia de los administradores y los dueños de los campos para permitir la entrada a encuestadores. No obstante, el problema de la migración es muy serio, conlleva trabajo infantil y desprotección en cuestiones laborales y de salud: al día de hoy no ha podido ser cuantificado. El impacto del trabajo infantil agrícola sobre la escolaridad de estos niños es bien conocido. Los programas especiales de la SEP —Programa Nacional de Educación para Niños y Niñas Migrantes (PRONIM)— y del Consejo Nacional de Fomento Educativo (CONAFE) —Modelo

Educativo para Niños Indígenas Migrantes (MENIM)— alcanzan a atender, optimistamente, a 10% de esta población estimada en 350 mil niños y niñas en edad escolar. La información sobre la cobertura y el avance educativo de éstos se encuentra también en condiciones deplorables.

e) En relación con el trabajo infantil, existen áreas del mismo en las que la presencia de niños y niñas indígenas es alta y que no han podido ser caracterizados. Me refiero, en específico, a las peores formas de trabajo infantil. También, se reconoce la dificultad de incursionar en terrenos complicados como éste, pero justamente por su gravedad es claro que su mejor conocimiento amerita un esfuerzo especial.

f) No hay datos por niño sobre su pertenencia o no a un pueblo indígena respecto a ningún indicador de desarrollo educativo y a ningún nivel educativo. Sólo sabemos cuántos niños asisten a zonas indígenas. El dato del pueblo indígena al que pertenecen existe, pues se envían libros en lenguas diferentes a las diferentes escuelas, pero no está disponible en las estadísticas.

No hay datos sobre los maestros de los niños indígenas, ni por niño ni por escuela. Sería indispensable tener información acerca de la lengua materna de los maestros, su escolaridad y su actualización docente, por mencionar sólo algunas de las variables importantes. Tampoco contamos con datos acerca de las condiciones materiales de las escuelas a las que asisten los niños indígenas ni de su equipamiento.

g) El asunto de la medición del logro académico entre los indígenas está ahora sobre la mesa de la discusión, y es muy polémico. Recientemente, una escuela indígena de Chiapas levantó una demanda ante el Consejo Nacional para Prevenir la Discriminación por la aplicación indiscriminada de la prueba de Evaluación Nacional de Logro Académico en Centros Escolares (ENLACE) en comunidades indígenas por considerarla discriminatoria en contra de los indígenas por el hecho de que se aplica en español. En efecto, también en esta prueba los alumnos de escuelas indígenas siempre obtienen resultados por debajo de todos los demás tipos de escuela en todas las mediciones, con excepción de la última aplicación en la que las escuelas indígenas rebasaron a los alumnos de Cursos Comunitarios del CONAFE.

El problema de fondo es que, ante un México diverso cultural y lingüísticamente, el currículo es único para todo el país; pero, incluso si aceptáramos que este currículo homogéneo frente a la diversidad fuera válido —cosa difícil de defender frente a los resultados de la investigación educativa—, la evaluación que se realiza con todos los niños de tercero de primaria a tercero de secundaria, todos los años, se hace en español. No puede negarse que el desempeño de los infantes no es el mismo en una segunda lengua de lo que puede ser en la materna. Incluso entre los docentes, como lo muestra un estudio reciente (Schmelkes y Chávez, 2011), la diferencia en el desempeño frente a pruebas estandarizadas entre hablantes del español como idioma materno y hablantes de lengua indígena como primera lengua es significativa.

Si las pruebas ENLACE, que se aplican en español, fueran utilizadas sólo con fines diagnósticos y para identificar las escuelas que requieren mayor apoyo, el problema no sería tan grave. Se vuelve serio cuando los resultados de estas evaluaciones tienen consecuencias: sobre la reputación de la escuela, porque éstos se comparan con los de otras escuelas y se hacen listas de *ranking*, y para los docentes, cuyos incentivos en Carrera Magisterial y otros adicionales se basan de manera importante en dichos resultados. La situación, entonces, es claramente injusta.

No hay formas sencillas de resolver este problema. Ninguna lengua indígena, de las 68 del país, es lengua que no se escribe. Pocas en los hechos se escriben, es decir, no tienen una práctica social de la forma escrita. Las que se han documentado y que cuentan con una gramática sistematizada y con alfabeto, y en las cuales sí hay producción escrita, no están estandarizadas. Incluso en el náhuatl, con la escritura alfabética más antigua y que más se escribe y publica, hay cuatro alfabetos que se disputan la hegemonía. Si el maestro enseñó a leer y escribir en lengua indígena, no podemos saber con qué alfabeto lo hizo. Además, las lenguas tienen fuertes variantes entre ellas. El Instituto Nacional de Lenguas Indígenas (INALI) identifica 364 variantes de las 68 lenguas —variantes difícilmente inteligibles entre ellas—; ¿en cuál se elaboran las pruebas?: ¿en las 364? Y si no hay una prueba en cada variante, ésta seguiría siendo injusta para los niños cuyas variantes no están en las pruebas.

De esta manera, si las evaluaciones estandarizadas se aplicaran en lengua indígena, es posible que tampoco les fuera bien en ellas a los alumnos indígenas. El INEE se encuentra realizando un estudio piloto en el que está aplicando una prueba de matemáticas para tercero de preescolar, en forma oral, en lengua maya, la cual tiene la característica de que se entiende en toda la península de Yucatán. El hecho de que la prueba sea oral evita los problemas derivados de su escritura, pero hacer esto mismo para otras lenguas y, sobre todo, para otros niveles educativos, resulta, para decir lo menos, complejo.

La única solución, entonces, parece ser la de cumplir con lo que estipula la *Declaración Universal de los Derechos de los Pueblos Indígenas*: que ellos participen en la definición de sus contenidos educativos. Esto implica que intervengan también en detallar la forma en que el aprendizaje será evaluado.

Mientras tanto, carecemos de información dura acerca de la calidad de la educación que reciben los niños indígenas y, menos aún, acerca de la calidad de sus aprendizajes.

Reflexión final

Hemos analizado la difícil situación en la que históricamente han vivido, y que hoy en día viven, los indígenas en nuestro país. Hemos visto cómo el sistema educativo actual tiende a seguir manteniéndolos en los niveles más bajos de desarrollo educativo y de aprendizaje. A esto hemos llegado con la poca información disponible sobre la educación de los pueblos indígenas. Este artículo pretende argumentar en favor de la necesidad de evitar que las estadísticas —como tantas otras cosas en la estructuración del Estado mexicano y de su sistema educativo— cumplan también funciones discriminatorias al impedir conocer la situación en general, y educativa en particular, de los pueblos indígenas. Conocer mejor esta realidad, y divulgar este conocimiento, favorecerá explicar la problemática, medir fehacientemente su evolución y actuar en consecuencia.

Referencias

Bertely Busquets, M. *Familias y niños mazahuas en una escuela primaria mexiquense: etnografía para maestros.* Toluca, ICEM, 2000.

Comisión para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas. *Indicadores sociodemográficos de la población indígena 2000-2005.* 2006. En: http://www.cdi.gob.mx/cedulas/sintesis_resultados_2005.pdf. Consultada el 25 de enero de 2013.

Coordinación General de Educación Intercultural y Bilingüe, SEP. *Diagnóstico de la educación indígena en México.* Mimeo. México, 2002.

Del Val, J. *Los pueblos indígenas y los indicadores de bienestar y desarrollo "Pacto del Pedregal"*. Informe preliminar para la VII Sesión del Foro Permanente para las Cuestiones Indígenas. Organización de Naciones Unidas. Universidad Nacional Autónoma de México, 2008.

Dirección General de Educación Indígena (DGEI). *Informe interno.* Mimeo. México, DGEI, 2006.

Freedson González, M. J. y E. Pérez Pérez. *La educación bilingüe-bicultural en los Altos de Chiapas.* México, SEP-UNICACH, 1999.

García Ortega, Eleazar. "La escuela pública y los pueblos indios", en: Soberanes Bojórquez, F. (Coord.). "Pasado, presente y futuro de la educación indígena", en: *Memoria del Foro Permanente por la Reorientación y el Fortalecimiento de las Lenguas y las Culturas Indígenas.* México, Universidad Pedagógica Nacional, 2003.

INEE. *La calidad de la educación básica en México. Informe anual 2006.* México, INEE, 2006.

_____ *El aprendizaje de tercero de primaria en México: Español, Matemáticas, Ciencias Naturales, Ciencias Sociales.* México, INEE, 2007.

INEGI. *Conteo de Población y Vivienda 2005.* México, INEGI, 2005. En: http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2005/Default.aspx.Consultada el 10 de septiembre de 2011.

_____ *Censo de Población y Vivienda 2010.* México: INEGI. 2010. En: http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:http://www.censo2010.org.mx/. Consultada el 10 de septiembre de 2011.

López Guzmán, Bartolomé. *Los maestros bilingües amuzgos de Xochistlahuaca, Gro., y la práctica docente en el medio indígena.* Tesis de Licenciatura en Educación Indígena. México, Universidad Pedagógica Nacional, 1994.

Modiano, Nancy. *La educación indígena en los Altos de Chiapas.* México, Instituto Nacional Indigenista, 1974.

Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). *Informe sobre el desarrollo humano de los pueblos indígenas de México.* México, PNUD, 2010. En: http://planipolis.iiep.unesco.org/upload/Mexico/Mexico_HDR_2010.pdf. Consultada el 2 de febrero de 2012.

Roemer, J. E. "Igualdad de oportunidades", en: *Irigoría* (18), pp. 71-87, 1998.

Schmelkes, S., G. Águila, R. Magaña, J. Rodríguez y V. Ojeda. *Estudio cualitativo del impacto del Programa Oportunidades sobre la educación de la población indígena.* Mimeo. México, 2007.

Schmelkes, S. y C. Chávez. *Professional Training of Indigenous Teachers in Mexico.* Ponencia presentada en el seminario Reconstructing National Identities: Intercultural Bilingual Education in Latin America, organizado por Teachers College de la Universidad de Columbia, en Nueva York, NY, EE.UU., los días 6 y 7 de octubre de 2011. En prensa. 2011.

SEP. *Sistema de Consulta Interactiva de Estadísticas Educativas.* 2013. En: http://168.255.106.22/principalescifras/Default.aspx. Consultada el 25 de enero de 2013.

Climate Change and Water Access Vulnerability in the Human Settlement Systems of Mexico: **The Merida Metropolitan Area, Yucatan**

Mauricio Domínguez Aguilar, Federico Dickinson Bannack y Ana García de Fuentes

El acceso al agua en los asentamientos humanos de México está siendo impactado por el cambio climático, lo cual pone en riesgo su desarrollo humano y crecimiento económico. Poco se ha estudiado este fenómeno a escala urbano-regional. Desde la aproximación vulnerabilidad al cambio climático se propone un índice compuesto para estudiar este fenómeno en la Zona Metropolitana de Mérida, Yucatán, México. Basado en fuentes secundarias generadas por confiables instituciones mexicanas, el resultante índice de vulnerabilidad de acceso al agua (WAVI, por sus siglas en inglés) permite la identificación y priorización de esta vulnerabilidad y los factores que contribuyen a ésta en los asentamientos humanos de la zona estudiada. Los resultados de la aplicación del WAVI muestran cómo este tipo de vulnerabilidad varía dentro de la zona de estudio y sugieren que este fenómeno se intensificará en relación con factores sociales.

Palabras clave: Yucatán, cambio climático, vulnerabilidad, asentamientos humanos e índices compuestos.

Climate change affects water access in the human settlements of México, thus threatening their human development and economic growth. There has not been paid enough attention to this phenomenon at the urban-regional scale. The vulnerability approach to climate change is used to propose a compound index for studying this phenomenon in the Merida Metropolitan Area, Yucatan state, Mexico. Based in secondary-sources data generated by trustworthy Mexican institutions, the resulting Water Access Vulnerability Index (WAVI) allows identification and prioritization of this vulnerability and the factors contributing to it in the human settlements of the study area. WAVI results show that this kind of vulnerability vary within the study area and suggest that this phenomenon will intensify in relation to social factors.

Keywords: Climate change vulnerability, Water, Human settlements, Secondary-sources data, Compound indexes.

Fotografía: Mauricio Covarrubias Flores.

Mural de Luis Covarrubias. Museo Nacional de Antropología. Sala Maya Arqueológica. México, DF.

1. Introduction

Water is an essential component for the proper functioning of human settlements. Water access is crucial to human development and economic growth (Parkin 1982; Rich 1982). In nature, water availability is governed by environmental phenomena. Many of these phenomena are beginning to reflect climate change impacts, frequently threatening water availability for humans (IPCC 2007). However environmental factors may influence water availability, water access is primarily determined by social factors. Millions of people worldwide face water access problems (UN-HABITAT 2006b). These and many other authors address water access from a social perspective, yet their explicative effectiveness within urban-regional contexts is being tested as climate change affects significantly water access in human settlements. An alternative for study of this challenge is the vulnerability approach to climate change (James, Osvaldo et al. 2001).

Human settlements are dynamic, complex socio-ecological systems which arise from the interaction of socio-economic and environmental processes on various scales; cities are a physical manifestation of these interactions (Sanchez 2007). This perspective is fundamental for the developing of urban studies using the vulnerability approach to climate change. Research utilizing this approach is rare in developing countries, Mexico being no exception. It is even rarer at the urban-regional scale; that is, considering the complete human settlement system and not just one city or some neighborhoods within it.

In this study we used the vulnerability approach to climate change in order to evaluate water

access in the human settlement system known as the Merida Metropolitan Area (MMA). No specific method exists to evaluate water access with this approach, so we proposed a method for this kind of evaluation. It employed a strong quantitative emphasis and was designed to 1) define vulnerability levels for a given human settlement system; 2) map this vulnerability and locate priority areas, and 3) identify and prioritize the contributing factors to water access vulnerability in the system.

1.1. The Merida Metropolitan Area (MMA)

Located in Yucatan state, MMA is one of the 55 metropolitan areas in Mexico (SEDESOL, CONAPO et al. 2004). MMA encompass 288 locations in the municipalities of Conkal, Kanasin, Merida, Progreso, Ucu and Uman. Overall, the MMA covers 1 978 km^2 and had a population of 947 194 inhabitants in 2005; the most populous of the six municipalities was Merida, capital city of Yucatan state (INEGI 2005). In a recent report, the MMA was divided into two main sub-zones: a contiguous urban or conurbation sub-zone (from here on referred to as the conurban sub-zone) and a peripheral-urban subzone (from here on referred to as the peri-urban sub-zone) (OMY 2011). The conurban sub-zone is formed by 19 locations (i.e. 6.25% of the regional total) but contained 89.27% of regional population. In contrast, the peri-urban sub-zone contains 269 locations but only had 101 601 inhabitants in 2005. This dual structure in regional population and population center concentration-dispersion is a result of the "metropolization" process in the MMA. Even though this process has begun at least 40 years ago, it has become more accelerated recently, with important roles played by transformations in the region's productive and economic bases. Growth rates over these 40 years have varied, but three major patterns have occurred between 2000 and 2005: 1) the city of Merida has continued to grow, although at lower rates; 2) coastal population centers have stabilized, with some indications of expulsion, and 3) conurban sub-zone population has grown steadily while growth in the peri-urban subzone has been heterogeneous (Domínguez 2009).

The regional metropolization process has been accompanied by the appearance or exacerbation of environmental problems affecting water access, such as pollution of the local aquifer (the only permanent natural water source for the regional population), and land use substitution. Urban development in the area has not been homogeneous, as it can be seen in certain water access indicators: 10.75% of households in the MMA have no access to the public drinkable water system;[1] 68.49% have no flushing toilet;[2] and only 1.82% are connected to a public sewage system[3] (INEGI 2005). Among other factors, this unequal water accessibility in MMA is related to the control that some actors exert on public budget, as well as both water and land rights (Domínguez 2008).

Two climatic regimes can be identified within the MMA —a semi-arid climate on the coast and a sub-humid one in the remaining area. However, the real difference between these two regimes is the amount of rainfall, since temperature (approx. 26° C average annual temperature) is almost uniform across the MMA (García, López et al. 2000). Regional substrate is a karstic plain with high permeability, porosity and dissolution. It has no surface drainages or water bodies, and the only water source is the aquifer. Recharged by rainfall, this aquifer consists of a layer of freshwater flowing south to north and a deeper saltwater layer. It is highly productive, but also extremely vulnerable to anthropogenic pollution and saltwater intrusion (Marín and Perry 1994; Graniel et al. 1998; González-Herrera and Pérez 1999; Escolero, Marín et al. 2000; Escolero 2002). Current saltwater intrusion in the region is more related to anthropogenic activities in the coast, and it also represents one of the most dangerous threats of climate change due to future sea level rise. Other expected climate-change impacts in the region are an increase in the hurricane frequency and a rainfall variation (Bates, Kundzewicz et al. 2008; Orellana, Espadas et al. 2009).

1 In this context, access consists of a connection to the public drinkable water system inside the household, or at least at the edge of the property.
2 This assumes the toilet is inside the dwelling and can be flushed directly or manually.
3 Public sewage systems are defined as providing adequate wastewater treatment and disposal.

2. Theory and calculations

2.1. Climate change vulnerability

The concept of vulnerability evolved from risk research (Cutter 2001). A number of definitions exist for vulnerability (Cutter 1996), although most vulnerability research can be classified as addressing physical or social risk. Physical risk, also called "exposure" in Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) terminology, encompasses physic-environmental characteristics and processes, which increase the risk of experiencing damage. Social risk, also known as "social susceptibility" or "social sensitivity" (IPPC), helps to understand how a diversity of social aspects intervene in creating the myriad results arising from exposure of a socio-ecological system to different types of risk (Cutter 1996; Schmidtlein, Deutsch et al. 2008).

Within climate-change research, vulnerability has expanded to become a more complete concept by encompassing the exposure and sensitivity of a socio-ecological system to the impacts of climate change, as well as the system's adaptive capacity. That is, its ability to resist, recover from and even take advantage of the effects caused by change (James, Osvaldo et al. 2001). This acknowledges climate-change vulnerability as an interactive phenomenon requiring an understanding of how environmental processes function within an unequal socio-economic and political context at different scales (Kasperson, Kasperson et al. 2001; Turner II, Kasperson et al. 2003; Hahn, Riederer et al. 2009). Socio-ecological systems have differential sensitivity to disturbances and are dynamic in terms of their adaptive capacities and the strategies implemented in response to disturbances. These abilities and strategies are based on social, economic, institutional and political structures (Turner II, Kasperson et al. 2003).

An approach to climate-change vulnerability consists in evaluating it from current climate perspective (Jones et al. 2007 mentioned in Carter, Jones et al. 2007). This approach is useful in the uncertain context within which socio-ecological systems are currently developing. It helps in the process of risk detection, improves decision-making and can even function as a development framework (O'Brien, Leichenko et al. 2004).

Within the methodological approaches used to study vulnerability are compound indexes (Hahn, Riederer et al. 2009). Measurement methods are being developed actively within vulnerability research, and are clearly influenced by the way the analyzed system is conceived (Turner II, Kasperson et al. 2003). Vulnerability depends heavily on context and scale (Downing and Patwardhan 2005).

2.2 Conceptualizing water access in human settlements from a focus on climate-change vulnerability, and developing the Water Access Vulnerability Index (WAVI)

Water is used by different sectors in urban contexts, but the present study focuses on domestic use; that is, water access for the general population. Climate change impacts are generating a new risk dimension affecting the already complexity of water-access phenomenon. In this new situation, the entire socio-ecological system represented by the extended human settlement, becomes vulnerable. Study of water access within the context of climate change requires integrating concepts such as the IPCC climate-change vulnerability concept, which is understood as the function of the character, magnitude and rate of climate variations to which a system is exposed, as well as that system's sensitivity and adaptive capacity (James, Osvaldo et al. 2001).

Among the methodological alternatives in vulnerability research, we chose to address water access by building a compound index to integrate social and environmental factors deemed as relevant in appropriate literature, as well as important aspects of MMA. Existing compound indices were reviewed during the design process, including the *Livelihood Vulnerability Index* (LVI) (Hahn, Riederer

et al. 2009), the *Water Poverty Index* (WPI) (Sullivan, Meigh et al. 2003) and the *Human Development Index* (HDI) (UNDP 2007). The result was the Water Access Vulnerability Index (WAVI), intended, like all compound indices, to use a single numerical value to express the complexity of a phenomenon unable to be directly observed or measured. WAVI contributing factors (sub-components) were organized based on their relationship to the principal components of the climate-change-vulnerability definition. A key aspect when using the WAVI to estimate water-access vulnerability is factor's data variability.

Myriad environmental factors can influence the climate change exposure of a socio-ecological system or its components. Correctly interpreting the WAVI requires taking into account the complexity of these factors. The sensitivity of a water resource to climate change is the result of variation in rainfall and temperature among other factors (Klinder and Russel mentioned in Strzepek, Campos et al. 1998). These can clearly affect this resource; for instance, saltwater intrusion, which in coastal zones is associated with an increase in mean sea level and uncontrolled aquifer use by humans. Of the three environmental factors mentioned above, the WAVI incorporates rainfall variation and saltwater intrusion (Table 1).

A number of social factors affect climate change sensitivity in a socio-ecological system. These include population health, social capital, beliefs and customs (Hahn, Riederer et al. 2009), as well as features of the built environment such as urban infrastructure coverage and technology (Cutter et al. 2003, mentionated in Schmidtlein,

Table 1

Water Access Vulnerability Index (WAVI) model applied to the Merida Metropolitan Zone

Principal components	Sub-components	Sub-component description	Data source
Climate change exposure (EXP)	Rainfall variation (RV)	Average rainfall variation during the regional rainy season; 1985-2009 versus 1961-1984. Note: The result is multiplied by the inverse multiplicative: $1/(a+1)$ where, a is the value corresponding to the unit of analysis. This step was done to invert the directionality of the original value and thus meet the index condition, which states that higher values should indicate greater vulnerability.	CONAGUA, 2010. Hydrological basin organisms, technical office, Head of Surface Water Project, and Meteorology. Yucatan, Mexico.
	Saltwater intrusion (SI)	Risk of saltwater intrusion in use of underground water. 2000. Notes: 1. These values are on a 1 to 4 scale, where 1 is equal to the lowest negative influence and 4, to the highest negative influence. 2. The value assigned to a human settlement (location) corresponds to the location of the natural water source that supplies the drinkable water system.	CONAGUA, 2000. Map of Water Extraction Regulation in State of Yucatan, Mexico.
Climate change sensitivity (SEN)	Safe water access deficit (WD)	Percent of houses not connected to the public drinkable water network. 2005.	INEGI, 2005. Microdata. Second Population and Housing Census, 2005. Mexico.
Climate change adaptation capacity (ADC)	Urban poverty (UP)	Adaptation of the UN slum concept used as proxy to measure urban poverty; building of this sub-component was done as the percentage of the population living in households with at least one of two deprivations: sufficient living space and structure durability. 2005.	INEGI, 2005. Microdata. Second Population and Housing Census, 2005. Mexico.

Source: Developed by the authors.

Deutsch et al. 2008). In the present study, the WAVI incorporated just one social factor to evaluate water-access sensitivity in the MMA. Called "safe water access deficit", it adapts the "safe water" concept of the United Nations (Schäfer, Werchota et al. 2007) to local infrastructure coverage, thus describing the existing deficit in basic drinkable water infrastructure in the settlements within the metropolitan area (Table 1). In the future will be important to statistically prove and incorporate in the WAVI other factors such as quantity and quality of the drinkable water service since having the basic infrastructure doesn't necessarily mean that all the community have an effective access to this resource. In the MMA case it was impossible to incorporate these two last factors because data wasn't available at the appropriate scale.

Diverse social factors also affect a socio-ecological system's climate-change-adaptation capacity. These can include the political-institutional framework, within which resource access rights are vital (Adger, Agrawala et al. 2007), and infrastructure assignment via public programs (Domínguez 2008). Poverty is another key factor influencing adaptation capacity and is considered a complex, multidimensional phenomenon (Fields 2005). Research into poverty has produced various theories and approaches; for instance, "urban poverty" is perceived as a distinct form of poverty (FIPU 1996). A physical manifestation of "urban poverty" is housing deprivations, which helps in "slum" differentiation. The UN has defined five dimensions of housing deprivations for "slums": structure durability; living space; safe water access; sanitation access; and secure tenure (UN-HABITAT 2006a). The WAVI incorporated only one factor to evaluate human settlement adaptive capacity; this is an adaptation of the UN "slum" concept used here to indirectly measure "urban poverty" in the MMA (Table 1).

In meeting the objectives of the present study (Section 1), and following the practice of other indices (Ebert, Kerle et al. 2009), statistical evaluations were done to test the predictive relevance of the variables used to measure the social and environmental sub-components. As a result, some factors initially considered in the design process were eliminated, even though they are reported as significant in the related literature.[4] Only those WAVI sub-components shown to have a significant correlation were used.[5] The same procedure was applied to test the index's principal components, which exhibited significant correlations.[6] This makes the WAVI a much more trustworthy index. As has been done with other indices (Sullivan, Meigh et al. 2003; Hahn, Riederer et al. 2009), the WAVI was designed to allow for possible future adjustments by using a balanced approximation of average weights in which each sub-component contributes equally to the index value, even though the principal components contain differing numbers of sub-components.

The WAVI sub-components represent the negative dimension of the measured social and environmental factors. This was done to ensure that the results provided a specific, organized representation of the factors requiring attention (primarily from different levels of government) to reduce water-access vulnerability in the human settlements of the appointed region.

The WAVI was designed to focus analysis on current vulnerability rather than on future vulnerability. This was done because development of adequate climate-change adaptive capacities largely depends on the attention paid by a society to current vulnerability (Carter, Jones et al. 2007).

One of the goals in developing the WAVI was that it would be easily adaptable to other regional urban contexts in Mexico —or other countries nearby—WAVI being perfectible over time. Some authors have criticized the use of secondary source data, claiming it limits measurement of the analyzed phenomena and is not consistently available (Hahn, Riederer et al. 2009). This is true in some

4 The contributing factors eliminated from the WAVI model were toilet in household; variation in drinkable water coverage; rights to health services; and ethnicity.

5 Correlations between the WAVI and its sub-components: $R^2_{\text{WAVI-index RV}} = 0.568$; $R^2_{\text{WAVI-index SI}} = 0.457$; $R^2_{\text{WAVI-index WD}} = 0.332$; and $R^2_{\text{WAVI-index UP}} = 0.417$.

6 Correlations between the WAVI and its principal components: $R^2_{\text{WAVI-EXP}} = 0.68$; $R^2_{\text{WAVI-SEN}} = 0.332$; and $R^2_{\text{WAVI-ADC}} = 0.417$.

cases, although use of secondary source data aids in mitigating financial and other limitations in the study of climate-change implications in certain communities, an especially relevant issue in developing-countries such as Mexico. We believe that existing secondary data sources need not be rejected *a priori*, especially if they are generated by trustworthy institutions with a proven reputation, as this is the case with the data used in developing the WAVI (Table 1). When primary-source data is not available, it is essential to carefully select data sources, so that they meet data requirements for the index variables, confirm their theoretical significance and then statistically test them. In developing the WAVI, trustworthy secondary data sources were vital to meeting the objectives proposed in the present study.

3. Materials and methods

3.1 Calculating the WAVI

As stated above (Sections 1 and 2.2), the WAVI was designed as an approximation of the studied urban-regional phenomenon, meaning the index needed to evaluate groups of locations or other territorial units within a region; this is analogous to the Basic Geostatistical Area (Área Geoestadística Básica —AGEB[7]—) used in Mexico. These groups are to be defined in each study, and labeled as "units of analysis" (Section 3.2).

When applying the WAVI to a human settlement system, the first step is to calculate the sub-component values for each unit of analysis. All the sub-component results must meet the condition that the higher is their value, the greater their contribution to vulnerability will be in the unit. This also applies to calculating and interpreting the results for the principal components and the WAVI. To verify that the sub-components used in the present study meet this condition, the sub-component results were compared to the known reality; if inverse behavior was identified, sub-component direction was inverted. In the case of the MMA, directionality of the rainfall variation sub-component was inverted because analysis indicated that the zone had been experiencing increased rainfall during the rainy season (June-October). This was qualified as positive; as rainfall increases, the environment will have greater water-access and vulnerability will decrease. In this context it was decided that a low or null increase in rainfall should be interpreted as increasing water-access vulnerability in the units of analysis, thus sub-component direction was inverted to meet this WAVI condition. Direction was inverted by applying the inverse multiplicative formula directly to the sub-component results.[8]

The next step in calculating the WAVI is to normalize all sub-component measurements since these are in different scales. As is done in the LVI (Hahn, Riederer et al. 2009), this procedure was carried out by adapting the life expectancy formula, an integral part of the HDI. Another similarity between the WAVI and the LVI is that variables which measure frequency do not use existing values in the MMA units of analysis as the maximum and minimum values[9]. Instead, they use 100% as the maximum value and 0% as the minimum value since these represent the real limits in which these units can adopt a value. The formula for making this calculation is equation (1):

$$\text{index}_{Sd} = S_d - S_{\min} / S_{\max} - S_{\min} \qquad (1)$$

where S_d = the original sub-component value for unit of analysis d; and $S_{\max}$ and $S_{\min}$ are respectively the maximum and minimum sub-component values used to normalize unit d.

Once the sub-components are normalized, the three principal components of the IPCC climate

7 The AGEB was developed by the National Institute of Statistics and Geography (Instituto Nacional de Estadística y Geografía — INEGI—) to report the results for censuses and population and housing surveys.

8 The inverse multiplicative formula is $1/(a+1)$, where a corresponds to each unit of analysis.

9 The WAVI sub-components which measure frequency are "safe water access deficit" and "urban poverty".

change vulnerability definition are calculated for each unit of analysis (James, Osvaldo et al. 2001). Each principal component is calculated separately using equation (2), which represents the average of the number of sub-components contained within it:

$$M_d = \sum^{n}_{i=1} \text{index}_{Sdi} / n \quad (2)$$

where M_d = one of the three principal components for unit of analysis *d*; index_{Sdi} = sub-components normalized by *i*, which integrate the principal component *d*; and *n* = the number of sub-components in principal component *d*.

Finally, once the three principal components are calculated for each unit of analysis, they are averaged with a weighted procedure to produce their WAVI value, using equation (3):

$$\text{WAVI}_d = \sum^{3}_{i=1} w_{Mi} M_{di} / \sum^{3}_{i=1} w_{Mi} \quad (3)$$

where WAVI_d = Water Access Vulnerability Index for unit of analysis *d*; and w_{Mi} = each principal component's weight, determined by the number of sub-components it contains.

3.2 Units of analysis in the MMA

In 2005, there were 288 locations within the MMA (INEGI 2005), of which 78 were included in the present study. These correspond to the 78 locations with complete data that were used to develop the four WAVI model sub-components.[10] However, the WAVI was calculated for many more units of analysis because these 78 identified locations were subdivided into two groups based on availability of AGEB data. AGEB data provides more detail for evaluating the studied phenomenon inside the MMA locations with this level of disaggregation.[11] The WAVI was calculated for a total of 529 units of analysis: 71 locations and 451 AGEB.

3.3 Analysis procedures for urban-regional water-access vulnerability levels and distribution among human settlements and the contribution of social and environmental factors

In indices such as the LVI (Hahn, Riederer et al. 2009), scale results have been defined, although methods are not included to define vulnerability levels between units of analysis. This shortcoming reduces the practical possibilities of using the index-generated data to make concrete decisions aimed at diminishing vulnerability in any given regional population. The WAVI represents progress in this sense because it sets a scale results[12] and it also includes a method to calculate vulnerability levels. To do this, the natural breaks (Jenks) classification method is applied, due to its ability to optimize the best arrangement for the values in a given number of classes by reducing variance within classes and maximizing it between them (Jenks 1967; McMaster 1997).

Analysis of water-access vulnerability levels and their territorial distribution within the MMA was done at the units of analysis scale. Evaluation of the contributing factors to this vulnerability was done by selecting case studies among the units of analysis with medium to high vulnerability; these were catalogued as "priority areas" in the MMA (Section 1). Case study definition was done by applying three selection criteria to these areas: 1) Their location inside the conurban/peri-urban zoning proposed by OMY (OMY 2011). In an effort to generate a more detailed territorial view of these factors through

10 The 210 locations in the MMA for which the WAVI could not be calculated are mostly small, disperse settlements, which represent barely 0.14% of total MMA population. Calculating the sub-components for these locations was not possible due to census data confidentiality (INEGI).

11 The data for seven locations in the MMA were broken down: Kanasin, Merida and Uman (each belonging to the municipality of the same name); and Progreso, Chelem, Chicxulub and Chuburna (all within Progreso municipality).

12 WAVI scale range from zero (lowest vulnerability) to one (highest vulnerability). The same range applies to the sub-components and principal components.

out the MMA and in response to an exploratory exercise which identified behavioral variations in some socio-demographic variables between certain sub-zones, the location criterion was complemented with an additional sub-zone location classification. 2) Homogeneous zones[13] were delimited for those locations with data broken down by AGEB. 3) A random sample of locations was taken of the disperse settlements to ensure they were representative of all the MMA priority areas. A total of 19 case studies were chosen and their sub-component,[14] principal component and WAVI values calculated. For these 19 cases, the natural breaks method was applied to their indexed sub-component and principal component results to evaluate the contributions of the social and environmental factors included in the WAVI.[15]

4. Results

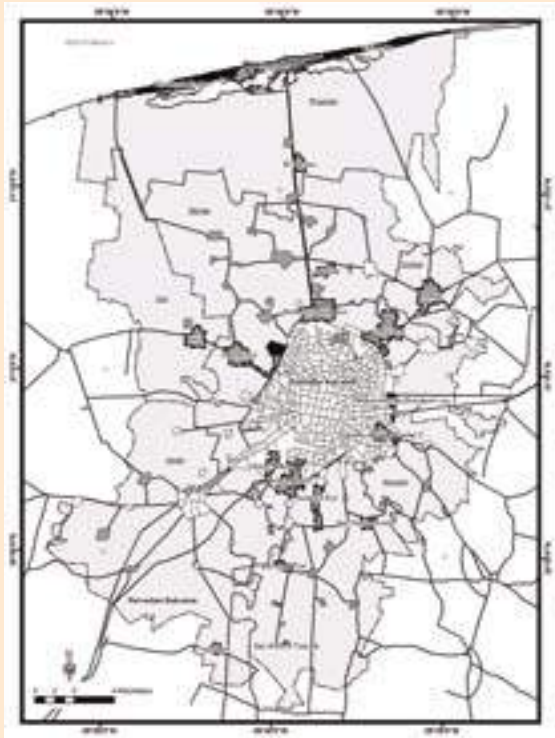
4.1 Vulnerability levels and territorial distribution

Three levels of water-access vulnerability were defined in the MMA: low (WAVI ≤ 0.137), moderate (WAVI = 0.138-0.355) and high (WAVI ≥ 0.356). Of the total number of units of analysis, 72% had a low level, 21% had a moderate level and 6% had a high level. All values for normalized sub-components, principal components and WAVI for the 529 units of analysis, as well as their population at risk, are shown in Appendix A (Online Resource 1).

Territorial distribution of the WAVI values within the MMA showed the low vulnerability units of analysis to be concentrated in the conurban sub-zone. Moderate vulnerability units of analysis were concentrated in the peri-urban sub-zone, although some were identified on the periphery of the conurban sub-zone. High vulnerability zones were concentrated on the coast with some on the periphery of the conurban sub-zone (Figure 1).

Figure 1

Territorial distribution of WAVI values within the Merida Metropolitan Zone, Yucatan, Mexico



Source: Developed by the authors.
Abbreviation: WAVI: Water Access Vulnerability Index.
Legend: Light gray: Merida Metropolitan Zone; White polygons: Low vulnerability areas (WAVI=< 0.137); Dark gray polygons: Intermediate vulnerability areas (WAVI= 0.138 to 0.355); Black polygons: High vulnerability areas (WAVI=> 0.356); Dark gray and black polygons: Priority areas; Polygons with bold hidden lines: Case studies; Black solid lines: Roads; Polygons with dotted lines: Municipalities; *Municipality name*.

4.2 Factors contributing to vulnerability

Previous to the contributing factors analysis, a correlation analysis of the indexed sub-components and the WAVI values was made. It suggested that the main contributing factors (in descending order) are rainfall variation ($R^2_{\text{WAVI-index } PV} = 0.568$);

13 Homogeneous zones were defined as those formed by grouping adjacent AGEB´s with medium and high vulnerability values.

14 The data used to calculate sub-components for priority areas coinciding with homogeneous zones were acquired by summing frequency indicator data for the units of analysis within them and assigning this value to the locations for the sub-components (RV and SI). The rest of the procedure was the same as described in Section 3.1.

15 Vulnerability contribution ranges for each social and environmental factor: Rainfall variation, low (0.00-0.28), moderate (0.29-0.46) and high (0.47-1.00); Saltwater intrusion, low (0.00), moderate (0.001-0.333) and high (0.334-0.667); Safe water access deficit, low (0.007-0.125), moderate (0.126-0.358) and high (0.359-0.781); and Urban poverty, low (0.000-0.141), moderate (0.142-0.254) and high (0.255-0.336).

saltwater intrusion ($R^2_{\text{WAVI-index } SI} = 0.457$); urban poverty ($R^2_{\text{WAVI-index } UP} = 0.417$); and safe water-access deficit ($R^2_{\text{WAVI-index } WD} = 0.332$).

The contributing factors to vulnerability for the 19 case studies (defined in section 3.3) are shown in Table 2; their analysis by sub-zone level indicate that rainfall variation mostly makes low contributions in the South Conurban Sub-zone, and high contributions in the Coast Sub-zone, while moderately contribute in the other three sub-zones. Saltwater intrusion mostly generated high contributions to vulnerability in the Coast Sub-zone, and low contributions in the rest. Finally, safe water access deficit and urban poverty contributing factors have a diverse behavior through MMA sub-zones, even though there is a tendency to moderate values (Table 2).

Continues

Table 2

WAVI indexed sub-component values for 19 study cases (priority areas) in the Merida Metropolitan Area

Priority Area Study Cases by Sub-zone	$index_{RV}$	$index_{SI}$	$index_{WD}$	$index_{UP}$	At Risk Population (2005)	Priority Area Type	
						Locations (total)	AGEB´s (total)
North Conurban Sub-zone					**14 658**	-	**16**
Cholul Exit, *Mérida*	0.290	0.000	0.262	0.075	5 499		
Temozón-Dzityá Exit, *Mérida.*	0.425	0.000	0.781	0.114	451		
Caucel Exit, *Mérida*	0.425	0.000	0.231	0.135	6 860		
North Peri-urban Sub-zone					**26 483**	**23**	-
Ucú, *Ucú*	0.425	0.000	0.230	0.141	2 360		
Conkal, *Conkal*	0.425	0.000	0.172	0.087	6 620		
La Ceiba, *Mérida*	0.256	0.333	0.008	0.000	1 023		
El Paraíso, *Progreso*	0.000	0.667	0.466	0.247	285		
South Conurban Sub-zone					**17 314**	-	**35**
West Airport, *Mérida*	0.138	0.000	0.339	0.254	1 432		
South Airport, *Mérida*	0.138	0.000	0.230	0.336	7 509		
Xmatkuil Exit, *Mérida*	0.463	0.000	0.470	0.238	1 434		
Kanasín-Mérida Overlap 1, *Kanasín*	0.138	0.000	0.309	0.281	1 137		
Kanasín-Mérida w Overlap 2, *Kanasín*	0.138	0.000	0.358	0.232	1 905		

Table 2 Concludes

WAVI indexed sub-component values for 19 study cases (priority areas) in the Merida Metropolitan Area

Priority Area Study Cases by Sub-zone	$index_{RV}$	$index_{SI}$	$index_{WD}$	$index_{UP}$	At Risk Population (2005)	Priority Area Type	
						Locations (total)	AGEB´s (total)
South Peri-urban Sub-zone					**15 438**	**19**	-
San Antonio Tzacalá, *Mérida*	0.463	0.000	0.007	0.290	618		
San José Tzal, *Mérida*	0.463	0.000	0.125	0.214	3 092		
San Pedro Chimay, *Mérida*	0.463	0.000	0.076	0.319	1 012		
Yaxcopoil; *Umán*	0.463	0.000	0.047	0.214	1 102		
Coast Sub-zone					**45 311**	-	**51**
Progreso, *Progreso*	1.000	0.000	0.022	0.087	35 519		
Chuburná-Chelem, *Progreso*	1.000	0.667	0.052	0.176	3 061		
Chicxulub, *Progreso*	1.000	0.667	0.095	0.140	5 052		

Source: Developed by the authors.

Abbreviations: WAVI: Water Access Vulnerability Index; $index_{RV}$: Rainfall variation indexed sub-component; $index_{SI}$: Saltwater intrusion indexed sub-component; $index_{WD}$: Safe water access deficit indexed sub-component; $index_{UP}$: Urban poverty indexed sub-component; AGEB: Área Geoestadística Básica (Basic Geostatistical Area). Names in underlined italics within sub-zones indicate *municipalities*.

Notes: Contribution levels to vulnerability of indexed sub-components. Rainfall variation: low (0.00 to 0.28), moderate (0.29 to 0.46), high (0.47 to 1.00); Saltwater intrusion: low (0.00), moderate (0.001 to 0.333), high (0.334 to 0.667); Safe water access deficit: low (0.007 to 0.125), moderate (0.126 to 0.358), high (0.359 to 0.781); and Urban poverty: low (0.000 to 0.141), moderate (0.142 to 0.254), high (0.255 to 0.336).

5. Discussion

5.1 Water-access vulnerability in the MMA

A number of different social and environmental factors have been linked to water access in societies, but contextualizing this phenomenon within the vulnerability approach to climate change and the present study area suggested that not all of these factors have the same potential usefulness in evaluating this phenomenon. Indeed, the analysis raised doubts about the explicative relevancy of some, at least from a statistical-quantitative perspective and within the MMA. The WAVI aided in identifying and prioritizing the factors contributing to water-access vulnerability in the MMA (Sections 2.2 and 2.4), but also helped to define vulnerability levels among the region's human settlements, analyze the territorial distribution of this vulnerability and identify priority areas.

The most vulnerable population was that living in the priority areas, and accounted for 12.58% of total MMA population. This may be a small percentage compared to the population living in low vulnerability areas, but it nonetheless represents 119 157 people, a substantial portion of the population in 2005.

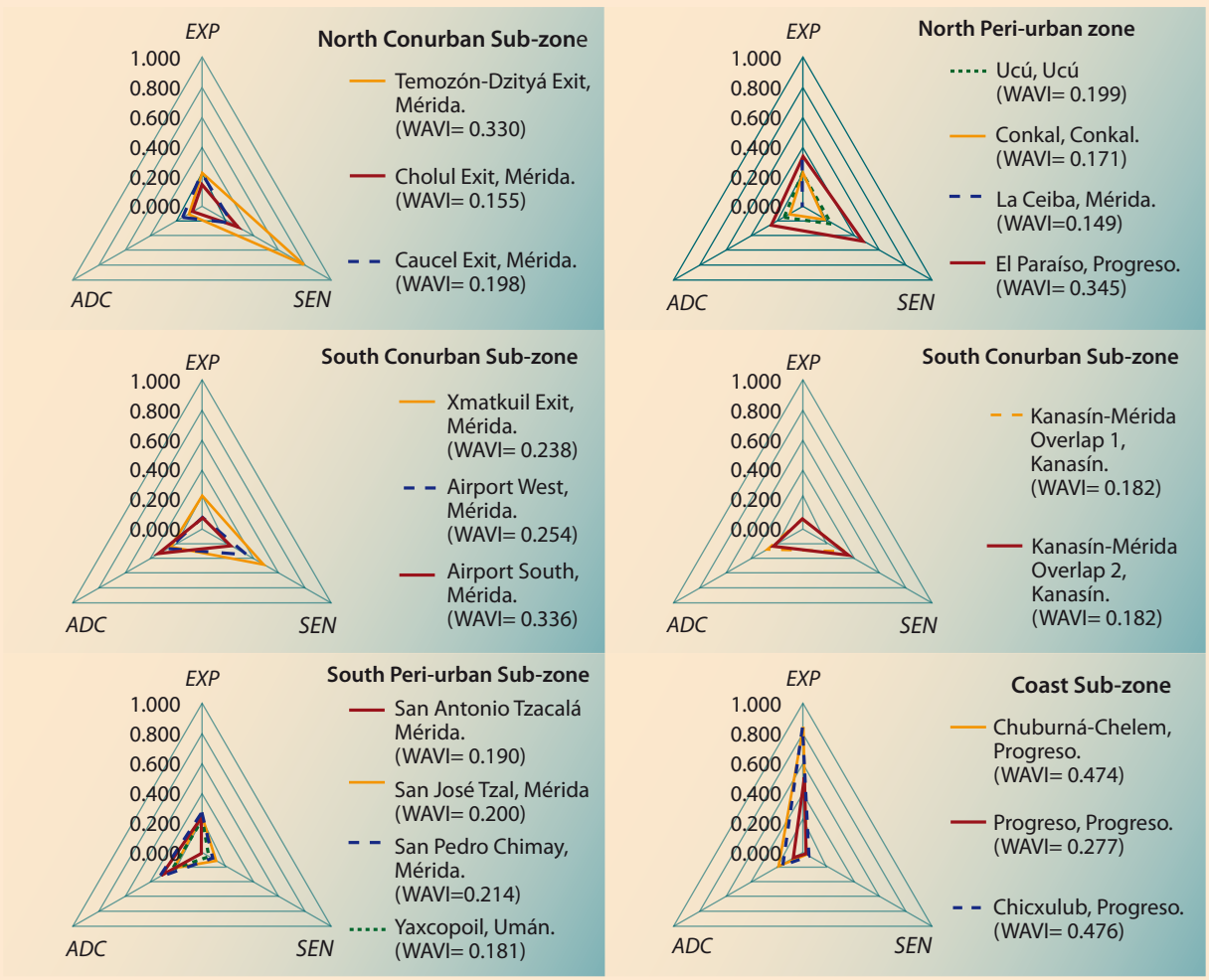
Interpretation of the MMA WAVI results in terms of the IPCC climate-change vulnerability definition components suggested the presence of differential sensitivity between human settlements (Turner II, Kasperson et al. 2003), as well as different levels

of exposure and adaptive capacity, even when some settlements were near one another (Figures 1 and 2). There were also differing behavior patterns among contributing factors, although many settlements shared the same vulnerability level (Table 2 and Figure 2), Progreso is a good example of both situations.

One of the aims in developing the WAVI was to create a tool for implementing actions to address water access vulnerability in the MMA, although these actions did not form part of the present study's objectives. Before these actions can be undertaken, further research will be needed on the society's capacities and adaptive strategies, and the present results will need to be linked to the social, economic, institutional, urban, and political processes and structures which actually generate them.

Figure 2

WAVI principal component values for 19 case studies (priority areas) defined within Merida Metropolitan Area



Source: Developed by authors.

Abbreviation: WAVI: Water Access Vulnerability Index; *EXP*: Climate change exposure principal component; *SEN*: Climate change sensitivity principal component; *ADC*: Climate change adaptation capacity principal component.

Notes: First name: Case study name; Second name (after comma): Municipality name. Water access vulnerability levels: Low (WAVI ≤ 0.137), Intermediate (WAVI = 0.138 to 0.355), High (WAVI ≥ 0.356); Principal component contribution levels to vulnerability. For *EXP*: low (0.069 to 0.141), moderate (0.142 to 0.500), high (0.501 to 0.833); for *SEN*: low (0.007 to 0.125), moderate (0.126 to 0.358), high (0.359 to 0.781); for *ADC*: low (0.000 to 0.141), moderate (0.142 to 0.254), high (0.255 to 0.336).

5.2 WAVI benefits and limitations

The WAVI is an effective way of evaluating water-access vulnerability from a climate-change perspective at the complete human-settlement system scale, an underutilized scale in studies of this phenomenon. When applied to the MMA, the WAVI identified the effects of concrete social and environmental factors. However, the most outstanding aspects of the WAVI are its focus and flexibility in studying this phenomenon, which will allow its adaptation to different regional contexts over time, and may even make it a promising model for evaluating the climate-change vulnerability of other social phenomena in human settlements.

This index specifies and breaks down the areas of weakness and opportunity within each human-settlement system that requires further attention to reduce water access vulnerability. Using this aspect will help in designing effective climate change vulnerability programs. The WAVI also uses existing secondary-data sources developed by trustworthy institutions —in this case at federal level. Other authors may disregard these sources (Hahn, Riederer et al. 2009), but in developing the WAVI they were not eliminated *a priori* since the problem is not the data source *per se* but incorrect selection of sources and/or variables, deficient theoretical justification, and inadequate statistical proofing. Using secondary data sources also reduces the cost and time needed to generate vulnerability evaluations, a key advantage when generating a critical mass of climate-change vulnerability research in developing countries such as Mexico.

One limiting factor encountered during WAVI development was the difficulty in including some phenomena relevant to water-access vulnerability in the index. This was a challenge for a number of reasons, including data availability; for instance, factors considered initially such as natural water source quality were eliminated from the MMA analysis for lack of sufficient data. As a way of compensating for this limiting factor and allowing for future inclusion of other relevant factors in human settlement systems yet to be studied, the WAVI can incorporate new factors without affecting its scientific rigor. One aspect to consider, however, is that the presence of differences between contributing factors used to evaluate more than one human-settlement system may create difficulty in results comparison. This challenge can be overcome through expert opinion.

A limiting factor intrinsic to the WAVI model used to study the MMA is that its sub-components (i.e. rainfall variation and saltwater intrusion) were normalized via maximum and minimum values applicable only in the study area. As stated by Hahn and Vincent, this presents a challenge to comparing the present results with those from other human settlement systems, even if exactly the same sub-components were used (Vincent 2007; Hahn, Riederer et al. 2009). Another potentially limiting factor mentioned by these authors is that the sub-components were averaged within the principal components, therefore ignoring variance in these phenomena inside the MMA. To counterbalance this effect, we field-checked data and generated tables and thematic maps to observe some aspects of this variability (Section 4.2).

Finally, as a compound index the WAVI could be qualified as an over-simplification of the studied phenomenon (Vincent 2007). Despite this possibility, we believe that the WAVI is the most adequate possible model for evaluating the water access phenomenon in the study area (Sections 2.2, and 3.1 to 3.3). Indeed, the idea behind building an index is precisely the use of a numerical value to express the complexity of a phenomenon which would be difficult or impossible to directly observe and/or measure.

6. Conclusions

WAVI was influenced by the IPCC vulnerability approach to climate change (James, Osvaldo et al. 2001), the urban-regional scale adopted from the outset and our conception of the studied socio-ecological system's structure and functioning (Turner II, Kasperson et al. 2003; Downing and Pat-

wardhan 2005). MMA is a complex socio-ecological system in which climate change impacts, and the consequent associated vulnerabilities, operate in specific ways that can be differentiated from those in other systems, be it for their physico-environmental and/or socio-spatial characteristics. This clearly highlights the need for climate-change researchers to understand how the environmental processes involved in this phenomenon operate differentially depending on context and scale (Kasperson, Kasperson et al. 2001; Turner II, Kasperson et al. 2003; Hahn, Riederer et al. 2009).

Water access has been widely studied as a social phenomenon, but climate-change impacts create the need to develop new approaches. We are conscious of some of the model's limitations and the need to continue developing it in the future, but we believe it to be a promising proposal for quantitatively addressing this phenomenon at the complete human-settlement system scale, one that is rarely used in climate-change vulnerability research.

Water-access vulnerability within MMA is more intense on the coast and in the peri-urban subzone than inside the conurban sub-zone. However, the contributing factors vary throughout the study area. Using the components of the climate-change vulnerability definition, it can be said that the coastal population are more vulnerable due to climate-change exposure, while the peri-urban population are vulnerable due to their limited adaptive capacity and sensitivity. Over time, the dynamism of these factors (Turner II, Kasperson et al. 2003), will probably increase vulnerability levels and/or the impacts from social contributing factors will become more generalized. These factors will include those used now in the WAVI as well as others.

Concrete actions aimed at reducing the current status of water-access vulnerability in the human settlements of the MMA did not form part of the present study objectives, but the results reported here can help to generate actions towards this goal.

Acknowledgements: The authors thank Dr. Romeo De Coss Gómez of Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, Unidad Mérida for assistance in building the mathematical index; Dr. Julia Pacheco Ávila, Dr. Roger Orellana Lanza and Celene Espadas Manrique for sharing their knowledge on the physico-environmental dimension of water; and José Luis Acosta Rodríguez (Consejo Nacional de Agua —CONAGUA—, Yucatan Peninsula Basin) for providing meteorological data. They also thank María José Escalante Garma, Mariel Estefanía Franco Peraza and Rafael Eduardo Montejo Rubio for assistance with processing raw data and cartographic information. This research was conducted as part of a post-doctoral internship by MDA at the Human Ecology Department, of Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, Unidad Mérida, and was financed by the Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (CONACYT).

References

Adger, N., S. Agrawala et al. (2007). "Assessment of adaptation practices, options, contraints and capacity". *Climate change 2007–Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of working group II to the fourth assessment report of the IPCC*. Cambridge, New York, Melbourne, Madrid, Cape Town, Singapore, São Paolo, Delhi, Cambridge University Press: 717-743.

Bates, B., Z. Kundzewicz et al., Eds. (2008). "Climate change and water. Technical paper of the Intergovernamental Panel on Climate Change". Geneva, IPCC Secretariat.

Carter, T. R., R. N. Jones et al. (2007). "New assessment methods and the characterisation of future conditions". *Climate change 2007–Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of working group II to the fourth assessment report of the IPCC*. Cambridge, New York, Melbourne, Madrid, Cape Town, Singapore, São Paolo, Delhi, Cambridge University Press: 133-171.

Cutter, S. (1996). "Vulnerability to environmental hazards." *Pro in Hum Geogr* 20(4): 529-539.

Cutter, S. (2001). "American hazardscapes. The regionalization of hazards and disasters". Washington, DC, Joseph Henry Press.

Domínguez, M. (2008). "El acceso al agua en el México urbano de principios del siglo XXI. Un enfoque socio-ambiental aplicado en la Zona Conurbada de Mérida". *Facultad de Filosofía y Letras/Instituto de Geografía*. México DF, Universidad Nacional Autónoma de México. Doctorado en Geografía: 82.

Domínguez, M. (2009). "Atlas para el desarrollo de las regiones del estado de Yucatán, 2009". Mérida, Yucatán, Secretaría de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente. Gobierno del Estado de Yucatán.

Downing, T. E. and A. Patwardhan (2005). "Assessing vulnerability for climate change adaptation. Adaptation policy frameworks for climate change: Developing strategies, policies and measures". B. Lim, E. Spanger-Siegfried, I. Burton, M. Malone and S. Huq. Cambridge and New York, Cambridge University Press: 67-90.

Ebert, A., N. Kerle et al. (2009). "Urban social vulnerability assessment with physical proxies and spatial metrics from air- and spaceborme and GIS data." *Nat Hazards* 48(2): 275-294.

Escolero, O. (2002). "Development of a protectio strategy of karst limestone aquifers: The Merida, Yucatan, Mexico case study." *Water Resources Management* 16: 351-367.

Escolero, O., L. Marín et al. (2000). "Delimitation of a hydrogeological reserve for a city within a karstic aquifer: the Merida, Yucatan example." *Landsc and Urban Plan* 51: 53-62.

Fields, S. (2005). "Why Africa's climate change burden is greater." *Environ Health Perspect* 113: A534-A537.

FIPU (1996). "Urban poverty: A world challenge. The Recife declaration. Paris", Foro Internacional de Pobreza Urbana.

García, E., J. L. López et al. (2000). "Climas de la Península de Yucatán". *Atlas de procesos territoriales de Yucatán*. Mérida, Universidad Autónoma de Yucatán.

González-Herrera, R. and J. Pérez (1999). "Condiciones hidráulicas de la zona costera Santa Clara-Chuburná, Yucatán, México." *Ingeniería Hidráulica en México* XIV(1): 51-59.

Graniel, C. et al. (1998). "Effects of urbanization on groundwater resources of Merida, Yucatan, Mexico." *Environ Geol* 37: 303-312.

Hahn, M., A. Riederer et al. (2009). "The Livelihood Vulnerability Index. A pragmatic approach to assessing risk from climate variability and change-A case study in Mozambique." *Glob Environ Chang* 19(1): 74-88.

INEGI (2005). "II Conteo de Población y Vivienda 2005". México, Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

IPCC (2007). "Cambio climático 2007: Informe síntesis. Contribución de los grupos de trabajo I, II y III al cuarto informe de evaluación del grupo intergubernamental de expertos sobre cambio climático". Ginebra, Suiza.

James, M., C. Osvaldo et al., Eds. (2001). "Climate change 2001: Impacts, adaptation, and vulnerability. Contribution of working group II to the third assessment report of the Intergovernamental Panel on Climate Change". Cambridge, UK, Cambridge University Press.

Jenks, G. (1967). "The data model concept in statistical mapping." *International Yearbook of Cartography* 7: 186-190.

Kasperson, J., R. Kasperson et al. (2001). "Introduction: Global environmental risk and society". *Global environmental risk*. J. Kasperson and R. Kasperson. New York, United Nations University Press: 1-48.

Marín, L. and E. Perry (1994). "The hydrogeology and contamination potential of northwestern Yucatan, Mexico." *Geofísica Internacional* 33(4): 619-623.

McMaster, R. (1997). "In memoriam: George F. Jenks (1916-1996)." *Cartogr and Geogr Inf Sci* 24(1): 56-59.

O'Brien, K., U. Leichenko et al. (2004). "Mapping vulnerability to multiple stressors: Climate change and globalization in India." *Glob Environ Chang* 14: 303-313.

OMY (2011). "Informe. Primera encuesta metropolitana 2010". Mérida, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN Unidad Mérida: 58.

Orellana, R., C. Espadas et al. (2009). "Atlas. Escenarios de cambio climático en la Península de Yucatán". Centro de Investigación Científica de Yucatán, AC.

Parkin, A. (1982). "Centralization, bureaucracy, and urban studies. A comparative perspective". *The politics of urban public services*. R. Rich. Lexington, Masachusets, Lexington Books DC. Heath and Company: 221-237.

Rich, R. (1982). "The political economy of urban services distribution". *The politics of urban public services*. R. Rich. Lexington, Masachusetts, Lexington Books DC. Heath and Company: 1-15.

Sanchez, R. (2007). "Urbanización, cambios globales en el ambiente y desarrollo sustentable en América Latina". *Urbanización, cambios globales en el ambiente y desarrollo sustentable en América Latina*. R. S. R. y. A. Bonilla. San José dos Campo, Brasil, IAI: 8-31.

Schäfer, D., R. Werchota et al. (2007). "MDG monitoring for urban water supply and sanitation: Catching up with reality in sub-Sahara Africa". Eschborn, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH.

Schmidtlein, M. C., R. C. Deutsch et al. (2008). "A sensitivity analysis of social vulnerability index". *Risk Analysis* 28(4): 1099-1114.

SEDESOL, CONAPO et al. (2004). "Delimitación de las zonas metropolitanas de México". México, Secretaría de Desarrollo Social, Consejo Nacional de Población e Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

Strzepek, K., M. Campos et al. (1998). "Chapter 6. Water resources". *Handbook on methods for climate change impact assessment and adaptation strategies*, United Nations Environment Programme and vrije Universitiet Amsterdam: 141-177.

Sullivan, C., J. Meigh et al. (2003). "The water poverty index: Development and application at the community scale". *Natural Resour Forum* 27: 189-199.

Turner II, B., R. Kasperson et al. (2003). "A framework for vulnerability analysis in sustainability science." *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America* 100(14): 8074-8079.

UN-HABITAT (2006a). "The state of the world's cities report 2006/2007. 30 years of shaping the Habitat Agenda", United Nations Human Settlements Programme.

UN-HABITAT (2006b). "Meeting development goals in small urban centers. Water and sanitation in the world's cities 2006". London, Earthscan.

UNDP (2007). "Technical note 1. Human development report 2007/2008. Fighting climate change: Human solidarity in a divided world".

Vincent, K. (2007). "Uncertainty in adaptive capacity and the importance of scale". *Glob Environ Chang* 17: 12-24.

Appendix A

Continues

Indexed sub-component, principal component and WAVI values for units of analysis in Merida Metropolitan Area

Units of Analysis	$indexR_V$	$index_{SI}$	$index_{WD}$	$index_{UP}$	EXP	SEN	ADC	WAVI	Vulnerability level	At Risk Population (2005)	Growth rate 2000-2005
Chicxulub, Progreso (AGEB 039-5)	1.00	0.67	1.00	0.80	0.83	1.00	0.80	0.867	High	20	No data
Chicxulub, Progreso (AGEB 040-8)	1.00	0.67	0.50	0.38	0.83	0.50	0.38	0.635	High	52	No data
Chicxulub, Progreso (AGEB 041-2)	1.00	0.67	0.50	0.33	0.83	0.50	0.33	0.625	High	21	No data
Chelem, Progreso (AGEB 017-9)	1.00	0.67	0.50	0.25	0.83	0.50	0.25	0.604	High	20	No data
Chicxulub, Progreso (AGEB 042-7)	1.00	0.67	0.60	0.00	0.83	0.60	0.00	0.567	High	26	No data
Chicxulub, Progreso (AGEB 026-8)	1.00	0.67	0.36	0.20	0.83	0.36	0.20	0.557	High	106	No data
Chelem, Progreso (AGEB 021-5)	1.00	0.67	0.08	0.46	0.83	0.08	0.46	0.551	High	44	No data
Chicxulub, Progreso (AGEB 043-1)	1.00	0.67	0.41	0.10	0.83	0.41	0.10	0.546	High	100	No data
Chelem, Progreso (AGEB 016-4)	1.00	0.67	0.17	0.33	0.83	0.17	0.33	0.542	High	21	No data
Mérida, Mérida (AGEB 476-3)	0.14	0.00	1.00	1.00	0.07	1.00	1.00	0.534	High	6	No data
Chelem, Progreso (AGEB 018-3)	1.00	0.67	0.00	0.43	0.83	0.00	0.43	0.524	High	32	No data
Chelem, Progreso (AGEB 070-9)	1.00	0.67	0.08	0.28	0.83	0.08	0.28	0.506	High	354	No data
Progreso, Progreso (AGEB 079-A)	1.00	0.00	0.00	1.00	0.50	0.00	1.00	0.500	High	9	No data
Chicxulub, Progreso (AGEB 038-0)	1.00	0.67	0.13	0.20	0.83	0.13	0.20	0.500	High	54	No data
Chelem, Progreso (AGEB 054-A)	1.00	0.67	0.06	0.25	0.83	0.06	0.25	0.496	High	630	No data
Chicxulub, Progreso (AGEB 025-3)	1.00	0.67	0.11	0.18	0.83	0.11	0.18	0.491	High	1 248	No data
Chicxulub, Progreso (AGEB 065-8)	1.00	0.67	0.13	0.16	0.83	0.13	0.16	0.489	High	173	No data
Chicxulub, Progreso (AGEB 066-2)	1.00	0.67	0.04	0.15	0.83	0.04	0.15	0.464	High	587	No data
Chicxulub, Progreso (AGEB 056-9)	1.00	0.67	0.05	0.13	0.83	0.05	0.13	0.461	High	1 248	No data
Chicxulub, Progreso (AGEB 086-A)	1.00	0.67	0.00	0.17	0.83	0.00	0.17	0.458	High	61	No data
Chelem, Progreso (AGEB 069-6)	1.00	0.67	0.05	0.11	0.83	0.05	0.11	0.456	High	706	No data
Chelem, Progreso (AGEB 055-4)	1.00	0.67	0.03	0.11	0.83	0.03	0.11	0.452	High	1 184	No data
Kanasín, Kanasín (AGEB 042-2)	0.14	0.00	1.00	0.67	0.07	1.00	0.67	0.451	High	11	No data
Kanasín, Kanasín (AGEB 044-1)	0.14	0.00	0.67	1.00	0.07	0.67	1.00	0.451	High	10	No data
Chicxulub, Progreso (AGEB 057-3)	1.00	0.67	0.04	0.08	0.83	0.04	0.08	0.447	High	1 356	No data
Chelem, Progreso (AGEB 022-A)	1.00	0.67	0.00	0.00	0.83	0.00	0.00	0.417	High	13	No data
Chelem, Progreso (AGEB 084-0)	1.00	0.67	0.00	0.00	0.83	0.00	0.00	0.417	High	13	No data
Kanasín, Kanasín (AGEB 030-A)	0.14	0.00	1.00	0.50	0.07	1.00	0.50	0.409	High	24	No data
Kanasín, Kanasín (AGEB 045-6)	0.14	0.00	0.96	0.50	0.07	0.96	0.50	0.399	High	101	No data
Mérida, Mérida (AGEB 487-1)	0.14	0.00	0.96	0.41	0.07	0.96	0.41	0.377	High	177	No data
Mérida, Mérida (AGEB 475-9)	0.14	0.00	0.88	0.44	0.07	0.88	0.44	0.364	High	103	No data
Progreso, Progreso (AGEB 061-A)	1.00	0.00	0.02	0.43	0.50	0.02	0.43	0.362	High	559	No data
Chuburná, Progreso (AGEB 091-0)	1.00	0.00	0.00	0.44	0.50	0.00	0.44	0.361	High	26	No data
El Paraíso, Progreso	0.00	0.67	0.51	0.25	0.33	0.51	0.25	0.355	Intermediate	285	1.16

Appendix A

Continues

Indexed sub-component, principal component and WAVI values for units of analysis in Merida Metropolitan Area

Units of Analysis	$indexR_V$	$index_{SI}$	$index_{WD}$	$index_{UP}$	EXP	SEN	ADC	WAVI	Vulnerability level	At Risk Population (2005)	Growth rate 2000-2005
Kanasín, Kanasín (AGEB 033-3)	0.14	0.00	0.95	0.29	0.07	0.95	0.29	0.344	Intermediate	81	No data
Kanasín, Kanasín (AGEB 041-8)	0.14	0.00	0.60	0.60	0.07	0.60	0.60	0.334	Intermediate	29	No data
Mérida, Mérida (AGEB 447-7)	0.14	0.00	1.00	0.14	0.07	1.00	0.14	0.320	Intermediate	94	No data
Mérida, Mérida (AGEB 498-A)	0.14	0.00	1.00	0.13	0.07	1.00	0.13	0.316	Intermediate	49	No data
Chuburná, Progreso (AGEB 090-6)	1.00	0.00	0.07	0.19	0.50	0.07	0.19	0.314	Intermediate	635	No data
Progreso, Progreso (AGEB 027-2)	1.00	0.00	0.25	0.00	0.50	0.25	0.00	0.313	Intermediate	27	No data
Progreso, Progreso (AGEB 087-4)	1.00	0.00	0.07	0.15	0.50	0.07	0.15	0.307	Intermediate	499	No data
Mérida, Mérida (AGEB 345-A)	0.14	0.00	0.89	0.17	0.07	0.89	0.17	0.300	Intermediate	196	No data
Chuburná, Progreso (AGEB 089-3)	1.00	0.00	0.01	0.17	0.50	0.01	0.17	0.295	Intermediate	1 041	No data
Progreso, Progreso (AGEB 053-5)	1.00	0.00	0.04	0.13	0.50	0.04	0.13	0.294	Intermediate	3 212	No data
Mérida, Mérida (AGEB 387-3)	0.14	0.00	0.71	0.32	0.07	0.71	0.32	0.292	Intermediate	230	No data
Progreso, Progreso (AGEB 073-2)	1.00	0.00	0.01	0.15	0.50	0.01	0.15	0.289	Intermediate	1 030	No data
Noc Ac, Mérida	0.43	0.33	0.15	0.24	0.38	0.15	0.24	0.289	Intermediate	437	2.20
Progreso, Progreso (AGEB 063-9)	1.00	0.00	0.03	0.12	0.50	0.03	0.12	0.289	Intermediate	1 109	No data
Mérida, Mérida (AGEB 492-2)	0.14	0.00	1.00	0.00	0.07	1.00	0.00	0.284	Intermediate	6	No data
Mérida, Mérida (AGEB 497-5)	0.14	0.00	0.89	0.11	0.07	0.89	0.11	0.284	Intermediate	62	No data
Progreso, Progreso (AGEB 076-6)	1.00	0.00	0.03	0.11	0.50	0.03	0.11	0.283	Intermediate	1 586	No data
Progreso, Progreso (AGEB 051-6)	1.00	0.00	0.03	0.09	0.50	0.03	0.09	0.281	Intermediate	3 957	No data
Progreso, Progreso (AGEB 044-6)	1.00	0.00	0.04	0.09	0.50	0.04	0.09	0.281	Intermediate	3 244	No data
Progreso, Progreso (AGEB 075-1)	1.00	0.00	0.02	0.10	0.50	0.02	0.10	0.281	Intermediate	1 409	No data
San Ignacio Tesip, Mérida	0.46	0.00	0.34	0.31	0.23	0.34	0.31	0.280	Intermediate	329	2.56
Progreso, Progreso (AGEB 049-9)	1.00	0.00	0.02	0.09	0.50	0.02	0.09	0.278	Intermediate	2 649	No data
Progreso, Progreso (AGEB 071-3)	1.00	0.00	0.00	0.11	0.50	0.00	0.11	0.277	Intermediate	523	No data
Progreso, Progreso (AGEB 077-0)	1.00	0.00	0.02	0.09	0.50	0.02	0.09	0.277	Intermediate	691	No data
Progreso, Progreso (AGEB 074-7)	1.00	0.00	0.01	0.09	0.50	0.01	0.09	0.276	Intermediate	1 146	No data
Progreso, Progreso (AGEB 072-8)	1.00	0.00	0.02	0.07	0.50	0.02	0.07	0.273	Intermediate	1 123	No data
Progreso, Progreso (AGEB 064-3)	1.00	0.00	0.02	0.07	0.50	0.02	0.07	0.273	Intermediate	933	No data
Progreso, Progreso (AGEB 045-0)	1.00	0.00	0.02	0.07	0.50	0.02	0.07	0.272	Intermediate	3 533	No data
Progreso, Progreso (AGEB 052-0)	1.00	0.00	0.01	0.08	0.50	0.01	0.08	0.271	Intermediate	687	No data
Campestre Flamboyanes, Progreso	0.00	1.00	0.03	0.02	0.50	0.03	0.02	0.264	Intermediate	3 022	-1.92
Kikteil, Mérida	0.38	0.33	0.07	0.26	0.36	0.07	0.26	0.262	Intermediate	216	0.66
Progreso, Progreso (AGEB 046-5)	1.00	0.00	0.01	0.04	0.50	0.01	0.04	0.262	Intermediate	731	No data
Progreso, Progreso (AGEB 047-A)	1.00	0.00	0.01	0.04	0.50	0.01	0.04	0.261	Intermediate	3 538	No data
Progreso, Progreso (AGEB 050-1)	1.00	0.00	0.01	0.02	0.50	0.01	0.02	0.258	Intermediate	2 166	No data
Progreso, Progreso (AGEB 060-5)	1.00	0.00	0.00	0.03	0.50	0.00	0.03	0.257	Intermediate	520	No data
Progreso, Progreso (AGEB 048-4)	1.00	0.00	0.01	0.02	0.50	0.01	0.02	0.256	Intermediate	638	No data
Mérida, Mérida (AGEB 428-4)	0.14	0.00	0.79	0.09	0.07	0.79	0.09	0.254	Intermediate	135	No data
Mérida, Mérida (AGEB 493-7)	0.14	0.00	0.63	0.25	0.07	0.63	0.25	0.253	Intermediate	28	No data
Mérida, Mérida (AGEB 360-4)	0.14	0.00	0.56	0.30	0.07	0.56	0.30	0.250	Intermediate	425	No data
Mérida, Mérida (AGEB 458-5)	0.14	0.00	0.86	0.00	0.07	0.86	0.00	0.249	Intermediate	80	No data
Mérida, Mérida (AGEB 480-A)	0.14	0.00	0.57	0.29	0.07	0.57	0.29	0.249	Intermediate	21	No data
Mérida, Mérida (AGEB 427-A)	0.14	0.00	0.67	0.17	0.07	0.67	0.17	0.243	Intermediate	117	No data

Appendix A

Continues

Indexed sub-component, principal component and WAVI values for units of analysis in Merida Metropolitan Area

Units of Analysis	$indexR_V$	$index_{SI}$	$index_{WD}$	$index_{UP}$	EXP	SEN	ADC	WAVI	Vulnerability level	At Risk Population (2005)	Growth rate 2000-2005
Dzidzilché, Mérida	0.00	0.67	0.11	0.19	0.33	0.11	0.19	0.241	Intermediate	153	-8.91
Mérida, Mérida (AGEB 349-8)	0.14	0.00	0.58	0.24	0.07	0.58	0.24	0.241	Intermediate	1.050	No data
Hotzuc, Umán	0.46	0.00	0.08	0.42	0.23	0.08	0.42	0.241	Intermediate	265	-1.65
San Antonio Hool, Mérida	0.43	0.00	0.07	0.47	0.21	0.07	0.47	0.240	Intermediate	135	4.76
Mérida, Mérida (AGEB 348-3)	0.14	0.00	0.44	0.36	0.07	0.44	0.36	0.235	Intermediate	523	No data
Umán, Umán (AGEB 032-9)	0.14	0.00	0.40	0.40	0.07	0.40	0.40	0.234	Intermediate	27	No data
San Ignacio, Progreso	0.00	0.67	0.19	0.08	0.33	0.19	0.08	0.234	Intermediate	767	1.13
Kanasín, Kanasín (AGEB 021-0)	0.14	0.00	0.58	0.20	0.07	0.58	0.20	0.228	Intermediate	814	No data
Umán, Umán (AGEB 038-6)	0.14	0.00	0.18	0.59	0.07	0.18	0.59	0.226	Intermediate	68	No data
Mérida, Mérida (AGEB 496-0)	0.14	0.00	0.75	0.00	0.07	0.75	0.00	0.222	Intermediate	28	No data
Sierra Papacal, Mérida	0.38	0.33	0.04	0.13	0.36	0.04	0.13	0.221	Intermediate	986	0.49
San Pedro Chimay, Mérida	0.46	0.00	0.10	0.32	0.23	0.10	0.32	0.220	Intermediate	1 012	1.70
Yaxnic, Mérida	0.46	0.00	0.09	0.31	0.23	0.09	0.31	0.216	Intermediate	703	1.46
Hunxectamán, Mérida	0.46	0.00	0.10	0.30	0.23	0.10	0.30	0.216	Intermediate	104	-6.17
Cheumán, Mérida	0.43	0.00	0.28	0.13	0.21	0.28	0.13	0.207	Intermediate	197	1.05
San José Tzal, Mérida	0.46	0.00	0.15	0.21	0.23	0.15	0.21	0.205	Intermediate	3 092	1.64
Kanasín, Kanasín (AGEB 039-0)	0.14	0.00	0.30	0.38	0.07	0.30	0.38	0.203	Intermediate	172	No data
Ucú, Ucú	0.43	0.00	0.23	0.14	0.21	0.23	0.14	0.199	Intermediate	2 360	2.01
Petac, Mérida	0.46	0.00	0.03	0.31	0.23	0.03	0.31	0.199	Intermediate	183	-0.75
Xmatkuil, Mérida	0.46	0.00	0.11	0.22	0.23	0.11	0.22	0.199	Intermediate	357	1.22
Mérida, Mérida (AGEB 350-0)	0.14	0.00	0.22	0.42	0.07	0.22	0.42	0.196	Intermediate	1 342	No data
Caucel, Mérida	0.43	0.00	0.22	0.13	0.21	0.22	0.13	0.193	Intermediate	6 655	2.03
Tamanché, Mérida	0.23	0.33	0.13	0.08	0.28	0.13	0.08	0.192	Intermediate	555	3.29
Kanasín, Kanasín (AGEB 040-3)	0.14	0.00	0.38	0.25	0.07	0.38	0.25	0.191	Intermediate	141	No data
Mérida, Mérida (AGEB 359-1)	0.14	0.00	0.56	0.06	0.07	0.56	0.06	0.191	Intermediate	77	No data
San Antonio Tzacalá, Mérida	0.46	0.00	0.01	0.29	0.23	0.01	0.29	0.190	Intermediate	618	-0.19
Tahdzibichén, Mérida	0.46	0.00	0.06	0.23	0.23	0.06	0.23	0.189	Intermediate	678	2.14
Suytunchén, Mérida	0.38	0.33	0.00	0.04	0.36	0.00	0.04	0.188	Intermediate	92	-3.16
Yaxcopoil, Umán	0.46	0.00	0.07	0.21	0.23	0.07	0.21	0.188	Intermediate	1 102	1.28
Mérida, Mérida (AGEB 459-A)	0.14	0.00	0.57	0.04	0.07	0.57	0.04	0.187	Intermediate	695	No data
Molas, Mérida	0.46	0.00	0.08	0.20	0.23	0.08	0.20	0.186	Intermediate	1 859	0.91
Dzibilchaltún, Mérida	0.26	0.33	0.11	0.03	0.29	0.11	0.03	0.182	Intermediate	156	-0.25
Poxilá, Umán	0.14	0.00	0.19	0.38	0.07	0.19	0.38	0.179	Intermediate	801	1.76
Mérida, Mérida (AGEB 155-7)	0.14	0.00	0.52	0.05	0.07	0.52	0.05	0.176	Intermediate	512	No data
Tixcuytún, Mérida	0.43	0.00	0.13	0.14	0.21	0.13	0.14	0.175	Intermediate	348	1.19
Dzibikak, Umán	0.14	0.00	0.11	0.45	0.07	0.11	0.45	0.175	Intermediate	1 238	2.98
Conkal, Conkal	0.43	0.00	0.17	0.09	0.21	0.17	0.09	0.171	Intermediate	6 620	1.92
Texán Cámara, Mérida	0.46	0.00	0.02	0.20	0.23	0.02	0.20	0.171	Intermediate	483	2.30
Mérida, Mérida (AGEB 478-2)	0.14	0.00	0.00	0.54	0.07	0.00	0.54	0.170	Intermediate	211	No data
San Antonio Tehuitz, Kanasín	0.46	0.00	0.03	0.18	0.23	0.03	0.18	0.168	Intermediate	732	2.31
Petec Biltún, Umán	0.31	0.00	0.06	0.30	0.15	0.06	0.30	0.167	Intermediate	155	4.23
Kantoyna, Conkal	0.07	0.33	0.04	0.22	0.20	0.04	0.22	0.167	Intermediate	133	-0.30

Appendix A

Continues

Indexed sub-component, principal component and WAVI values for units of analysis in Merida Metropolitan Area

Units of Analysis	$indexR_V$	$index_{SI}$	$index_{WD}$	$index_{UP}$	EXP	SEN	ADC	WAVI	Vulnerability level	At Risk Population (2005)	Growth rate 2000-2005
Dzityá, Mérida	0.43	0.00	0.13	0.11	0.21	0.13	0.11	0.167	Intermediate	1 496	3.86
Dzoyaxché, Mérida	0.14	0.00	0.13	0.40	0.07	0.13	0.40	0.167	Intermediate	412	2.40
Komchén, Mérida	0.07	0.33	0.11	0.13	0.20	0.11	0.13	0.162	Intermediate	3 778	1.35
Taníl, Umán	0.14	0.00	0.13	0.37	0.07	0.13	0.37	0.161	Intermediate	427	1.11
Mérida, Mérida (AGEB 471-0)	0.14	0.00	0.11	0.39	0.07	0.11	0.39	0.159	Intermediate	367	No data
Umán, Umán (AGEB 030-A)	0.14	0.00	0.50	0.00	0.07	0.50	0.00	0.159	Intermediate	59	No data
Xcunyá, Mérida	0.07	0.33	0.11	0.12	0.20	0.11	0.12	0.159	Intermediate	837	2.08
Umán, Umán (AGEB 019-3)	0.14	0.00	0.33	0.16	0.07	0.33	0.16	0.157	Intermediate	2 480	No data
Mérida, Mérida (AGEB 362-3)	0.14	0.00	0.20	0.29	0.07	0.20	0.29	0.156	Intermediate	1 612	No data
Mérida, Mérida (AGEB 363-8)	0.14	0.00	0.15	0.33	0.07	0.15	0.33	0.155	Intermediate	2 735	No data
La Ceiba, Mérida	0.26	0.33	0.03	0.00	0.29	0.03	0.00	0.154	Intermediate	1 023	3.53
Mérida, Mérida (AGEB 401-5)	0.14	0.00	0.28	0.19	0.07	0.28	0.19	0.154	Intermediate	909	No data
Kanasín, Kanasín (AGEB 046-0)	0.14	0.00	0.23	0.25	0.07	0.23	0.25	0.153	Intermediate	1 002	No data
Bolón, Umán	0.14	0.00	0.11	0.34	0.07	0.11	0.34	0.148	Intermediate	1 271	2.69
Mérida, Mérida (AGEB 435-4)	0.14	0.00	0.17	0.29	0.07	0.17	0.29	0.148	Intermediate	279	No data
Cosgaya, Mérida	0.07	0.33	0.07	0.11	0.20	0.07	0.11	0.146	Intermediate	584	1.50
Sac-Nicté, Mérida	0.07	0.33	0.03	0.14	0.20	0.03	0.14	0.145	Intermediate	278	0.96
Xcucul Sur, Umán	0.14	0.00	0.15	0.29	0.07	0.15	0.29	0.144	Intermediate	401	3.17
Cholul, Mérida	0.28	0.00	0.22	0.07	0.14	0.22	0.07	0.144	Intermediate	5 161	3.06
Temozón Norte, Mérida	0.43	0.00	0.07	0.07	0.21	0.07	0.07	0.144	Intermediate	270	1.55
Yaxché de Peón, Ucú	0.43	0.00	0.07	0.08	0.21	0.07	0.08	0.142	Intermediate	691	-0.90
Mérida, Mérida (AGEB 434-A)	0.14	0.00	0.00	0.43	0.07	0.00	0.43	0.142	Intermediate	41	No data
Mérida, Mérida (AGEB 386-9)	0.14	0.00	0.17	0.25	0.07	0.17	0.25	0.141	Intermediate	410	No data
Mérida, Mérida (AGEB 500-9)	0.14	0.00	0.29	0.14	0.07	0.29	0.14	0.141	Intermediate	592	No data
Xcanatún, Mérida	0.43	0.00	0.06	0.07	0.21	0.06	0.07	0.140	Intermediate	1 350	2.54
Kanasín, Kanasín (AGEB 022-5)	0.14	0.00	0.16	0.26	0.07	0.16	0.26	0.140	Intermediate	1 091	No data
Mérida, Mérida (AGEB 383-5)	0.14	0.00	0.06	0.35	0.07	0.06	0.35	0.139	Intermediate	150	No data
Kanasín, Kanasín (AGEB 034-8)	0.14	0.00	0.19	0.22	0.07	0.19	0.22	0.137	Low	454	No data
Susulá, Mérida	0.14	0.00	0.14	0.26	0.07	0.14	0.26	0.135	Low	447	2.66
Umán, Umán (AGEB 031-4)	0.14	0.00	0.34	0.07	0.07	0.34	0.07	0.135	Low	436	No data
Leona Vicario, Mérida	0.14	0.00	0.22	0.18	0.07	0.22	0.18	0.134	Low	1 822	4.64
Opichén, Mérida	0.14	0.00	0.15	0.25	0.07	0.15	0.25	0.134	Low	327	17.18
Dzununcán, Mérida	0.14	0.00	0.14	0.26	0.07	0.14	0.26	0.134	Low	1 528	2.15
Mérida, Mérida (AGEB 402-A)	0.14	0.00	0.19	0.20	0.07	0.19	0.20	0.132	Low	1 171	No data
Mérida, Mérida (AGEB 308-9)	0.14	0.00	0.21	0.18	0.07	0.21	0.18	0.131	Low	1 432	No data
Santa María Chí, Mérida	0.14	0.00	0.14	0.24	0.07	0.14	0.24	0.129	Low	328	0.81
Teya, Kanasín	0.31	0.00	0.03	0.17	0.15	0.03	0.17	0.129	Low	554	3.39
Kanasín, Kanasín (AGEB 032-9)	0.14	0.00	0.16	0.22	0.07	0.16	0.22	0.128	Low	1 497	No data
Tixcacal, Mérida	0.14	0.00	0.15	0.23	0.07	0.15	0.23	0.128	Low	765	3.19
Santa Cruz Palomeque, Mérida	0.14	0.00	0.20	0.18	0.07	0.20	0.18	0.127	Low	718	4.84
Mérida, Mérida (AGEB 516-A)	0.14	0.00	0.09	0.28	0.07	0.09	0.28	0.126	Low	2 016	No data
Kanasín, Kanasín (AGEB 026-3)	0.14	0.00	0.15	0.21	0.07	0.15	0.21	0.125	Low	1 579	No data

Appendix A

Continues

Indexed sub-component, principal component and WAVI values for units of analysis in Merida Metropolitan Area

Units of Analysis	$indexR_V$	$index_{SI}$	$index_{WD}$	$index_{UP}$	EXP	SEN	ADC	WAVI	Vulnerability level	At Risk Population (2005)	Growth rate 2000-2005
Mérida, Mérida (AGEB 224-A)	0.14	0.00	0.16	0.20	0.07	0.16	0.20	0.124	Low	1 787	No data
San Antonio Chum, Umán	0.14	0.00	0.14	0.22	0.07	0.14	0.22	0.124	Low	866	2.22
Umán, Umán (AGEB 018-9)	0.14	0.00	0.22	0.13	0.07	0.22	0.13	0.123	Low	3 758	No data
Mérida, Mérida (AGEB 429-9)	0.14	0.00	0.15	0.19	0.07	0.15	0.19	0.121	Low	112	No data
Oxcum, Umán	0.14	0.00	0.08	0.27	0.07	0.08	0.27	0.120	Low	1 049	1.12
Kanasín, Kanasín (AGEB 024-4)	0.14	0.00	0.12	0.22	0.07	0.12	0.22	0.118	Low	1 068	No data
Kanasín, Kanasín (AGEB 031-4)	0.14	0.00	0.11	0.22	0.07	0.11	0.22	0.118	Low	1 042	No data
Kanasín, Kanasín (AGEB 047-5)	0.14	0.00	0.14	0.19	0.07	0.14	0.19	0.117	Low	1 424	No data
Oxholón, Umán	0.14	0.00	0.03	0.29	0.07	0.03	0.29	0.114	Low	797	0.77
Mérida, Mérida (AGEB 400-0)	0.14	0.00	0.11	0.20	0.07	0.11	0.20	0.111	Low	2 322	No data
Ticimul, Umán	0.14	0.00	0.05	0.26	0.07	0.05	0.26	0.110	Low	783	3.38
Chalmuch, Mérida	0.14	0.00	0.10	0.20	0.07	0.10	0.20	0.109	Low	454	3.57
Mérida, Mérida (AGEB 366-1)	0.14	0.00	0.21	0.09	0.07	0.21	0.09	0.109	Low	602	No data
Mérida, Mérida (AGEB 361-9)	0.14	0.00	0.07	0.23	0.07	0.07	0.23	0.107	Low	2 415	No data
Mérida, Mérida (AGEB 344-5)	0.14	0.00	0.06	0.23	0.07	0.06	0.23	0.107	Low	864	No data
Mérida, Mérida (AGEB 460-2)	0.14	0.00	0.29	0.00	0.07	0.29	0.00	0.107	Low	362	No data
Mérida, Mérida (AGEB 472-5)	0.14	0.00	0.08	0.21	0.07	0.08	0.21	0.106	Low	2 567	No data
Mérida, Mérida (AGEB 307-4)	0.14	0.00	0.10	0.18	0.07	0.10	0.18	0.105	Low	1 749	No data
Chablekal, Mérida	0.26	0.00	0.11	0.05	0.13	0.11	0.05	0.105	Low	3 165	2.60
Mérida, Mérida (AGEB 504-7)	0.14	0.00	0.09	0.18	0.07	0.09	0.18	0.103	Low	1 157	No data
Xtepén, Umán	0.14	0.00	0.09	0.18	0.07	0.09	0.18	0.102	Low	485	-0.88
Oncán, Mérida	0.14	0.00	0.11	0.16	0.07	0.11	0.16	0.101	Low	606	0.17
Mérida, Mérida (AGEB 311-0)	0.14	0.00	0.06	0.20	0.07	0.06	0.20	0.100	Low	2 588	No data
Kanasín, Kanasín (AGEB 023-A)	0.14	0.00	0.13	0.13	0.07	0.13	0.13	0.099	Low	1 435	No data
Mérida, Mérida (AGEB 329-0)	0.14	0.00	0.10	0.16	0.07	0.10	0.16	0.099	Low	2 645	No data
Mérida, Mérida (AGEB 515-5)	0.14	0.00	0.07	0.19	0.07	0.07	0.19	0.098	Low	2 811	No data
Kanasín, Kanasín (AGEB 025-9)	0.14	0.00	0.09	0.16	0.07	0.09	0.16	0.097	Low	1 249	No data
Mérida, Mérida (AGEB 499-4)	0.14	0.00	0.18	0.07	0.07	0.18	0.07	0.096	Low	643	No data
X-Cuyum, Conkal	0.14	0.00	0.05	0.19	0.07	0.05	0.19	0.094	Low	1 490	2.19
Tebec, Umán	0.14	0.00	0.03	0.20	0.07	0.03	0.20	0.091	Low	459	1.99
Mérida, Mérida (AGEB 396-2)	0.14	0.00	0.13	0.10	0.07	0.13	0.10	0.091	Low	738	No data
Mérida, Mérida (AGEB 312-5)	0.14	0.00	0.07	0.15	0.07	0.07	0.15	0.091	Low	2 405	No data
Kanasín, Kanasín (AGEB 027-8)	0.14	0.00	0.02	0.20	0.07	0.02	0.20	0.090	Low	4 069	No data
Mérida, Mérida (AGEB 358-7)	0.14	0.00	0.00	0.22	0.07	0.00	0.22	0.090	Low	42	No data
Kanasín, Kanasín (AGEB 037-1)	0.14	0.00	0.10	0.11	0.07	0.10	0.11	0.088	Low	1 023	No data
Kanasín, Kanasín (AGEB 007-0)	0.14	0.00	0.08	0.14	0.07	0.08	0.14	0.088	Low	1 974	No data
Kanasín, Kanasín (AGEB 036-7)	0.14	0.00	0.11	0.10	0.07	0.11	0.10	0.087	Low	1 376	No data
Mérida, Mérida (AGEB 324-8)	0.14	0.00	0.09	0.11	0.07	0.09	0.11	0.086	Low	2 489	No data
Mérida, Mérida (AGEB 468-9)	0.14	0.00	0.09	0.12	0.07	0.09	0.12	0.085	Low	2 079	No data
Mérida, Mérida (AGEB 154-2)	0.14	0.00	0.19	0.01	0.07	0.19	0.01	0.085	Low	989	No data
Mérida, Mérida (AGEB 199-A)	0.14	0.00	0.12	0.08	0.07	0.12	0.08	0.085	Low	752	No data
Yaxché Casares, Mérida	0.14	0.00	0.00	0.20	0.07	0.00	0.20	0.084	Low	50	-8.97

Appendix A

Continues

Indexed sub-component, principal component and WAVI values for units of analysis in Merida Metropolitan Area

Units of Analysis	$indexR_V$	$index_{SI}$	$index_{WD}$	$index_{UP}$	EXP	SEN	ADC	WAVI	Vulnerability level	At Risk Population (2005)	Growth rate 2000-2005
Mérida, Mérida (AGEB 151-9)	0.14	0.00	0.12	0.08	0.07	0.12	0.08	0.084	Low	2 255	No data
Mérida, Umán	0.14	0.00	0.12	0.08	0.07	0.12	0.08	0.084	Low	8 865	2.16
Mérida, Mérida (AGEB 157-6)	0.14	0.00	0.18	0.02	0.07	0.18	0.02	0.084	Low	1 190	No data
Hunxectamán, Umán	0.14	0.00	0.05	0.15	0.07	0.05	0.15	0.083	Low	250	-0.08
Mérida, Mérida (AGEB 353-4)	0.14	0.00	0.05	0.14	0.07	0.05	0.14	0.082	Low	1 846	No data
Mérida, Mérida (AGEB 469-3)	0.14	0.00	0.06	0.13	0.07	0.06	0.13	0.082	Low	1 807	No data
Umán, Umán (AGEB 034-8)	0.14	0.00	0.07	0.11	0.07	0.07	0.11	0.081	Low	2 827	No data
Mérida, Mérida (AGEB 334-1)	0.14	0.00	0.07	0.11	0.07	0.07	0.11	0.081	Low	1 081	No data
Mérida, Mérida (AGEB 340-7)	0.14	0.00	0.06	0.13	0.07	0.06	0.13	0.081	Low	1 110	No data
Mérida, Mérida (AGEB 321-4)	0.14	0.00	0.02	0.16	0.07	0.02	0.16	0.080	Low	1 316	No data
Mérida, Mérida (AGEB 275-2)	0.14	0.00	0.04	0.14	0.07	0.04	0.14	0.079	Low	1 824	No data
Mérida, Mérida (AGEB 367-6)	0.14	0.00	0.15	0.02	0.07	0.15	0.02	0.079	Low	534	No data
Mérida, Mérida (AGEB 479-7)	0.14	0.00	0.06	0.12	0.07	0.06	0.12	0.079	Low	71	No data
Mérida, Mérida (AGEB 184-3)	0.14	0.00	0.07	0.11	0.07	0.07	0.11	0.078	Low	5 737	No data
Mérida, Mérida (AGEB 416-1)	0.14	0.00	0.05	0.12	0.07	0.05	0.12	0.077	Low	1 744	No data
Kanasín, Kanasín (AGEB 016-A)	0.14	0.00	0.03	0.14	0.07	0.03	0.14	0.076	Low	6 847	No data
Mérida, Mérida (AGEB 245-1)	0.14	0.00	0.07	0.09	0.07	0.07	0.09	0.075	Low	1 130	No data
Mérida, Mérida (AGEB 298-3)	0.14	0.00	0.07	0.09	0.07	0.07	0.09	0.074	Low	2 485	No data
Mérida, Mérida (AGEB 229-2)	0.14	0.00	0.07	0.09	0.07	0.07	0.09	0.074	Low	1 666	No data
Mérida, Mérida (AGEB 305-5)	0.14	0.00	0.08	0.08	0.07	0.08	0.08	0.073	Low	2 213	No data
Mérida, Mérida (AGEB 512-1)	0.14	0.00	0.06	0.10	0.07	0.06	0.10	0.073	Low	1 977	No data
Mérida, Mérida (AGEB 365-7)	0.14	0.00	0.04	0.11	0.07	0.04	0.11	0.073	Low	842	No data
Mérida, Mérida (AGEB 398-1)	0.14	0.00	0.08	0.07	0.07	0.08	0.07	0.073	Low	1 131	No data
Mérida, Mérida (AGEB 503-2)	0.14	0.00	0.04	0.11	0.07	0.04	0.11	0.072	Low	1 736	No data
Mérida, Mérida (AGEB 320-A)	0.14	0.00	0.06	0.09	0.07	0.06	0.09	0.072	Low	1 322	No data
Mérida, Mérida (AGEB 473-A)	0.14	0.00	0.05	0.10	0.07	0.05	0.10	0.072	Low	1 835	No data
Kanasín, Kanasín (AGEB 028-2)	0.14	0.00	0.01	0.14	0.07	0.01	0.14	0.072	Low	3 292	No data
Sitpach, Mérida	0.14	0.00	0.07	0.08	0.07	0.07	0.08	0.071	Low	1 502	2.60
Mérida, Mérida (AGEB 185-8)	0.14	0.00	0.06	0.08	0.07	0.06	0.08	0.071	Low	3 680	No data
Mérida, Mérida (AGEB 328-6)	0.14	0.00	0.07	0.08	0.07	0.07	0.08	0.070	Low	2 777	No data
Kanasín, Kanasín (AGEB 009-A)	0.14	0.00	0.05	0.10	0.07	0.05	0.10	0.070	Low	3 797	No data
Mérida, Mérida (AGEB 270-A)	0.14	0.00	0.06	0.08	0.07	0.06	0.08	0.070	Low	1 633	No data
Umán, Umán (AGEB 033-3)	0.14	0.00	0.04	0.10	0.07	0.04	0.10	0.069	Low	3 142	No data
Mérida, Mérida (AGEB 276-7)	0.14	0.00	0.02	0.12	0.07	0.02	0.12	0.069	Low	1 899	No data
Umán, Umán (AGEB 020-6)	0.14	0.00	0.05	0.09	0.07	0.05	0.09	0.069	Low	4 638	No data
Mérida, Mérida (AGEB 339-4)	0.14	0.00	0.03	0.10	0.07	0.03	0.10	0.068	Low	1 608	No data
Mérida, Mérida (AGEB 078-A)	0.14	0.00	0.06	0.07	0.07	0.06	0.07	0.067	Low	649	No data
Mérida, Mérida (AGEB 281-8)	0.14	0.00	0.02	0.10	0.07	0.02	0.10	0.066	Low	2 675	No data
Mérida, Mérida (AGEB 369-5)	0.14	0.00	0.03	0.09	0.07	0.03	0.09	0.066	Low	1 095	No data
Mérida, Mérida (AGEB 208-0)	0.14	0.00	0.05	0.08	0.07	0.05	0.08	0.065	Low	1 693	No data
Mérida, Mérida (AGEB 464-0)	0.14	0.00	0.09	0.03	0.07	0.09	0.03	0.065	Low	1 438	No data
Umán, Umán (AGEB 016-A)	0.14	0.00	0.05	0.07	0.07	0.05	0.07	0.065	Low	3 762	No data

Appendix A

Continues

Indexed sub-component, principal component and WAVI values for units of analysis in Merida Metropolitan Area

Units of Analysis	$indexR_V$	$index_{SI}$	$index_{WD}$	$index_{UP}$	EXP	SEN	ADC	WAVI	Vulnerability level	At Risk Population (2005)	Growth rate 2000-2005
Mérida, Mérida (AGEB 250-2)	0.14	0.00	0.12	0.00	0.07	0.12	0.00	0.065	Low	1 306	No data
Mérida, Mérida (AGEB 511-7)	0.14	0.00	0.06	0.06	0.07	0.06	0.06	0.065	Low	1 539	No data
Mérida, Mérida (AGEB 282-2)	0.14	0.00	0.03	0.09	0.07	0.03	0.09	0.064	Low	2 112	No data
Kanasín, Kanasín (AGEB 012-1)	0.14	0.00	0.06	0.06	0.07	0.06	0.06	0.064	Low	3 274	No data
Mérida, Mérida (AGEB 404-9)	0.14	0.00	0.04	0.07	0.07	0.04	0.07	0.062	Low	3 198	No data
Mérida, Mérida (AGEB 182-4)	0.14	0.00	0.04	0.07	0.07	0.04	0.07	0.062	Low	3 530	No data
Mérida, Mérida (AGEB 283-7)	0.14	0.00	0.05	0.06	0.07	0.05	0.06	0.062	Low	1 077	No data
Mérida, Mérida (AGEB 163-1)	0.14	0.00	0.03	0.07	0.07	0.03	0.07	0.061	Low	2 913	No data
Umán, Umán (AGEB 021-0)	0.14	0.00	0.05	0.05	0.07	0.05	0.05	0.061	Low	2 911	No data
Mérida, Mérida (AGEB 323-3)	0.14	0.00	0.03	0.07	0.07	0.03	0.07	0.060	Low	2 368	No data
Mérida, Mérida (AGEB 420-8)	0.14	0.00	0.04	0.06	0.07	0.04	0.06	0.060	Low	3 416	No data
Mérida, Mérida (AGEB 267-8)	0.14	0.00	0.04	0.07	0.07	0.04	0.07	0.060	Low	2 788	No data
Mérida, Mérida (AGEB 246-6)	0.14	0.00	0.03	0.07	0.07	0.03	0.07	0.060	Low	3 137	No data
Mérida, Mérida (AGEB 501-3)	0.14	0.00	0.05	0.05	0.07	0.05	0.05	0.059	Low	1 529	No data
Mérida, Mérida (AGEB 269-7)	0.14	0.00	0.05	0.05	0.07	0.05	0.05	0.059	Low	1 134	No data
Mérida, Mérida (AGEB 448-1)	0.14	0.00	0.05	0.05	0.07	0.05	0.05	0.059	Low	2 671	No data
Mérida, Mérida (AGEB 181-A)	0.14	0.00	0.03	0.06	0.07	0.03	0.06	0.058	Low	2 882	No data
Mérida, Mérida (AGEB 166-5)	0.14	0.00	0.02	0.07	0.07	0.02	0.07	0.058	Low	1 173	No data
Mérida, Mérida (AGEB 284-1)	0.14	0.00	0.03	0.07	0.07	0.03	0.07	0.058	Low	1 614	No data
Kanasín, Kanasín (AGEB 013-6)	0.14	0.00	0.02	0.07	0.07	0.02	0.07	0.057	Low	3 684	No data
Mérida, Mérida (AGEB 268-2)	0.14	0.00	0.03	0.06	0.07	0.03	0.06	0.057	Low	2 182	No data
Mérida, Mérida (AGEB 255-5)	0.14	0.00	0.03	0.06	0.07	0.03	0.06	0.057	Low	2 507	No data
Mérida, Mérida (AGEB 314-4)	0.14	0.00	0.03	0.06	0.07	0.03	0.06	0.056	Low	3 146	No data
Mérida, Mérida (AGEB 220-1)	0.14	0.00	0.05	0.04	0.07	0.05	0.04	0.056	Low	2 047	No data
Mérida, Mérida (AGEB 417-6)	0.14	0.00	0.02	0.06	0.07	0.02	0.06	0.056	Low	1 969	No data
Mérida, Mérida (AGEB 413-8)	0.14	0.00	0.02	0.06	0.07	0.02	0.06	0.056	Low	2 886	No data
Mérida, Mérida (AGEB 288-A)	0.14	0.00	0.02	0.06	0.07	0.02	0.06	0.056	Low	3 141	No data
Mérida, Mérida (AGEB 467-4)	0.14	0.00	0.08	0.00	0.07	0.08	0.00	0.055	Low	48	No data
Mérida, Mérida (AGEB 082-6)	0.14	0.00	0.03	0.05	0.07	0.03	0.05	0.055	Low	4 068	No data
Mérida, Mérida (AGEB 295-A)	0.14	0.00	0.02	0.06	0.07	0.02	0.06	0.055	Low	4 473	No data
Kanasín, Kanasín (AGEB 015-5)	0.14	0.00	0.04	0.04	0.07	0.04	0.04	0.055	Low	1 557	No data
Mérida, Mérida (AGEB 425-0)	0.14	0.00	0.02	0.06	0.07	0.02	0.06	0.055	Low	2 885	No data
Mérida, Mérida (AGEB 296-4)	0.14	0.00	0.02	0.06	0.07	0.02	0.06	0.054	Low	2 021	No data
Mérida, Mérida (AGEB 165-0)	0.14	0.00	0.01	0.07	0.07	0.01	0.07	0.054	Low	1 466	No data
Mérida, Mérida (AGEB 450-9)	0.14	0.00	0.03	0.05	0.07	0.03	0.05	0.054	Low	1 189	No data
Mérida, Mérida (AGEB 263-A)	0.14	0.00	0.03	0.05	0.07	0.03	0.05	0.054	Low	3 548	No data
Kanasín, Kanasín (AGEB 029-7)	0.14	0.00	0.00	0.08	0.07	0.00	0.08	0.054	Low	314	No data
Kanasín, Kanasín (AGEB 043-7)	0.14	0.00	0.06	0.02	0.07	0.06	0.02	0.053	Low	222	No data
Mérida, Mérida (AGEB 059-7)	0.14	0.00	0.02	0.06	0.07	0.02	0.06	0.053	Low	3 027	No data
Kanasín, Kanasín (AGEB 008-5)	0.14	0.00	0.06	0.01	0.07	0.06	0.01	0.053	Low	2 836	No data
Mérida, Mérida (AGEB 394-3)	0.14	0.00	0.00	0.07	0.07	0.00	0.07	0.053	Low	2 753	No data
Mérida, Mérida (AGEB 313-A)	0.14	0.00	0.02	0.05	0.07	0.02	0.05	0.052	Low	2 913	No data

Appendix A

Continues

Indexed sub-component, principal component and WAVI values for units of analysis in Merida Metropolitan Area

Units of Analysis	$indexR_V$	$index_{SI}$	$index_{WD}$	$index_{UP}$	EXP	SEN	ADC	WAVI	Vulnerability level	At Risk Population (2005)	Growth rate 2000-2005
Mérida, Mérida (AGEB 306-A)	0.14	0.00	0.02	0.05	0.07	0.02	0.05	0.052	Low	3 350	No data
Mérida, Mérida (AGEB 039-A)	0.14	0.00	0.03	0.04	0.07	0.03	0.04	0.052	Low	3 381	No data
Mérida, Mérida (AGEB 315-9)	0.14	0.00	0.01	0.06	0.07	0.01	0.06	0.052	Low	3 959	No data
Kanasín, Kanasín (AGEB 018-9)	0.14	0.00	0.02	0.05	0.07	0.02	0.05	0.051	Low	1 427	No data
Mérida, Mérida (AGEB 247-0)	0.14	0.00	0.03	0.04	0.07	0.03	0.04	0.051	Low	1 829	No data
Mérida, Mérida (AGEB 461-7)	0.14	0.00	0.06	0.01	0.07	0.06	0.01	0.051	Low	1 092	No data
Mérida, Mérida (AGEB 006-5)	0.14	0.00	0.02	0.04	0.07	0.02	0.04	0.051	Low	5 771	No data
Mérida, Mérida (AGEB 273-3)	0.14	0.00	0.04	0.03	0.07	0.04	0.03	0.051	Low	2 425	No data
Mérida, Mérida (AGEB 336-0)	0.14	0.00	0.02	0.05	0.07	0.02	0.05	0.051	Low	2 395	No data
Mérida, Mérida (AGEB 285-6)	0.14	0.00	0.01	0.06	0.07	0.01	0.06	0.051	Low	1 261	No data
Mérida, Mérida (AGEB 462-1)	0.14	0.00	0.04	0.02	0.07	0.04	0.02	0.050	Low	1 033	No data
Mérida, Mérida (AGEB 073-7)	0.14	0.00	0.01	0.05	0.07	0.01	0.05	0.050	Low	3 625	No data
Mérida, Mérida (AGEB 335-6)	0.14	0.00	0.04	0.02	0.07	0.04	0.02	0.050	Low	1 927	No data
Mérida, Mérida (AGEB 041-7)	0.14	0.00	0.02	0.04	0.07	0.02	0.04	0.049	Low	3 303	No data
Mérida, Mérida (AGEB 225-4)	0.14	0.00	0.02	0.04	0.07	0.02	0.04	0.049	Low	2 092	No data
Mérida, Mérida (AGEB 421-2)	0.14	0.00	0.02	0.04	0.07	0.02	0.04	0.049	Low	2 653	No data
Mérida, Mérida (AGEB 412-3)	0.14	0.00	0.01	0.05	0.07	0.01	0.05	0.049	Low	2 629	No data
Mérida, Mérida (AGEB 525-9)	0.14	0.00	0.02	0.04	0.07	0.02	0.04	0.049	Low	1 229	No data
Mérida, Mérida (AGEB 533-3)	0.14	0.00	0.04	0.02	0.07	0.04	0.02	0.049	Low	2 578	No data
Mérida, Mérida (AGEB 076-0)	0.14	0.00	0.02	0.03	0.07	0.02	0.03	0.049	Low	3 853	No data
Mérida, Mérida (AGEB 338-A)	0.14	0.00	0.02	0.04	0.07	0.02	0.04	0.049	Low	2 671	No data
Mérida, Mérida (AGEB 456-6)	0.14	0.00	0.04	0.02	0.07	0.04	0.02	0.048	Low	2 361	No data
Mérida, Mérida (AGEB 050-6)	0.14	0.00	0.01	0.05	0.07	0.01	0.05	0.048	Low	1 117	No data
Mérida, Mérida (AGEB 403-4)	0.14	0.00	0.01	0.05	0.07	0.01	0.05	0.048	Low	4 318	No data
Mérida, Mérida (AGEB 466-A)	0.14	0.00	0.03	0.03	0.07	0.03	0.03	0.048	Low	2 758	No data
Mérida, Mérida (AGEB 074-1)	0.14	0.00	0.02	0.04	0.07	0.02	0.04	0.048	Low	3 549	No data
Mérida, Mérida (AGEB 066-7)	0.14	0.00	0.01	0.04	0.07	0.01	0.04	0.048	Low	4 205	No data
Mérida, Mérida (AGEB 297-9)	0.14	0.00	0.01	0.04	0.07	0.01	0.04	0.048	Low	2 753	No data
Mérida, Mérida (AGEB 080-7)	0.14	0.00	0.02	0.04	0.07	0.02	0.04	0.048	Low	4 712	No data
Mérida, Mérida (AGEB 532-9)	0.14	0.00	0.01	0.04	0.07	0.01	0.04	0.048	Low	2 546	No data
Mérida, Mérida (AGEB 040-2)	0.14	0.00	0.02	0.04	0.07	0.02	0.04	0.048	Low	2 571	No data
Mérida, Mérida (AGEB 540-3)	0.14	0.00	0.05	0.00	0.07	0.05	0.00	0.047	Low	821	No data
Mérida, Mérida (AGEB 152-3)	0.14	0.00	0.02	0.03	0.07	0.02	0.03	0.047	Low	1 675	No data
Mérida, Mérida (AGEB 505-1)	0.14	0.00	0.05	0.00	0.07	0.05	0.00	0.047	Low	496	No data
Mérida, Mérida (AGEB 294-5)	0.14	0.00	0.02	0.03	0.07	0.02	0.03	0.047	Low	2 515	No data
Mérida, Mérida (AGEB 071-8)	0.14	0.00	0.01	0.04	0.07	0.01	0.04	0.047	Low	5 166	No data
Mérida, Mérida (AGEB 148-7)	0.14	0.00	0.01	0.04	0.07	0.01	0.04	0.047	Low	2 464	No data
Itzincab, Umán	0.14	0.00	0.02	0.03	0.07	0.02	0.03	0.046	Low	4 744	0.11
Mérida, Mérida (AGEB 483-3)	0.14	0.00	0.03	0.02	0.07	0.03	0.02	0.046	Low	1 404	No data
Mérida, Mérida (AGEB 534-8)	0.14	0.00	0.03	0.02	0.07	0.03	0.02	0.046	Low	2 299	No data
Mérida, Mérida (AGEB 260-6)	0.14	0.00	0.02	0.03	0.07	0.02	0.03	0.045	Low	1 712	No data
Mérida, Mérida (AGEB 177-3)	0.14	0.00	0.01	0.04	0.07	0.01	0.04	0.045	Low	2 931	No data

Appendix A

Continues

Indexed sub-component, principal component and WAVI values for units of analysis in Merida Metropolitan Area

Units of Analysis	$indexR_V$	$index_{SI}$	$index_{WD}$	$index_{UP}$	EXP	SEN	ADC	WAVI	Vulnerability level	At Risk Population (2005)	Growth rate 2000-2005
Mérida, Mérida (AGEB 191-3)	0.14	0.00	0.03	0.01	0.07	0.03	0.01	0.045	Low	2 244	No data
Mérida, Mérida (AGEB 518-9)	0.14	0.00	0.03	0.02	0.07	0.03	0.02	0.045	Low	1 234	No data
Mérida, Mérida (AGEB 060-A)	0.14	0.00	0.01	0.03	0.07	0.01	0.03	0.045	Low	7 201	No data
Mérida, Mérida (AGEB 299-8)	0.14	0.00	0.02	0.03	0.07	0.02	0.03	0.045	Low	2 653	No data
Mérida, Mérida (AGEB 156-1)	0.14	0.00	0.03	0.01	0.07	0.03	0.01	0.045	Low	1 332	No data
Mérida, Mérida (AGEB 286-0)	0.14	0.00	0.01	0.03	0.07	0.01	0.03	0.044	Low	2 239	No data
Mérida, Mérida (AGEB 327-1)	0.14	0.00	0.01	0.03	0.07	0.01	0.03	0.044	Low	2 947	No data
Mérida, Mérida (AGEB 316-3)	0.14	0.00	0.01	0.02	0.07	0.01	0.02	0.044	Low	2 635	No data
Mérida, Mérida (AGEB 271-4)	0.14	0.00	0.02	0.02	0.07	0.02	0.02	0.044	Low	1 780	No data
Mérida, Mérida (AGEB 264-4)	0.14	0.00	0.02	0.02	0.07	0.02	0.02	0.044	Low	2 520	No data
Mérida, Mérida (AGEB 012-0)	0.14	0.00	0.02	0.02	0.07	0.02	0.02	0.044	Low	1 806	No data
Mérida, Mérida (AGEB 266-3)	0.14	0.00	0.01	0.02	0.07	0.01	0.02	0.044	Low	2 882	No data
Mérida, Mérida (AGEB 484-8)	0.14	0.00	0.01	0.02	0.07	0.01	0.02	0.044	Low	1 133	No data
Mérida, Mérida (AGEB 068-6)	0.14	0.00	0.01	0.02	0.07	0.01	0.02	0.044	Low	3 099	No data
Mérida, Mérida (AGEB 489-0)	0.14	0.00	0.00	0.04	0.07	0.00	0.04	0.043	Low	561	No data
Kanasín, Kanasín (AGEB 014-0)	0.14	0.00	0.00	0.03	0.07	0.00	0.03	0.043	Low	1 440	No data
Mérida, Mérida (AGEB 242-8)	0.14	0.00	0.02	0.02	0.07	0.02	0.02	0.043	Low	1 843	No data
Mérida, Mérida (AGEB 300-2)	0.14	0.00	0.01	0.03	0.07	0.01	0.03	0.043	Low	1 536	No data
Mérida, Mérida (AGEB 287-5)	0.14	0.00	0.01	0.03	0.07	0.01	0.03	0.043	Low	2 569	No data
Mérida, Mérida (AGEB 385-4)	0.14	0.00	0.00	0.03	0.07	0.00	0.03	0.043	Low	2 785	No data
Mérida, Mérida (AGEB 048-9)	0.14	0.00	0.01	0.03	0.07	0.01	0.03	0.043	Low	3 464	No data
Mérida, Mérida (AGEB 399-6)	0.14	0.00	0.01	0.02	0.07	0.01	0.02	0.043	Low	1 299	No data
Mérida, Mérida (AGEB 221-6)	0.14	0.00	0.02	0.01	0.07	0.02	0.01	0.043	Low	4 120	No data
Mérida, Mérida (AGEB 075-6)	0.14	0.00	0.01	0.02	0.07	0.01	0.02	0.042	Low	2 755	No data
Mérida, Mérida (AGEB 530-A)	0.14	0.00	0.00	0.03	0.07	0.00	0.03	0.042	Low	2 745	No data
Mérida, Mérida (AGEB 508-5)	0.14	0.00	0.01	0.02	0.07	0.01	0.02	0.042	Low	2 157	No data
Mérida, Mérida (AGEB 067-1)	0.14	0.00	0.01	0.02	0.07	0.01	0.02	0.042	Low	4 447	No data
Mérida, Mérida (AGEB 507-0)	0.14	0.00	0.01	0.02	0.07	0.01	0.02	0.042	Low	2 075	No data
Mérida, Mérida (AGEB 160-8)	0.14	0.00	0.02	0.01	0.07	0.02	0.01	0.042	Low	1 714	No data
Mérida, Mérida (AGEB 134-5)	0.14	0.00	0.01	0.02	0.07	0.01	0.02	0.042	Low	2 518	No data
Mérida, Mérida (AGEB 502-8)	0.14	0.00	0.01	0.02	0.07	0.01	0.02	0.042	Low	2 416	No data
Mérida, Mérida (AGEB 241-3)	0.14	0.00	0.01	0.02	0.07	0.01	0.02	0.042	Low	3 093	No data
Mérida, Mérida (AGEB 303-6)	0.14	0.00	0.02	0.01	0.07	0.02	0.01	0.042	Low	1 182	No data
Mérida, Mérida (AGEB 529-7)	0.14	0.00	0.02	0.01	0.07	0.02	0.01	0.042	Low	1 651	No data
Mérida, Mérida (AGEB 065-2)	0.14	0.00	0.01	0.02	0.07	0.01	0.02	0.042	Low	3 568	No data
Mérida, Mérida (AGEB 042-1)	0.14	0.00	0.01	0.02	0.07	0.01	0.02	0.041	Low	3 375	No data
Mérida, Mérida (AGEB 178-8)	0.14	0.00	0.01	0.02	0.07	0.01	0.02	0.041	Low	2 761	No data
Mérida, Mérida (AGEB 030-9)	0.14	0.00	0.01	0.02	0.07	0.01	0.02	0.041	Low	2 680	No data
Mérida, Mérida (AGEB 063-3)	0.14	0.00	0.01	0.01	0.07	0.01	0.01	0.041	Low	4 766	No data
Mérida, Mérida (AGEB 293-0)	0.14	0.00	0.01	0.02	0.07	0.01	0.02	0.041	Low	2 156	No data
Mérida, Mérida (AGEB 531-4)	0.14	0.00	0.01	0.02	0.07	0.01	0.02	0.041	Low	2 437	No data
Mérida, Mérida (AGEB 291-1)	0.14	0.00	0.01	0.01	0.07	0.01	0.01	0.041	Low	2 810	No data

Continues

Indexed sub-component, principal component and WAVI values for units of analysis in Merida Metropolitan Area

Units of Analysis	$indexR_V$	$index_{SI}$	$index_{WD}$	$index_{UP}$	EXP	SEN	ADC	WAVI	Vulnerability level	At Risk Population (2005)	Growth rate 2000-2005
Mérida, Mérida (AGEB 455-1)	0.14	0.00	0.00	0.03	0.07	0.00	0.03	0.041	Low	1 504	No data
Mérida, Mérida (AGEB 026-2)	0.14	0.00	0.01	0.02	0.07	0.01	0.02	0.041	Low	3 538	No data
Mérida, Mérida (AGEB 526-3)	0.14	0.00	0.01	0.01	0.07	0.01	0.01	0.041	Low	1 686	No data
Mérida, Mérida (AGEB 524-4)	0.14	0.00	0.01	0.02	0.07	0.01	0.02	0.040	Low	1 097	No data
Mérida, Mérida (AGEB 036-6)	0.14	0.00	0.01	0.02	0.07	0.01	0.02	0.040	Low	3 005	No data
Mérida, Mérida (AGEB 521-0)	0.14	0.00	0.01	0.01	0.07	0.01	0.01	0.040	Low	1 104	No data
Mérida, Mérida (AGEB 470-6)	0.14	0.00	0.00	0.02	0.07	0.00	0.02	0.040	Low	2 503	No data
Mérida, Mérida (AGEB 272-9)	0.14	0.00	0.00	0.02	0.07	0.00	0.02	0.040	Low	1 397	No data
Mérida, Mérida (AGEB 426-5)	0.14	0.00	0.02	0.00	0.07	0.02	0.00	0.040	Low	367	No data
Mérida, Mérida (AGEB 289-4)	0.14	0.00	0.01	0.01	0.07	0.01	0.01	0.040	Low	4 544	No data
Mérida, Mérida (AGEB 244-7)	0.14	0.00	0.01	0.01	0.07	0.01	0.01	0.040	Low	2 206	No data
Mérida, Mérida (AGEB 527-8)	0.14	0.00	0.00	0.02	0.07	0.00	0.02	0.039	Low	1 707	No data
Mérida, Mérida (AGEB 254-0)	0.14	0.00	0.02	0.00	0.07	0.02	0.00	0.039	Low	1 640	No data
Mérida, Mérida (AGEB 280-3)	0.14	0.00	0.01	0.01	0.07	0.01	0.01	0.039	Low	2 357	No data
Mérida, Mérida (AGEB 226-9)	0.14	0.00	0.00	0.02	0.07	0.00	0.02	0.039	Low	3 225	No data
Mérida, Mérida (AGEB 062-9)	0.14	0.00	0.01	0.01	0.07	0.01	0.01	0.039	Low	2 760	No data
Mérida, Mérida (AGEB 318-2)	0.14	0.00	0.01	0.01	0.07	0.01	0.01	0.039	Low	2 750	No data
Mérida, Mérida (AGEB 406-8)	0.14	0.00	0.01	0.01	0.07	0.01	0.01	0.039	Low	1 226	No data
Mérida, Mérida (AGEB 031-3)	0.14	0.00	0.01	0.01	0.07	0.01	0.01	0.039	Low	2 893	No data
Mérida, Mérida (AGEB 258-9)	0.14	0.00	0.01	0.00	0.07	0.01	0.00	0.039	Low	1 324	No data
Mérida, Mérida (AGEB 351-5)	0.14	0.00	0.01	0.01	0.07	0.01	0.01	0.039	Low	1 314	No data
Mérida, Mérida (AGEB 061-4)	0.14	0.00	0.01	0.01	0.07	0.01	0.01	0.039	Low	3 749	No data
Mérida, Mérida (AGEB 032-8)	0.14	0.00	0.01	0.01	0.07	0.01	0.01	0.039	Low	1 820	No data
Mérida, Mérida (AGEB 033-2)	0.14	0.00	0.00	0.01	0.07	0.00	0.01	0.039	Low	3 476	No data
Mérida, Mérida (AGEB 522-5)	0.14	0.00	0.01	0.01	0.07	0.01	0.01	0.039	Low	1 592	No data
Mérida, Mérida (AGEB 049-3)	0.14	0.00	0.01	0.01	0.07	0.01	0.01	0.039	Low	3 773	No data
Mérida, Mérida (AGEB 379-9)	0.14	0.00	0.00	0.01	0.07	0.00	0.01	0.038	Low	2 153	No data
Mérida, Mérida (AGEB 064-8)	0.14	0.00	0.01	0.01	0.07	0.01	0.01	0.038	Low	3 443	No data
Mérida, Mérida (AGEB 261-0)	0.14	0.00	0.00	0.01	0.07	0.00	0.01	0.038	Low	2 058	No data
Mérida, Mérida (AGEB 054-4)	0.14	0.00	0.00	0.01	0.07	0.00	0.01	0.038	Low	2 869	No data
Mérida, Mérida (AGEB 304-0)	0.14	0.00	0.01	0.01	0.07	0.01	0.01	0.038	Low	2 275	No data
Mérida, Mérida (AGEB 053-A)	0.14	0.00	0.01	0.01	0.07	0.01	0.01	0.038	Low	4 744	No data
Mérida, Mérida (AGEB 259-3)	0.14	0.00	0.00	0.01	0.07	0.00	0.01	0.038	Low	2 328	No data
Mérida, Mérida (AGEB 034-7)	0.14	0.00	0.00	0.01	0.07	0.00	0.01	0.038	Low	3 514	No data
Mérida, Mérida (AGEB 021-A)	0.14	0.00	0.01	0.01	0.07	0.01	0.01	0.038	Low	1 901	No data
Mérida, Mérida (AGEB 397-7)	0.14	0.00	0.00	0.01	0.07	0.00	0.01	0.038	Low	5 539	No data
Mérida, Mérida (AGEB 410-4)	0.14	0.00	0.00	0.01	0.07	0.00	0.01	0.038	Low	2 151	No data
Mérida, Mérida (AGEB 265-9)	0.14	0.00	0.00	0.01	0.07	0.00	0.01	0.038	Low	3 858	No data
Mérida, Mérida (AGEB 326-7)	0.14	0.00	0.00	0.01	0.07	0.00	0.01	0.038	Low	4 237	No data
Mérida, Mérida (AGEB 052-5)	0.14	0.00	0.00	0.01	0.07	0.00	0.01	0.038	Low	2 088	No data
Mérida, Mérida (AGEB 523-A)	0.14	0.00	0.00	0.01	0.07	0.00	0.01	0.038	Low	1 524	No data
Mérida, Mérida (AGEB 408-7)	0.14	0.00	0.00	0.01	0.07	0.00	0.01	0.038	Low	1 371	No data

Appendix A

Continues

Indexed sub-component, principal component and WAVI values for units of analysis in Merida Metropolitan Area

Units of Analysis	$indexR_V$	$index_{SI}$	$index_{WD}$	$index_{UP}$	EXP	SEN	ADC	WAVI	Vulnerability level	At Risk Population (2005)	Growth rate 2000-2005
Mérida, Mérida (AGEB 274-8)	0.14	0.00	0.01	0.00	0.07	0.01	0.00	0.037	Low	2 181	No data
Mérida, Mérida (AGEB 248-5)	0.14	0.00	0.00	0.01	0.07	0.00	0.01	0.037	Low	1 028	No data
Mérida, Mérida (AGEB 419-5)	0.14	0.00	0.00	0.01	0.07	0.00	0.01	0.037	Low	1 900	No data
Mérida, Mérida (AGEB 150-4)	0.14	0.00	0.01	0.00	0.07	0.01	0.00	0.037	Low	1 673	No data
Mérida, Mérida (AGEB 488-6)	0.14	0.00	0.00	0.01	0.07	0.00	0.01	0.037	Low	1 098	No data
Mérida, Mérida (AGEB 528-2)	0.14	0.00	0.00	0.01	0.07	0.00	0.01	0.037	Low	1 780	No data
Mérida, Mérida (AGEB 169-9)	0.14	0.00	0.01	0.01	0.07	0.01	0.01	0.037	Low	1 669	No data
Mérida, Mérida (AGEB 481-4)	0.14	0.00	0.00	0.01	0.07	0.00	0.01	0.037	Low	2 228	No data
Mérida, Mérida (AGEB 180-5)	0.14	0.00	0.00	0.01	0.07	0.00	0.01	0.037	Low	4 059	No data
Mérida, Mérida (AGEB 145-3)	0.14	0.00	0.01	0.01	0.07	0.01	0.01	0.037	Low	937	No data
Mérida, Mérida (AGEB 051-0)	0.14	0.00	0.00	0.01	0.07	0.00	0.01	0.037	Low	323	No data
Mérida, Mérida (AGEB 411-9)	0.14	0.00	0.00	0.01	0.07	0.00	0.01	0.037	Low	2 230	No data
Mérida, Mérida (AGEB 235-8)	0.14	0.00	0.01	0.00	0.07	0.01	0.00	0.037	Low	408	No data
Mérida, Mérida (AGEB 044-0)	0.14	0.00	0.01	0.00	0.07	0.01	0.00	0.037	Low	1 122	No data
Mérida, Mérida (AGEB 028-1)	0.14	0.00	0.00	0.01	0.07	0.00	0.01	0.037	Low	1 250	No data
Mérida, Mérida (AGEB 393-9)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.037	Low	2 129	No data
Mérida, Mérida (AGEB 409-1)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.037	Low	766	No data
Mérida, Mérida (AGEB 309-3)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.037	Low	3 229	No data
Mérida, Mérida (AGEB 509-A)	0.14	0.00	0.01	0.00	0.07	0.01	0.00	0.036	Low	1 986	No data
Mérida, Mérida (AGEB 514-0)	0.14	0.00	0.00	0.01	0.07	0.00	0.01	0.036	Low	2 985	No data
Mérida, Mérida (AGEB 251-7)	0.14	0.00	0.00	0.01	0.07	0.00	0.01	0.036	Low	1 225	No data
Mérida, Mérida (AGEB 278-6)	0.14	0.00	0.00	0.01	0.07	0.00	0.01	0.036	Low	3 825	No data
Mérida, Mérida (AGEB 452-8)	0.14	0.00	0.01	0.00	0.07	0.01	0.00	0.036	Low	483	No data
Umán, Umán (AGEB 022-5)	0.14	0.00	0.00	0.01	0.07	0.00	0.01	0.036	Low	2 403	No data
Mérida, Mérida (AGEB 454-7)	0.14	0.00	0.01	0.00	0.07	0.01	0.00	0.036	Low	561	No data
Mérida, Mérida (AGEB 238-1)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.036	Low	1 064	No data
Mérida, Mérida (AGEB 506-6)	0.14	0.00	0.00	0.01	0.07	0.00	0.01	0.036	Low	597	No data
Mérida, Mérida (AGEB 257-4)	0.14	0.00	0.01	0.00	0.07	0.01	0.00	0.036	Low	784	No data
Mérida, Mérida (AGEB 354-9)	0.14	0.00	0.00	0.01	0.07	0.00	0.01	0.036	Low	668	No data
Mérida, Mérida (AGEB 449-6)	0.14	0.00	0.01	0.00	0.07	0.01	0.00	0.036	Low	2 971	No data
Mérida, Mérida (AGEB 482-9)	0.14	0.00	0.00	0.01	0.07	0.00	0.01	0.036	Low	2 796	No data
Mérida, Mérida (AGEB 262-5)	0.14	0.00	0.00	0.01	0.07	0.00	0.01	0.036	Low	1 298	No data
Mérida, Mérida (AGEB 407-2)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.036	Low	1 565	No data
Mérida, Mérida (AGEB 290-7)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.036	Low	5 919	No data
Mérida, Mérida (AGEB 378-4)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.036	Low	4 219	No data
Mérida, Mérida (AGEB 375-0)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.036	Low	3 000	No data
Mérida, Mérida (AGEB 380-1)	0.14	0.00	0.00	0.01	0.07	0.00	0.01	0.036	Low	2 916	No data
Mérida, Mérida (AGEB 370-8)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.036	Low	1 432	No data
Mérida, Mérida (AGEB 384-A)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.036	Low	2 856	No data
Mérida, Mérida (AGEB 018-8)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.036	Low	1 940	No data
Mérida, Mérida (AGEB 252-1)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.036	Low	3 244	No data
Mérida, Mérida (AGEB 045-5)	0.14	0.00	0.01	0.00	0.07	0.01	0.00	0.036	Low	704	No data

Appendix A

Continues

Indexed sub-component, principal component and WAVI values for units of analysis in Merida Metropolitan Area

Units of Analysis	$indexR_V$	$index_{SI}$	$index_{WD}$	$index_{UP}$	EXP	SEN	ADC	WAVI	Vulnerability level	At Risk Population (2005)	Growth rate 2000-2005
Mérida, Mérida (AGEB 319-7)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.036	Low	1 429	No data
Umán, Umán (AGEB 023-A)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.036	Low	2 599	No data
Mérida, Mérida (AGEB 463-6)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.036	Low	2 242	No data
Mérida, Mérida (AGEB 486-7)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.036	Low	1 349	No data
Mérida, Mérida (AGEB 330-3)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.036	Low	4 993	No data
Mérida, Mérida (AGEB 146-8)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.036	Low	1 870	No data
Mérida, Mérida (AGEB 239-6)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.036	Low	1 668	No data
Mérida, Mérida (AGEB 377-A)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.036	Low	4 849	No data
Mérida, Mérida (AGEB 317-8)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.035	Low	1 854	No data
Mérida, Mérida (AGEB 292-6)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.035	Low	1 917	No data
Mérida, Mérida (AGEB 056-3)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.035	Low	3 640	No data
Mérida, Mérida (AGEB 043-6)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.035	Low	2 423	No data
Mérida, Mérida (AGEB 124-1)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.035	Low	3 040	No data
Mérida, Mérida (AGEB 395-8)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.035	Low	1 042	No data
Mérida, Mérida (AGEB 389-2)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.035	Low	4 035	No data
Mérida, Mérida (AGEB 510-2)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.035	Low	3 342	No data
Mérida, Mérida (AGEB 232-4)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.035	Low	2 038	No data
Mérida, Mérida (AGEB 122-2)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.035	Low	4 421	No data
Mérida, Mérida (AGEB 227-3)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.035	Low	3 048	No data
Mérida, Mérida (AGEB 390-5)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.035	Low	2 951	No data
Mérida, Mérida (AGEB 343-0)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.035	Low	2 228	No data
Mérida, Mérida (AGEB 231-A)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.035	Low	3 611	No data
Mérida, Mérida (AGEB 357-2)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.035	Low	2 593	No data
Mérida, Mérida (AGEB 029-6)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.035	Low	1 116	No data
Mérida, Mérida (AGEB 121-8)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.035	Low	2 639	No data
Mérida, Mérida (AGEB 431-6)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.035	Low	1 450	No data
Mérida, Mérida (AGEB 422-7)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.035	Low	1 477	No data
Mérida, Mérida (AGEB 371-2)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.035	Low	3 061	No data
Mérida, Mérida (AGEB 233-9)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.035	Low	1 869	No data
Mérida, Mérida (AGEB 277-1)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.035	Low	3 422	No data
Mérida, Mérida (AGEB 414-2)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.035	Low	1 847	No data
Mérida, Mérida (AGEB 341-1)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.035	Low	3 589	No data
Mérida, Mérida (AGEB 415-7)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.035	Low	1 788	No data
Mérida, Mérida (AGEB 147-2)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.035	Low	2 105	No data
Mérida, Mérida (AGEB 302-1)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.035	Low	2 461	No data
Mérida, Mérida (AGEB 374-6)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.035	Low	4 216	No data
Mérida, Mérida (AGEB 457-0)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.035	Low	2 392	No data
Mérida, Mérida (AGEB 301-7)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.035	Low	2 956	No data
Mérida, Mérida (AGEB 418-0)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.035	Low	2 474	No data
Mérida, Mérida (AGEB 223-5)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.035	Low	2 820	No data
Mérida, Mérida (AGEB 541-8)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.035	Low	2 823	No data
Mérida, Mérida (AGEB 451-3)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.035	Low	3 148	No data

Appendix A

Concludes

Indexed sub-component, principal component and WAVI values for units of analysis in Merida Metropolitan Area

Units of Analysis	$indexR_V$	$index_{SI}$	$index_{WD}$	$index_{UP}$	*EXP*	*SEN*	*ADC*	WAVI	Vulnerability level	At Risk Population (2005)	Growth rate 2000-2005
Mérida, Mérida (AGEB 391-A)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.035	Low	4 367	No data
Mérida, Mérida (AGEB 228-8)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.035	Low	3 972	No data
Kanasín, Kanasín (AGEB 038-6)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.034	Low	1	No data
Mérida, Mérida (AGEB 016-9)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.034	Low	1 961	No data
Mérida, Mérida (AGEB 022-4)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.034	Low	1 126	No data
Mérida, Mérida (AGEB 168-4)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.034	Low	983	No data
Mérida, Mérida (AGEB 171-6)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.034	Low	2 708	No data
Mérida, Mérida (AGEB 222-0)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.034	Low	2 370	No data
Mérida, Mérida (AGEB 234-3)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.034	Low	348	No data
Mérida, Mérida (AGEB 236-2)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.034	Low	544	No data
Mérida, Mérida (AGEB 237-7)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.034	Low	485	No data
Mérida, Mérida (AGEB 240-9)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.034	Low	959	No data
Mérida, Mérida (AGEB 243-2)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.034	Low	2 015	No data
Mérida, Mérida (AGEB 249-A)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.034	Low	1 364	No data
Mérida, Mérida (AGEB 310-6)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.034	Low	2 153	No data
Mérida, Mérida (AGEB 342-6)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.034	Low	1 978	No data
Mérida, Mérida (AGEB 372-7)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.034	Low	2 564	No data
Mérida, Mérida (AGEB 376-5)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.034	Low	2 509	No data
Mérida, Mérida (AGEB 423-1)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.034	Low	2 196	No data
Mérida, Mérida (AGEB 430-1)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.034	Low	499	No data
Mérida, Mérida (AGEB 432-0)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.034	Low	331	No data
Mérida, Mérida (AGEB 433-5)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.034	Low	543	No data
Mérida, Mérida (AGEB 453-2)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.034	Low	86	No data
Mérida, Mérida (AGEB 485-2)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.034	Low	932	No data
Mérida, Mérida (AGEB 490-3)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.034	Low	25	No data
Mérida, Mérida (AGEB 491-8)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.034	Low	141	No data
Mérida, Mérida (AGEB 513-6)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.034	Low	1 513	No data
Mérida, Mérida (AGEB 517-4)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.034	Low	2 127	No data
Mérida, Mérida (AGEB 537-1)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.034	Low	185	No data
Umán, Umán (AGEB 035-2)	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.034	Low	25	No data

Source: Developed by authors.

Abbreviation: WAVI: Water Access Vulnerability Index; $Index_{RV}$: Rainfall, variation indexed sub-component; $index_{SI}$: Saltwater intrusion indexed sub-component; $index_{WD}$: Safe water access deficit indexed sub-component; $index_{UP}$: Urban poverty indexed sub-component; *EXP*: Climate change exposure principal component; *SEN*: Climate change sensitivity principal component; *ADC*: Climate change adaptation capacity principal component; AGEB: Spanish abbreviation for Basic Geostatistic Area. Units of analysis: First name = Location name, Second name (after comma) = Municipality name.

Retos de la información del agua en México **para una mejor gestión**

María Perevochtchikova

Fotografía: Edmundo Gutiérrez Martínez.

Por el Grijalva.

El objetivo de este trabajo fue analizar la situación actual de la información del agua en México con el fin de ofrecer reflexiones críticas acerca de sus avances y limitaciones, así como formular algunos retos para una mejor gestión. La metodología utilizada para este fin se basó en la investigación documental de fuentes de información de carácter oficial, técnico y académico, acompañada por consultas a expertos en el tema y una revisión de los materiales de algunos eventos académicos especializados en la problemática. De este modo, dentro del marco teórico de la Gestión Integral de Recursos Hídricos y el uso de datos dentro del proceso de gestión pública (pirámide de información), se contemplaron los siguientes temas de análisis: fuentes, sistema de obtención, uso y acceso.

Palabras clave: agua, conocimiento, información, México.

The objective of this work was to analyze the current situation of water information in Mexico in order to offer critical reflections about its progress and limitations, as well as to formulate some challenges for better management. The methodology used for this purpose was based on documentary investigation of information sources of official, technical and academic character, accompanied by consulting with experts in the field and a review of materials of some academic events specializing in the issue. Thus, within the theoretic framework of the Integrated Water Resources Management (IWRM) and the use of data in the process of public management (pyramid of information), the following topics of analysis be contemplated: sources, collection, use, and access.

Key words: water, knowledge, information, Mexico.

Introducción

La humanidad, a lo largo de su historia, ha tenido un interés especial en el agua por ser un recurso de vital importancia para la subsistencia personal, el uso directo e indirecto en diferentes actividades de la vida cotidiana y como factor de desarrollo; sin embargo, la relación Sociedad-Naturaleza ha sido acompañada por un proceso de extracción ilimitada, dejando de lado su función esencial en el mantenimiento de ecosistemas y el funcionamiento de ciclos naturales. Esta situación ha provocado un impacto ambiental a escala global, afectando el propio ciclo hídrico y los procesos climáticos relacionados en cuanto a cantidad, calidad, distribución espacial del recurso e intensidad de eventos.

Con el propósito de afrontar la problemática actual del deterioro ecológico, desde hace cuatro décadas se han puesto en la escena política mundial nuevos esquemas de gestión de recursos naturales y, en específico, del agua dirigidos hacia la búsqueda de un cierto balance entre los objetivos de desarrollo económico de los países y el funcionamiento natural de ecosistemas con base en las unidades territoriales de cuencas hidrográficas; entre ellos está la llamada Gestión Integral de Recursos Hídricos (GIRH) (Ramsar, 1971, 2002; CAMA, 1992; CNUMAD, 1992; CBD, 2000). Para llevar a cabo la gestión pública dentro de esta visión integradora a largo plazo se requiere, en primera instancia, contar con un vasto acervo de información del agua para poder determinar las tendencias históricas de los procesos, realizar proyecciones de su comportamiento a futuro y, en virtud de esto, elaborar las estrategias eficientes de acción.

Cabe resaltar que la Academia desempeña un papel crucial en la generación y la comunicación del conocimiento acerca del agua, considerada como un bien social y la fuente del desarrollo de los individuos y los países (Perevochtchikova, 2009a; Morales, 2012). La problemática de la información resulta de prioridad mundial, pues ofrece los insumos necesarios para formar una *sociedad del conocimiento* que conozca, piense, razone, decida y actúe proactivamente en la toma de decisiones dirigidas hacia la conservación ambiental (UNESCO-IMTA, 2009). Al respecto, los datos del índice de conocimiento del agua, presentado por el Instituto del Banco Mundial en el 2005, señalan que México ocupa una posición intermedia con un valor de 4 a 6 (en escala de 1 a 10), lo cual significa que, aun

cuando existen avances relativos dentro del tema, todavía queda mucho por recorrer en el camino hacia la consolidación de un conocimiento suficiente en materia del agua y su uso eficiente, equitativo y justo para una mejor gestión.

Antecedentes

Hay que reconocer que existen múltiples trabajos a nivel mundial en relación al agua que se basan en el uso de datos primarios obtenidos de fuentes oficiales, informes técnicos y/o investigaciones académicas (desde los ángulos de funcionamiento físico, efectos sociales, económicos, políticos, etc.); sin embargo, sobre la problemática de la información *per se* casi no hay publicaciones, aunque es posible detectar la presencia de una constante crítica acerca de la calidad, cantidad, uso de los datos y el acceso a la información, ya que de estos factores depende el alcance que pueda tener cualquier estudio. En este caso, a escala nacional, se recomienda la lectura de los trabajos de Jiménez (2007), Aboites *et al*. (2008), CCA (2009, 2011) y Morales (2012), además de los materiales de eventos académicos, como los seminarios de discusión organizados por la UNESCO-ITMA (2009) y el INEGI-UAM (2012).

De la revisión de estas fuentes, se puede determinar una lista de los principales focos de atención dentro de la problemática de la información del agua en México:

- La información del vital líquido es producida por una gran cantidad de instituciones gubernamentales, no gubernamentales y organismos internacionales.
- Es presentada a distintas escalas: internacional, regional, nacional, estatal y municipal.
- Se encuentra en fuentes dispersas; a menudo, es incongruente e ilógica al compararse unas con otras.
- Carece de protocolos para generarla; las metodologías varían.
- La de carácter gubernamental a menudo no está actualizada.
- Responde a objetivos distintos de diversos programas y acciones de política pública.
- Es heterogénea, inexacta, imprecisa y poco sistematizada.
- Es poco accesible.
- La información es poco utilizada por instancias gubernamentales.
- Es incontinua en el tiempo debido al cambio en los gobiernos a escalas federal y local (tres y seis años, respectivamente).
- Se pierde con los cambios en las prioridades nacionales de gestión (administración y regulación; no investigación).
- La información existente no es exigida ni conocida por la sociedad.

De manera adicional, considerando el escenario de empeoramiento de la problemática ambiental en vísperas del cambio climático global, Brunet (2010) menciona que, para poder realizar estudios exactos, es indispensable contar con series de tiempo completas de las variables climáticas con base en datos instrumentales obtenidos de un monitoreo continuo de alta calidad que permitan contribuir con la evaluación histórica del clima, detectando la sobreposición de las fuerzas antrópicas sobre las variaciones naturales; no obstante, a nivel mundial hay todavía menos datos de los que se requieren para estos cálculos, con una porción aun más pequeña disponible en formato digital, la cual se caracteriza, además, por la problemática de inaccesibilidad, insuficiencia, incompatibilidad, diferencias y fallas en calidad, discontinuidad, cambios de formato, escalas, etcétera.

En el escenario político, la problemática de la información del agua ha sido expuesta en fechas recientes a través del tema de la educación; como lo considera la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, por sus siglas en inglés), ésta es la entrada al desarrollo de una nueva ética para la gobernabilidad y la GIRH. Al respecto, cabe señalar que en el *Borrador del plan estratégico* de la VII Fase del Programa Hidrológico Internacional (PHI) 2008-2011, por primera vez se amplió el tema de la educación relativa al agua como parte de la estrategia general de la

UNESCO para el decenio 2005-2014 de educación para el desarrollo sostenible (UNESCO-IHE, 2007). En las versiones anteriores del Programa ya había reconocido la problemática de la degradación ambiental y, en particular, del agua, por lo que en la actual (VIII fase) se busca desarrollar actividades que integren los principios de sustentabilidad por medio de la cooperación intersectorial y la educación como eje transversal (basadas en la investigación, la educación, el entrenamiento y la capacitación profesional).

Ganando terreno en el debate internacional, durante la Tribuna del Agua, realizada en el marco de la exposición internacional EXPO Zaragoza (2008), una de las semanas temáticas se dedicó al *Agua y sociedad*, señalando la importancia de fortalecer el aspecto de la educación, la transferencia de información y el desarrollo de capacidades para formar un conocimiento sólido acerca del vital líquido en la sociedad y, de esta manera, combatir los problemas de deterioro ambiental.

En el V Foro Mundial del Agua realizado en Turquía (2010), lo referente a educación se trató en el tema *El conocimiento para todos, todo para el conocimiento*. En la idea que se desarrolló a mayor detalle en el informe de GWP (2012: 115-118) se resalta la importancia de la construcción de conocimiento para la GIRH por medio de un constante intercambio de experiencias e información, a lo que Martínez Lagunes (2009) añade que, por primera vez, el tema de información del agua se incluye en un foro de trascendencia internacional, resaltando la problemática de la falta de datos, las limitantes en su generación, la transmisión del conocimiento, así como el desarrollo de capacidades; asimismo, menciona que cada vez existen menos datos, por lo que sería necesaria la integración interinstitucional, guiando la oferta de información por la demanda generada dentro de la sociedad; argumenta, además, que sólo una sociedad informada y consciente puede actuar de manera efectiva en el cuidado y la conservación del agua.

Así, el objetivo de este trabajo se concentra en el análisis de la situación actual de la información del agua en México con el fin de ofrecer reflexiones sobre sus avances y limitaciones y formular algunos retos para una mejor gestión.

Marco teórico

En virtud de la degradación ambiental reconocida a nivel mundial como resultado de una gestión de recursos naturales inadecuada, depredadora y dirigida sólo a la satisfacción de las necesidades del desarrollo económico de los países, en las últimas décadas han sido presentadas varias iniciativas basadas en principios ecológicos y de integralidad. En particular, cabe resaltar la formulación y la aceptación a nivel internacional del enfoque de la GIRH (Andrade, 2004) y su derivada para áreas urbanas: la Gestión Integrada del Agua Urbana (Mitchel, 2006; Martínez, 2009; Perevochtchikova and Martínez, 2010). Dentro de este esquema, la implementación de medidas estructurales (acciones técnicas, como la construcción de infraestructura) y no estructurales (actividades culturales, programas educativos, etc.) se basa en la unidad de manejo de cuencas hidrográficas, en la cual se unen tanto los flujos naturales como antropogénicos y se garantiza la participación justa y equitativa de todos los usos y usuarios en la toma de decisiones.

Al respecto, es indispensable comentar que el proceso de implementación de los principios de la GIRH en la gestión pública ambiental requiere como insumo base datos de alta calidad de diversos aspectos de la vida (GWP, 2010). Por su parte, Nagy (2012) menciona que, dentro del ciclo de uso de la información del agua en la política, existen varias fases consecutivas que van desde la formulación de los objetivos de la política, la presentación de las necesidades de información, la recolección de datos (con base en una estrategia general previamente elaborada) y su obtención, hasta la compilación y el procesamiento de los datos y la diseminación de los mismos. Por esta razón, se reconocen las siguientes dimensiones de información dentro de este esquema: a) espacial (delimitación territorial por regiones administrativas, cuencas, regiones hidrológicas, etc.); b) tem-

poral (corto, mediano y largo plazo); c) sectorial (público o privado; uso directo o indirecto); d) institucional (diversidad de organismos e instituciones a cargo de la gestión) y e) de clasificación (por ejemplo: agua fresca, salada, superficial, subterránea, etc.), entre otros.

Se puede decir que esta visión complementa la presentada con anterioridad por Martínez Lagunes (2009) acerca de la construcción del conocimiento del agua a través de la transformación de datos entre los diversos niveles de la *Pirámide de información en relación con su uso* (ver figura 1). En ella se puede observar que en la parte inferior se obtienen los datos primarios o microdatos de carácter discreto (cuanti y cualitativos), los que son usados en su mayoría para las tareas de investigación científica básica y aplicada; en la parte media se encuentran los datos procesados, sistematizados, analizados y validados, utilizados por analistas y tomadores de decisiones; y en la cima se dispone de información presentada en forma de índices, indicadores y/o criterios más sintéticos (macrodatos), aptos para su uso en la política y para su comunicación al público en general. Dentro de este proceso de intercambio continuo de información entre los niveles de la pirámide y los actores involucrados se crea el conocimiento y la sabiduría del agua (GWP, 2010).

De esta manera, el sentido de la pirámide se relaciona en gran medida con el esquema propuesto por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE, 1993) de *presión-estado-respuesta*, donde en el nivel de *presión* se obtienen datos para la primera caracterización de la situación ambiental; en el de *estado* se ofrecen diagnósticos sólidos con base en la información procesada y en los altos niveles de la organización política (*respuesta*) se fundamentan los indicadores que sirven para la evaluación de los alcances de los programas y acciones implementadas. Así, el hecho de transitar por estos escalones (aun con fallas en la calidad y cantidad de los datos) mejora la situación de oferta-demanda de información, aunque requiere importantes "…recursos económicos y humanos y los resultados pueden no ser muy visibles si no se trabaja adecuadamente en las partes superiores de la pirámide…" (Martínez Lagunes, 2009:3).

Cabe resaltar que, para obtener datos primarios de alta calidad, es indispensable contar con un

Figura 1

Pirámide de información en relación con su uso

Fuente: modificado de Martínez Lagunes, 2009.

sistema eficiente de monitoreo ambiental, incluyendo las características climatológicas e hidrológicas, con el fin de poder procesar la información en forma adecuada y presentar proyecciones y predicciones espaciales y temporales al respecto, respondiendo a las necesidades de los usuarios de la información dentro del proceso de diseño de política pública ambiental. Por ello, es sano realizar ejercicios de revisión crítica de los datos con el fin de ofrecer reflexiones para su mejoramiento y, de este modo, contribuir al proceso de adaptación de los principios ecosistémicos en la gestión de recursos naturales.

Resultados

Para lograr el objetivo del presente trabajo, la metodología de investigación se basó en la revisión y análisis documental de las fuentes de información oficial, técnica y de carácter académico, acompañada por la consulta a expertos en el tema y la revisión de materiales de eventos académicos, como: seminarios, talleres y foros especializados. De este modo, dentro del marco teórico de la GIRH y la pirámide de uso de la información, se contemplaron los siguientes aspectos: 1) las fuentes de información, 2) el sistema de la obtención de datos, 3) el uso de información y 4) el acceso y la transparencia.

Fuentes de información

Es posible subdividir en dos grandes apartados las fuentes sobre el tema del agua en México (Perevochtchikova, 2011):

- Oficiales. A nivel internacional: de la UNESCO, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL); a nivel federal: del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), el Instituto Nacional de Ecología (INE), la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI); a nivel regional: de las regiones hidrológicas administrativas (RHA) y los organismos de cuenca de la CONAGUA; a nivel estatal: de la CONAGUA, el INEGI y los gobiernos estatales; y local: del INEGI y las oficinas de la SEMARNAT.
- Alternas. Generadas y recopiladas por diversas instituciones académicas, organizaciones no gubernamentales (ONG), consultorías y laboratorios certificados.

El tipo de información producida por estas fuentes se puede desagregar en: estadísticas y otras publicaciones, mapas impresos y coberturas digitales y bases de datos.

Estadísticas y otras publicaciones

Estadísticas nacionales publicadas en forma gráfica, tablas e informes son elaboradas y presentadas por diferentes instituciones del ámbito oficial y alterno; por ejemplo, la CONAGUA, desde el 2000, edita cada año *Estadísticas del agua en México*, con datos sobre la disponibilidad, la presión sobre el recurso, las coberturas del sistema de abastecimiento de agua potable, alcantarillado, potabilización y tratamiento, entre otros. El INEGI, por su parte, publica *Estadísticas ambientales a escala nacional*; *Síntesis de información geográfica y de agua* (con datos de cobertura, disponibilidad, descargas, etc.) por unidad administrativa de estados, municipios, localidades y áreas geoestadísticas básicas (AGEB); resultados de censos y conteos poblacionales y encuestas nacionales de seguridad pública y de prestadores de servicios de agua, por mencionar algunas.

A nivel alterno, la Academia juega un papel importante en la generación de datos primarios, su procesamiento y publicación en informes, artículos y libros que contienen información acerca de la cantidad y calidad del agua en un amplio rango de proyectos científicos (analizando el recurso desde aspectos puramente físicos, hasta sus vínculos con lo social, económico, político,

de gestión, etc.). Estos materiales, a su vez, son acompañados por la información recopilada por las ONG y consultorías en forma de informes técnicos, mediciones de calidad y cantidad del agua, entre otros temas.

La principal problemática detectada respecto a estas publicaciones es que la información es confusa, imprecisa, poco sistematizada y, además, poco utilizada. En específico, en los informes oficiales se observa la parcialidad de los datos, materiales incompletos, dispersos, sin explicaciones, con lenguaje técnico poco accesible e imposibles de comparar por las diferencias en objetivos, escalas, formatos, periodos y metodologías aplicadas. Todo ello produce que los datos no reflejen la realidad. En este sentido, se torna imposible esperar efectos positivos de una política pública que no se base en datos suficientes y de alta calidad, como sucede por ejemplo en el caso presentado en Aboites *et al*. (2008) acerca de las coberturas de servicio de agua potable en México, donde se muestran cifras por completo distintas obtenidas de diferentes fuentes y periodos. Lo mismo sucede con los datos acerca de la contaminación del agua debido a las diferencias en clasificación, discontinuidad de muestreo y cambios en la estrategia nacional en la gestión del agua en distintos momentos políticos. También, en el tema de las plantas de tratamiento de aguas residuales se presenta esta situación (donde el número de plantas no refleja el caudal tratado ni tampoco el estado y la eficiencia de su funcionamiento). Ambos ejemplos son comentados en el trabajo de Jiménez (2007).

La información a escala alterna, por su parte, padece de una falta de continuidad, con relación a que los proyectos de investigación son financiados a corto plazo. Asimismo, contienen un lenguaje técnico poco accesible para el público en general y difieren en cuanto a objetivos, escalas, metodologías y técnicas. Aunado a ello, se encuentra la imposibilidad de acceder y compartir los resultados parciales de las investigaciones debido a restricciones de propiedad intelectual, además de cuestiones personales de los investigadores (como los celos profesionales), que son factores que obstaculizan aún más el proceso de obtención y procesamiento de datos.

En cuanto al problema de acceso, se puede decir que, a pesar de que en su mayoría son datos gratuitos, proporcionados con previa solicitud y apegados a la *Ley de Transparencia*, en general son poco conocidos, con faltas en su sistematización y obtenidos con dificultad; la falta de disponibilidad en general es una realidad, sobre todo a escala local.

Mapas impresos y coberturas digitales

A nivel oficial, el INEGI publica, para todo el territorio nacional, cartas de agua superficial y subterránea a escala 1:1 000 000 (en formato impreso), de agua 1:250 000 y topográficas 1:50 000 (en formato digital, *shape*), las cuales están disponibles en sus centros de información. Por otro lado, la Subgerencia de Información Geográfica del Agua (SIGA) de la CONAGUA utiliza información cartográfica y alfanumérica en una geobase de datos a nivel nacional, presentando la información hidrológica de manera gráfica por unidades territoriales de cuencas, subcuencas, regiones hidrológicas (RH) y RH administrativas, información que puede ser utilizada y consultada en forma gratuita por los usuarios. De forma adicional, cabe señalar que el INEGI edita el mapa digital interactivo de las cartas hidrológicas de agua superficial y subterránea (en formato digital a escala 1:250 000) y la *Red hidrográfica escala 1:50 000*, lo cual es complementado con el esfuerzo interinstitucional coordinado por el INE en términos del desarrollo de la *Carta interactiva de cuencas hidrográficas*, que puede ser consultada de forma gratuita en su página en Internet.

Entre las fuentes alternas se destacan los proyectos académicos, las iniciativas de algunas ONG y el trabajo de consultorías que elaboran materiales con base en datos observados y/o retomados de las fuentes oficiales con el propósito de cubrir sus demandas específicas; sin embargo, en muchas ocasiones, carecen de continuidad y se basan

en metodologías distintas, escalas diferentes y formatos poco compatibles o de baja accesibilidad, incluso entre los mismos colegas.

En este punto, habría que reconocer el importante avance que ha logrado México en el desarrollo de información en formato digital, accesible vía pago y/o consulta gratuita en varios medios; no obstante, aún falta superar la problemática de los datos sectoriales, dispersos, incompatibles por diferencias en escalas, técnicas y pocas veces actualizados, además de poco utilizados, conocidos y compartidos (sobre todo en el ámbito académico).

Bases de datos

A nivel oficial, existen las siguientes:

- El sistema de Climatological Station Network Data (CLICOM) del Servicio Meteorológico Nacional de México, que contiene datos de observación climatológica en una plataforma que permite su integración y consulta automática por estaciones vigentes, con sus anteriores versiones del Extractor Rápido de Información Climatológica (ERIC) I, II y III, además del paquete de mallas desarrollado en fecha reciente (con información climatológica interpolada a escala nacional en celdas de 10 por 10 km).
- El *Banco Nacional de Datos de Agua Superficial* (*BANDAS*), editado en el 2008 por la CONAGUA y el IMTA, con el registro de información de la cantidad de agua superficial en México de un total de 2 070 estaciones hidrométricas y la actualización de los datos de 480 estaciones y 180 presas para el 2006 (con datos obtenidos del monitoreo directo y representados en forma de tablas y algunas gráficas).
- La base de datos de la calidad de agua subterránea y superficial de 1983 presentada por el INEGI, con una publicación posterior disponible en su página en Internet que contiene datos de cobertura de servicios, disponibilidad per cápita, descargas, etcétera.

Las fuentes alternas corresponden a los proyectos académicos, análisis de laboratorio y esfuerzos de algunas ONG. La problemática detectada en este tema es casi la misma que en el caso de mapas impresos y coberturas digitales: poca accesibilidad, marcadas diferencias sectoriales, vacíos en series de tiempo y cierta complejidad para conocer los códigos de las estaciones.

En general, al reflexionar sobre el estado de las fuentes de información se puede decir que, a pesar del avance en el registro de los datos, existen múltiples limitantes relacionadas con las diferencias de objetivos y propósitos, escalas, actualización, formatos de presentación, unidades de medición, frecuencia de mediciones y periodos, métodos de estimación y límites máximos permisibles establecidos, lo que deriva en dificultades para su uso en las tareas de comparación y análisis de evolución espacial y temporal, sistematización de datos, construcción de indicadores y de modelos a escala local, así como análisis de flujo de agua subterránea, integral con incorporación de factores socioeconómicos y de avance político.

Obtención de datos

Ya sean primarios o microdatos (que forman la base fundamental de la pirámide de información descrita en el marco teórico), su obtención se realiza por medio de un sistema complejo de monitoreo ambiental a nivel nacional (Perevochtchikova, 2009b).

Sistema de Monitoreo Atmosférico (SIMAT)

Está incorporado al Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire (SINAICA), que reúne y difunde, a través del INE, los datos obtenidos de la Red de Monitoreo Atmosférico (RMA), instalada en diferentes ciudades del país con el objetivo de dar a conocer la situación actual e histórica de la calidad del aire. A la fecha, el SINAICA incluye la RMA de las áreas metropolitanas de las ciudades de México (desde mediados de 1980), Guadalajara, Toluca y Puebla; desde el 2004, las

de Salamanca, León, Celaya, Irapuato, Monterrey, Ciudad Juárez, Tijuana-Rosarito-Tecate y Mexicali. Para facilitar la consulta de la información generada, el SINAICA cuenta con tres subsistemas de información: 1) en tiempo real vía Internet; 2) bases de datos revisadas y validadas; y 3) bases de datos históricas, que ofrecen la información estadística de contaminantes criterio y variables meteorológicas.

En la ciudad de México, por ejemplo, el Sistema funciona con el apoyo técnico de un laboratorio, una unidad móvil y cuatro subsistemas operativos de medición: las redes Automática de Monitoreo Atmosférico, Manual de Monitoreo Atmosférico, de Depósito Atmosférico y Meteorológica. En la actualidad, el Sistema cuenta con 49 estaciones, 175 aparatos automáticos instalados y 39 manuales (INEGI, 2005; SIMAT, 2007).

Con base en la revisión de su funcionamiento, se puede concluir que el SIMAT y, en particular, el Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México han logrado consolidarse en los últimos 30 años y ahora representan, incluso, un ejemplo a seguir para muchos países del mundo (lo cual no sucede con los sistemas de monitoreo climatológico e hidrológico); el Sistema cuenta con un significativo número de estaciones, gente entusiasta y un monitoreo continuo de 24 horas, aunque no en todas las ciudades del país. Con la información que se genera en él, se realizan y publican reportes de contaminación y condiciones climáticas accesibles al público en general.

Los problemas observados en este sistema se concentran sobre todo en la distribución espacial bastante heterogénea de las estaciones de monitoreo, reportando los valores interpolados de los contaminantes criterio por grandes sectores, lo cual, a nivel local, no proporciona información adecuada en tiempo real. Para darle solución, se requeriría una mayor inversión en la modernización y el mantenimiento del equipo técnico de muestreo, así como un aumento en la cantidad de unidades móviles para atención de casos de emergencia y proyectos específicos de investigación. Otro conflicto por resolver es la falta de una revisión profunda en la legislación nacional en lo referente a la elaboración y el establecimiento de normas mexicanas para la realización del muestreo, el equipamiento homólogo de las estaciones de monitoreo y el establecimiento de las concentraciones límite de los elementos fisicoquímicos en la atmósfera. Esta situación es semejante en los otros dos sistemas a tratar.

Sistema de Observación Climatológica (SOC)

Proporciona datos que son muy importantes para la presentación de la situación actual y para realizar proyecciones de las condiciones climáticas a futuro. Cabe resaltar que los fenómenos atmosféricos inciden en el estado de los contaminantes en el aire, sobre todo en la formación, comportamiento, reacciones fotoquímicas y afectación a la salud de la población (INEGI, 2005), por lo que los datos climatológicos deberían usarse para la elaboración de programas de acción local para la prevención de efectos de cambio climático, planes de conservación ambiental y ordenamiento territorial.

A nivel federal, el SMN de la CONAGUA cuenta con el registro histórico (en algunos casos desde fines del siglo pasado) de cerca de 4 500 estaciones climatológicas, 94 estaciones automáticas, 15 estaciones de radiosondeo, 12 radares y 80 estaciones de tipo observatorio, que trabajan 24 horas, los 365 días del año; sin embargo, por la falta de personal, sólo 27% del total labora de esta forma. Los resultados de las mediciones de la temperatura, precipitación, evaporización, presión atmosférica y dirección del viento se reportan cada tres horas en tiempo real al Centro Nacional de Telecomunicaciones Meteorológicas y de ahí son transmitidos al Centro Meteorológico Mundial de Washington para su difusión mundial, donde son procesados, organizados en bases de datos y publicados.

A nivel regional, en la cuenca de México existen 193 estaciones climatológicas (con 49.7 km^2

de área de influencia por estación). A nivel local, la ciudad de México cuenta con el registro de 99 estaciones climatológicas. Otras instituciones a este nivel que realizan las mediciones climatológicas son: la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DGCOH) del DF, con 29 estaciones; el Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACM) con Unidad Tormenta de 78 estaciones; y la Red Meteorológica del SIMAT, con 15 estaciones.

Entre los factores positivos de este subsistema están los siguientes: existe una gran cantidad de estaciones, el acceso a los datos es gratuito y la consulta puede ser realizada en tiempo real en la página de Internet del SMN, donde se pueden encontrar estadísticas y pronósticos, datos compatibles con varios *software,* así como los datos interpolados en sistema mallas; sin embargo, entre los aspectos limitantes se puede observar la distribución heterogénea de las estaciones climatológicas, el monitoreo incontinuo con vacíos en las series de tiempo y el cierre de una gran cantidad de estaciones a partir de la década de los 80, todo ello aunado a la problemática de la confiabilidad de los datos en las estaciones de tipo no observatorio (debido al bajo salario de los aforadores), el problema de vandalismo en estaciones climatológicas retiradas de centros urbanos y la falta de certidumbre de los datos interpolados.

Sistema de Observación Hidrológica (SOH)

En México, la CONAGUA es el organismo responsable de administrar las aguas nacionales y sus bienes públicos inherentes. En particular, el monitoreo hidrológico lo realiza la Subdirección General Técnica en las Gerencias de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos, Aguas Subterráneas y de Saneamiento y Calidad del Agua; esta acción consiste en las observaciones de cantidad y calidad del agua superficial y subterránea en las estaciones hidrométricas, pozos-piloto y puntos de medición de la calidad del agua, respectivamente. En el 2007, la Comisión contaba para este fin con 499 estaciones hidrométricas y 211 hidroclimatológicas.

A escala local, en la ciudad de México la observación hidrológica la realizan varias organizaciones: la Comisión Federal de Electricidad (CFE), la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DGCOH) del Gobierno del Distrito Federal, la Gerencia Regional XIII del Valle de México y Sistema Cutzamala (Gravamex) en representación de la CONAGUA y el Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACM), entre otras. La problemática aquí se concentra en la complejidad de la estructura de la gestión del agua, donde se cruzan las funciones de distintas organizaciones gubernamentales, dificultando aún más el proceso de gestión al no compartir las tareas, los medios y la información (incluso por diferencias de intereses de partidos políticos).

Las principales faltas del sistema a nivel nacional consisten en la distribución de las estaciones hidrométricas, pues es muy heterogénea a lo largo del territorio del país; la falta de continuidad de los datos en el tiempo; la imposibilidad de obtenerlos en un solo informe y/o sitio; el cierre de muchas estaciones por cuestiones financieras y el cambio de prioridades políticas a partir de la década de los 80. Además, se caracteriza por la ausencia de informes hidrológicos integrales, de una cartografía oficial y de una regionalización hidrológica actualizada debido a la falta de pronósticos hidrológicos que consideren y proyecten los cambios acontecidos bajo influencia antrópica.

Por otro lado, cabe mencionar que la calidad del agua en México se mide en 1 026 puntos de la Red Nacional de Monitoreo de la Calidad del Agua, con 591 de ellos instalados en cuerpos de agua superficial; 231, subterránea; 123, en aguas costeras y 81, de referencia. Los componentes que se toman en cuenta para ser presentados luego en estadísticas nacionales y regionales sólo son la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) y la demanda química de oxígeno (DQO), criticados al respecto en el estudio de Jiménez (2007).

Es preciso señalar que ésta es la base más completa, sin embargo, tiene varios aspectos que podrían ser mejorados, como la falta de actuali-

zación de los datos utilizados para las estadísticas oficiales, la escasa cantidad de puntos de monitoreo y su ubicación heterogénea y la falta de continuidad de sus observaciones (temporal y espacialmente). A la problemática ya mencionada se añaden la complejidad, la sectorización y el traslape de funciones institucionales, además de la excesiva burocratización en el proceso de obtención de la información, el desconocimiento y no utilización de los datos generados, los vacíos en las series de tiempo y la baja eficiencia operativa de las estaciones, lo cual produce dudas sobre la confiabilidad, representatividad e integralidad de la información obtenida.

Dentro del esquema dinámico a que se refiere la GIRH (GWP, 2010), se podría pensar en una propuesta de integración del monitoreo ambiental con datos de carácter socioeconómico y de la salud, para lo cual sería factible utilizar información de la demanda del agua, el crecimiento demográfico, la construcción de infraestructura del agua potable y drenaje, entre otros, en conjunto con las características sociales y económicas de la población (el ingreso per cápita, la producción del producto interno bruto, el porcentaje de acceso a servicios, etcétera). Para ello, se podrían utilizar datos de los censos, conteos y encuestas anuales de comercio del INEGI, datos de la SEMARNAT y de la CONAGUA, así como el acceso al servicio de la salud y enfermedades registradas por la Secretaría de Salud (SS) de México. El punto crítico que requeriría esta propuesta se relaciona con la resolución del problema de comparación y adaptación de los indicadores locales debido a la diferencia en la frecuencia de mediciones, en sus unidades de cálculo, distribución y representatividad espacial de parámetros, sobre todo en la consideración de toda la complejidad metodológica, técnica e institucional interna de los indicadores que representa (Perevochtchikova, 2011: 85).

Uso de información

Además de estudios académicos, cálculos técnicos, proyecciones espaciales y temporales (climáticas e hidrológicas) a futuro, la información generada en materia de agua se utiliza en el diseño de políticas públicas como su base sustancial y de la cual depende su éxito y alcance en términos de conservación ambiental.

Normas oficiales mexicanas

En relación con el sustento normativo, existen varias normas que fueron elaboradas en el periodo comprendido entre 1993 y el 2006 en materia de agua (CONAGUA, 2008); por ejemplo, hay siete de la SEMARNAT sobre límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas en aguas nacionales y residuales; 12 de CONAGUA acerca de la preservación del agua, sistemas de alcantarillado, tomas domiciliarias, requisitos de construcción de pozos de extracción de agua para la protección de acuíferos y especificaciones técnicas de equipo; y seis emitidas por la SS en materia de salud ambiental, específicamente en lo que se refiere al agua para uso y consumo humano.

Sin embargo, a pesar de su aparente abundancia, aún falta trabajar en su concretización en relación con el proceso de monitoreo, establecimiento de parámetros máximos permisibles de contaminantes, procedimientos de cálculo de balance hídrico, construcciones futuras que contemplen la captación y almacenamiento de agua pluvial y al proceso de tratamiento y reuso de aguas residuales para diferentes tipos de uso público. Los principales problemas que impiden la formulación de normas acorde con esta información son: la sectorización institucional, la escasez de datos a escala local, la falta de estudios de impacto social y de consultas academia-autoridades, así como el hecho de basarse en referencias internacionales, copiándolas o alterando los valores de niveles máximos permisibles.

Para superar esta situación, sería necesario realizar investigaciones respecto a la eficiencia del uso de los datos obtenidos de la red de monitoreo ambiental actual dentro del marco teórico de la gestión integral con el propósito de detectar los datos

que en realidad son necesarios de medir, así como los mecanismos necesarios para optimizar los costos de obtención del sistema de monitoreo y, con ello, mejorar la confiabilidad y la representatividad de los datos.

Diseño y evaluación de política pública

Dentro del modelo de causalidad presentado por la OCDE en forma de una cadena lógica de *presión-estado-respuesta* (OECD, 1993), se pretendió integrar en el proceso de diseño y evaluación de la política pública ambiental una serie de *áreas-problema* (en total 13): de calidad ambiental, agua (número 10), recursos forestales, piscícolas y de erosión. Este modelo se puede interpretar, en el sentido académico, como un proceso de transformación de los datos en una escala de micro a macro a través de un esquema de función semejante (ver figura 1), *Datos de monitoreo ambiental-diagnóstico de situación ambiental-políticas públicas ambientales*, con el potencial más alto de trascendencia en el nivel de política pública para, con ello, generar respuestas que permitan enfrentar la problemática del deterioro ecológico, pero que a la vez permitan determinar sus alcances.

La mayor problemática que se detecta al respecto está relacionada con la disponibilidad de información suficiente, eficiente, confiable y representativa, sobre todo a escala local, de la cual depende el éxito de acciones y programas implementados. Como un ejemplo, aunque no del ámbito hidrológico, se puede comentar el del SIMAT a partir de que, gracias a la cantidad y calidad de los datos que ofrece, se han elaborado programas operativos específicos para enfrentar la contaminación del aire en la ciudad de México, como los programas Integral de la Contaminación del Aire en 1990 y el del Mejoramiento de la Calidad del Aire en la Cuenca de México en 1995 y, posteriormente, en el 2002, lo cual dio como resultado el efecto de estabilización de concentraciones de algunos contaminantes como partículas suspendidas menores de 10 micrómetros (PM10) en la década de los 90 e, incluso, a partir del 2000, su ligera reducción (SMA-GDF, 2007), representando un efecto positivo en la vida de la ciudad.

Acciones, programas y planes

Como se ha visto, los datos obtenidos del monitoreo ambiental resultan esenciales para la elaboración e implementación de programas y acciones específicos dentro de los lineamientos marcados por el Programa Nacional Hídrico 2007-2012, como parte de la estrategia nacional de desarrollo. Todas las acciones requieren una base sólida de información primaria y procesada para poder sustentar su planteamiento con el propósito de utilizarla en programas de conservación ambiental, restauración ecológica, ordenamiento territorial, cambio climático y de protección civil, entre otros. A nivel local, de la ciudad de México se pueden mencionar varios proyectos ambientales: los programas para Mejorar la Calidad del Aire 2002-2010, de Restauración Ecológica del Suelo de Conservación y General del Ordenamiento Ecológico Territorial del Distrito Federal 2000-2003, así como el Plan Verde y el Programa de Acción Climática de la Ciudad de México 2008-2012, etcétera.

Sin embargo, es indispensable hacer notar que casi todos éstos no cuentan con diagnósticos sólidos en su base, como con claridad lo demuestran Aguilar y Santos (2009), lo cual, en parte, podría explicarse por la carencia de datos y la falta de conocimiento de los datos existentes, la no utilización de la información generada, insuficiencia de estudios, de una visión estratégica a largo plazo, de continuidad de la información por interrupciones de tiempos políticos, falta de inversión en el fortalecimiento del monitoreo ambiental, así como ausencia de comunicación e interacción interinstitucional. Todo ello imposibilita verificar el efecto de estos instrumentos de política pública en general, evaluar sus alcances, dar continuidad a los programas y comunicar sus resultados a la sociedad.

Acceso a la información y transparencia

Para construir una sociedad de conocimiento, es indispensable considerar la interrelación de los conceptos, como: la democracia, la transparencia y la ciudadanía. En este caso, los ciudadanos

son la base sustancial de la democracia, que tienen "…la oportunidad y la necesidad de exigir la transparencia y rendición de cuentas a sus gobernantes, representadores y servidores públicos…" (Emmerich, 2005:13). Por su parte, Morales (2012: 100) menciona que "…el conocimiento tiene un valor científico, comercial y social en el circuito de creación y aplicación…" de la información que no puede ser manejado por leyes de mercado y donde se reconocen múltiples actores, como: autores, editores, medios de comunicación, empresas, universidades, etcétera. La sociedad es la parte que usa, demanda y tiene el poder para exigir la creación científica de la información y la educación (por medio de la cual se transmite el conocimiento).

Por otro lado, la transparencia en el proceso de las decisiones políticas es esencial para la formación de una democracia participativa dentro de la cual los ciudadanos opinen y participen de forma activa en la gestión pública. De esta manera, para que haya frutos reales en el sentido de beneficios sociales y preservación ambiental, es necesario construir una ciudadanía capaz de ejercer sus derechos, lo que significa impulsar una cultura cívica donde cada persona exprese su opinión, conozca y aproveche su voto, su voluntad y sus impuestos para controlar al Estado y actúe defendiendo sus intereses. En otras palabras, la transparencia es la noción de un gobierno responsable ante la comunidad y es factor clave de la democracia. En México, la consolidación del régimen democrático ha llevado a la incorporación en la agenda política el tema del Estado de derecho, de la rendición de cuentas y del desempeño institucional; sin embargo, sólo los ciudadanos bien informados e interesados pueden participar consciente y activamente en el proceso de toma de decisiones; para ello, es necesario institucionalizar las estructuras gubernamentales de tal manera que hagan posible la comunicación entre la ciudadanía y el gobierno (Marván y Corona, 2005:41-42), como se ha mostrado en la pirámide de información.

Con el propósito de garantizar el acceso a la información y fortalecer el ejercicio democrático, en México se ha contemplado en *la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección Ambiental* (*LGEEPA*) el acceso a los datos ambientales desde 1996; posteriormente, en el 2003 se formuló la *Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública Gubernamental* (*LFTAIPG*) y fue creado el Instituto Federal de Acceso a la Información Pública (IFAI) (DOF, 2002; IFAI, 2004); no obstante, aunque el acceso a la información ofrece instrumentos para ejercer el poder, éste entra en conflicto con la protección de cierto tipo de datos y la confidencialidad de alguna información, sobre todo la que se refiere a seguridad nacional y datos personales. Los errores en el acceso pueden significar altos costos sociales y económicos e, incluso —debido a la falta de la calidad de la información—, provocar decisiones equívocas y malas interpretaciones, por lo que este proceso requiere de un cuidadoso diseño y continuo seguimiento (Marván y Corona, 2005:44).

De este modo, la transparencia y el acceso a la información resultan ser conceptos distintos, pero complementarios; el primero se refiere a la acción de abrir la información por parte del gobierno a la sociedad y el segundo, a la forma de cómo debería ser realizada esta acción, es decir, que la información sea accesible a cualquier persona, lo cual facilita el conocimiento de la ciudadanía acerca de las decisiones políticas y le permite tener sus propias opiniones y actuar en consecuencia. La información, en este caso, se convierte en "…un catalizador de la participación social: quién tiene más y mejor información, goza de mayores posibilidades de participar e incidir en la toma de decisiones concernientes a políticas públicas (…) Así mismo, la disposición de información es un recurso invaluable para la exigencia de una pronta impartición de justicia…" (Bustillos y Severino, 2004:21). En la actualidad, los ciudadanos disponen de más herramientas legales, económicas y técnicas para poder obtener la información que buscan, por ejemplo: las leyes, Internet, redes de comunicación, discos portátiles, computadoras, etc. (Morales, 2012), lo que les permite obtener una mayor organización y nivel de análisis.

Se debe reconocer que, a pesar de este esfuerzo, aún se presentan muchas limitantes en el proceso de acceso a la información del agua en México. Tal es el caso que mencionan varios autores en el sentido de solicitudes enviadas al IFAI y que no son respondidas en los tiempos establecidos o no se dispone de la información requerida; en otros casos, las respuestas son parciales, contienen datos demasiado básicos o simplemente son desviadas hacia otras instancias gubernamentales (Bustillos y Severino, 2004: 28-31; Aboites *et al*., 2008: 9-14; Aguilera, 2011:49). Aunque ha crecido la conciencia burocrática respecto a la necesidad y la obligación del acceso a la información, presentando por lo menos una notificación de las que fueran recibidas en las unidades de enlace de la dependencia, este registro no significa calidad de la información ofrecida al usuario, lo que por su parte entra en conflicto con el derecho de los ciudadanos al acceso libre, fácil y de menor costo de la información dentro de las tareas de la gestión integral de recursos hídricos.

Conclusiones

Con la mirada puesta hacia la implementación de los principios de la Gestión Integral de Recursos Hídricos en la política pública ambiental mexicana como único camino a futuro para poder pasar de la visión actual, sectorial, tecnocrática y de corto plazo hacia una gestión ecosistémica, justa y equitativa dentro de los términos de la sustentabilidad socioambiental, en esta última parte se presentan algunas reflexiones acerca de los retos de la información del agua para una mejor gestión en México.

Se puede constatar que la información del agua sí existe (aunque en muchos casos sólo en forma de registros) e, incluso, esto representa un gran avance en comparación con muchos países del mundo que sufren de la ausencia absoluta, inaccesibilidad y/o mala calidad de datos; sin embargo, aún presenta múltiples limitaciones de carácter técnico, institucional, económico y legal, lo que se traduce en el hecho de que la información del agua es heterogénea, dispersa, parcial o nula en algunos temas. Además, a menudo no refleja la realidad, no está actualizada y es poco conocida por la sociedad y los tomadores de decisiones, quienes tampoco la utilizan.

Como resultado de esta problemática, se ven limitados los alcances de la propia investigación científica, los cálculos técnicos, proyecciones a futuro, análisis espaciales y temporales de los eventos hidroclimatológicos y, como consecuencia, de la gestión del agua en el sentido del fracaso de múltiples acciones que no cuentan con diagnósticos sólidos en su base, lo que en total nos lleva al bajo índice de conocimiento del agua en México. Ante esta situación, es necesario formular los retos para lograr una transformación profunda de la gestión pública de este recurso en el país, lo cual requiere un gran esfuerzo, coordinación y, sobre todo, una visión estratégica a nivel nacional y de largo plazo. Los retos propuestos en este sentido son:

- Fortalecer la red de monitoreo ambiental de manera integral (económicamente, en términos de personal, estandarización de metodologías y técnicas, avance tecnológico y de validación de datos).
- Invertir en la investigación científica, sobre todo en temas de cantidad y calidad del agua, monitoreo, uso del dato, eficiencia de política pública e impacto social de políticas públicas, entre otros.
- Promover la educación ambiental integral (al interior de la familia, en la escuela y a nivel superior).
- Preparar cuadros profesionales que sean capaces de enfrentar la problemática.
- Capacitar a los tomadores de decisiones en la utilización de la información para detectar problemas y generar estrategias integrales a largo plazo.
- Revisar y actualizar la legislación y la normatividad en el tema de estándares de información.
- Fortalecer la colaboración inter e intrainstitucional con mecanismos claros de rendición de cuentas y transparencia de la información.

- Fortalecer la comunicación *sociedad-academia-autoridades*.
- Estimular la participación ciudadana proactiva y consciente en la agenda política y en la gestión del agua, que exija la información y revise los avances en la política pública ambiental.

Se cree que se puede lograr el cumplimiento de estos retos con el desarrollo e implementación de una fuerte y coherente estrategia nacional dentro de la visión integrada de la gestión del agua con el fin de la construcción de una sociedad de conocimiento. En este mismo sentido, esperamos que durante la nueva administración de gobierno derivada de las elecciones electorales del 2012 se dé un cambio en la discontinuidad de la generación y el uso de la información del agua en las políticas públicas y se retomen las acciones que requieren atención en términos de justicia socioambiental, demostrando, así, un giro verdadero en los paradigmas de gestión.

Referencias

Aboites, L. *et al*. *Agenda del agua*. México, Academia Mexicana de Ciencias, 2008.

Aguilar, A. G. y C. Santos Seguera. "El manejo de asentamientos humanos irregulares en el suelo de conservación del Distrito Federal. Una política ineficaz", en: Aguilar A. G. e I. Escamilla (coords.). *Periferia urbana, deterioro ambiental y reestructuración metropolitana*. Serie: *Estudios urbanos*. México, IGG-UNAM, M.Á. Porrúa Ed., 2009, pp. 21-52.

Andrade, A. *Lineamientos para la aplicación del enfoque ecosistémico a la Gestión Integral del Recurso Hídrico*. Serie: *Manuales de educación y capacitación ambiental*. Red de Formación Ambiental. México, PNUMA, 2004.

Brunet, M. "Datos e indicadores para detectar y atribuir eventos al cambio climático: los registros históricos del clima y su problemática", en: *Realidad, Datos y Espacio. Revista Internacional de Estadística y Geografía*. 1(1): 16-26, 2010.

Conferencia sobre el Agua y el Medio Ambiente (CAMA). *Declaración de Dublín sobre el agua y desarrollo sostenible*. Dublín, Irlanda, 1992. Disponible en: www.pobrezacero.org/img_bol/declaracion_dublin.pdf

Convention on Biological Diversity (CBD). *Decision V/6. Ecosystem Approach*, Nairobi, Fifth Ordinary Meeting of the Conference of the Parties, United Nations Environmental Programme (UNEP). 2000. Disponible en: www.cbd.int/decision/cop/?id=7148

Consejo Consultivo del Agua (CCA). *La gestión del agua en las ciudades de México. Indicadores de desempeño de organismos operadores. Primer reporte*. México, CCA, 2009.

_____ *La gestión del agua en las ciudades de México. Indicadores de desempeño de los Sistemas de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Segundo reporte*. México, CCA, 2011.

Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CNUMAD). *Agenda 21: Programa de Acciones para el Desarrollo*. Río de Janeiro, Brasil, 1992. Disponible en: http://agenda21ens.cicese.mx/40capitulos.htm

CONAGUA. *Estadísticas del agua en México*. México, CONAGUA, 2008.

_____ *Estadísticas del agua en México*. México, CONAGUA, 2011.

EXPO Zaragoza. *Carta de Zaragoza 2008*. España, 2008. Disponible en: www.expozaragoza2008.es/TribunadelAgua/QueslaTribunadelAgua/seccion=663&idioma=es_ES.do

Global Water Partnership (GWP). *Toolbox para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos*. Stockholm, Sweden, GWP, 2010. Disponible en: www.gwptoolbox.org

Jiménez, B. "Información y calidad del agua en México", en: *Trayectorias*. IX (24): 45-55, 2007.

INEGI. *Estadísticas del medio ambiente del Distrito Federal y zona metropolitana 2002*. México, INEGI-SMA-GDF, 2005.

INEGI-UAM. *Seminario Internacional Información Estadística y Geográfica para el Mejor Manejo del Agua en México*. México, DF, 2012. Disponible en: www.inegi.org.mx/eventos/2012/agua

Martínez Lagunes, R. *Información para la gestión y gobernabilidad del agua*. Materiales del Seminario Información y Conocimiento del Agua: Prioridad Mundial. México, UNESCO-IMTA, 2009.

Martínez, S. *Gestión integrada del agua urbana: aplicación del modelo UVQ al área metropolitana de San Luis Potosí*. Tesis para Doctorado en Ciencias de la Tierra 2006-2009. Instituto de Geología, UNAM, 2009.

Mitchell, V.G. "Applying Integrated Urban Water Management Concepts: A Review of Australian Experience", en: *Environmental Management*. 37(5): 589-605, 2006.

Morales Campos, E. "El acceso libre a la información que producen las universidades públicas", en: AAPAUNAM. *Academia, Ciencia y Cultura*. 4(2): 98-103, 2012.

Nagy, M. *Uso del agua en economía y política*. Materiales del Seminario Información Estadística y Geográfica para Mejor Manejo del Agua en México. México, INEGI-UAM, 2012.

OECD. "Core Set of Indicators for Environmental Performance Reviews", en: *Environment Monographs 83*. París, Francia, OECD, 1993, 39 p.

Perevochtchikova, M. *Información del agua para una mejor gestión*. Materiales del Seminario Información y Conocimiento del Agua:

Prioridad Mundial. México, UNESCO-IMTA, 2009a. Disponible en: www.atl.org.mx/seminario/images/ponencias/Resumen_MP.pdf

_____"Situación actual del sistema de monitoreo ambiental en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México", en: *Estudios Demográficos y Urbanos*. 3 (72): 513-547, 2009b.

_____ "El uso del dato obtenido del monitoreo hidroclimatológico: el caso de la cuenca del Valle de México", en: Oswald, U. (coord.). *Retos de la investigación del agua en México*. México, CRIM-UNAM, 2011, pp. 77-87.

Perevochtchikova, M. and S. Martínez. "Integrated urban water management: concepts, tools and applications", en: Karlin L. N. and V. A. Shelutko (Main Ed.). *Ecology and hydrometeorology in the big cities and industrial zones (Russia-Mexico)*. Vol. III. Russia, RSHU, 2010, pp. 98-118.

Ramsar. *Final Act of the International Conference on the Conservation of Wetland and Waterflow Held at*. The Ramsar Convention on Wetlands. Ramsar, Iran, 1971.

_____ *New Guidelines for Management Planning for Ramsar Sites and Other Wetlands*. Conferencia de las Partes Contratantes de la Convención de Ramsar (COP8), Resolución VIII (14). España, 2002. Disponible en: www.ramsar.org/key_guide_mgt_new_e.htm

SIMAT. *Mapa sensible del Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México (SIMAT)*. México, Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal, 2007. Disponible en: www.sma.df.gob.mx/simat/pnrednueva.htm

SMA-GDF. *La calidad del aire en la Zona Metropolitana del Valle de México 1986-2006. Informe del estado y tendencias de la contaminación atmosférica*. México, SMA-GDF, 2007.

UNESCO-IMTA. *Seminario Información y Conocimiento del Agua: Prioridad Mundial*. México, DF, 2009. Disponible en: www.atl.org.mx/seminario

UNESCO-IHE. *Borrador actualizado del Plan Estratégico de la Séptima Fase (2008-2013) del PHI. IHP/Bur-XL/11, Programa Hidrológico Internacional.* París, Francia, UNESCO, 2007.

Fotografía: Arturo Jiménez.

Huella de agua de uso público-urbano en México

Carole Farell Baril, Sylvie Turpin Marion y Nydia Suppen Reynaga

Esta investigación propone una metodología para evaluar la huella de agua con la técnica de análisis de ciclo de vida. De este modo, es posible cuantificar no sólo el volumen del vital líquido utilizado sino, también, los impactos ambientales provocados por su uso, además de la escasez de agua que provoca el proceso evaluado. Una metodología con estas características proporciona mayor información en la toma de decisiones y facilita la gestión de este recurso. La metodología propuesta se aplica a un estudio de caso para evaluar la huella de agua de uso público-urbano en México, cuantificando los impactos provocados desde la extracción de materias primas y energía para la construcción de la red, la distribución y uso del agua, hasta su final de vida. Los resultados se muestran para cada una de las 13 regiones hidrológico-administrativas del país.

Palabras clave: análisis de ciclo de vida, ecotoxicidad acuática crónica, escasez, huella de agua, índice de estrés hídrico, USEtox.

This research proposes a methodology where the water footprint is evaluated with the technique of Life Cycle Assessment. In this way, it is possible to quantify not only the volume and use of the resource but also the impacts and shortage that such use causes. A methodology with these characteristics provides more information in decision-making and facilitates water management. The proposed methodology was applied to the urban-public water use in Mexico assessing the impacts of water use from extraction of raw materials and energy for the network construction, distribution and use of water, to its end of life. The results are shown for each of the 13 Hydrological Administrative Regions of Mexico.

Key words: freshwater ecotoxicity, life cycle assessment, scarcity, USEtox, water footprint, water stress index.

1. Introducción

En años recientes, la preocupación por la escasez de agua es cada vez mayor; la falta de acceso para satisfacer las necesidades humanas básicas, los ecosistemas degradados y las consecuencias del cambio climático sobre el ciclo hidrológico han traído el tema del agua a la vanguardia dentro de los gobiernos y las empresas en todo el mundo.

La crisis de agua a la que en la actualidad se enfrenta el planeta encuentra solución en el ámbito académico con el desarrollo de diferentes métodos e indicadores que permiten evaluar el uso del recurso hídrico y facilitar su gestión. El concepto de *huella* implica la medición de la cantidad total de impactos al ambiente producidos directa o indirectamente por productos o procesos en todas las etapas de su ciclo de vida. De esta manera, al llevar a cabo un inventario de emisiones, se pueden calcular las huellas ecológica (Rees, 1992), de carbono (PAS 2050:2011 y 2011; ISO/CD14067, 2011), toxicológica (Hauschild *et al*., 2011) o de agua (Hoekstra *et al*., 2011; ISO/DIS 14046). Una vez conocido su tamaño, es posible implementar una estrategia para reducirla.

Para calcular la huella de agua, se utiliza la técnica de análisis de ciclo de vida (ACV), cuyas aplicaciones, hasta la fecha, han permitido una comparación total de los impactos en problemas ambientales de productos y servicios en cada fase de su ciclo de vida. Cuando la huella se evalúa con esta técnica y se ajusta con el índice de estrés hídrico, es posible integrar al volumen total del líquido utilizado los impactos ambientales provocados por el uso del agua en cada etapa de un proceso y establecer medidas para mitigar o eliminar la huella, haciendo posible la optimización en la utilización de los recursos hídricos. Asimismo, estandarizar una metodología para evaluar la huella de agua facilita la comparabilidad y la comprensión de los resultados dentro de un sistema productivo, entre diferentes productos, servicios o procesos.

A continuación, se presenta un breve marco teórico sobre la evolución del concepto *huella de agua* y su adaptación al ACV para, después, proponer una metodología integral que logre evaluar la huella reflejando tanto el volumen de líquido utilizado como los impactos de ecotoxicidad acuáti-

ca crónica y escasez provocados durante el proceso. La metodología propuesta se aplica al agua de uso público urbano en México, obteniendo el perfil de impactos ambientales a los recursos hídricos en todo el ciclo de vida, es decir, desde la extracción de la materia prima, construcción de la red, distribución y uso del recurso, hasta su final de vida. En primer lugar, se estructura el inventario del ciclo de vida (ICV), considerando las entradas y salidas de energía, materiales y agua. Posteriormente, se realiza la evaluación de impacto de ciclo de vida (EICV) caracterizando los impactos potenciales sobre los recursos hídricos atribuibles a las entradas y salidas durante el ciclo de vida del proceso, teniendo en cuenta los impactos de ecotoxicidad de agua dulce y la escasez con base en factores de caracterización estandarizados que permiten la comparación en diferentes niveles (productos, procesos, servicios). Los resultados se presentan como volúmenes de agua impactada, facilitando la comunicación y toma de decisiones.

1.1 Evolución del concepto *huella de agua*

El término surgió en la década de los 90 con el concepto *huella ecológica*, que fue introducido por William Rees y Mathis Wackernagel (Rees, 1992 y 1996; Rees y Wackernagel, 1994 y 1996; Wackernagel y Rees, 1996 y 1997). La huella ecológica de una población representa el área de tierra productiva y ecosistemas acuáticos necesarios para producir los recursos empleados por ésta y para eliminar sus residuos, tomando en consideración un determinado nivel de vida, e independientemente del lugar geográfico en que dichas tierras se encuentren. En otras palabras, se refiere a la cantidad de superficie de terreno que es necesaria para que un grupo colectivo se pueda desarrollar de forma sostenible.

De manera paralela, J. A. Allan (Allan, 1998) introduce el concepto *agua virtual* cuando estudiaba la importación del vital líquido como solución a los problemas de escasez en Oriente Medio. Establece que cada producto, además del agua que lleva incorporada, requiere de un volumen mayor de agua en su proceso de producción.

El concepto *agua virtual* fue retomado en el 2002 por los catedráticos Arjen Y. Hoekstra y Ashok Chapagain y aplicado a otro concepto nuevo: la *huella de agua* (Hoekstra, 2003; Hoekstra y Chapagain, 2004). La metodología propuesta por Hoekstra, publicitada por la iniciativa *Water Footprint Network* (WFN), fue creada para obtener un indicador que relacionara el agua con el consumo de la población. La huella de agua puede ser interna, cuando se tiene en cuenta el líquido procedente de los recursos nacionales de un país, o externa, en el momento que se toma en consideración la cantidad del líquido necesario para desarrollar los productos o servicios consumidos en un país cuando éstos han sido elaborados en el exterior.

La huella de agua establecida por la WFN cuantifica los diversos tipos o colores del agua de forma individual para, después, sumarlos en una métrica final. Las aguas superficiales y subterráneas suelen englobarse con el calificativo de *agua azul*, en contraposición a la *verde* con el que se designa a la que, procedente de las precipitaciones, está en la zona superior del suelo y permite la existencia de la mayor parte de la vegetación. El *agua gris* es la contaminada en los procesos de uso y consumo, y representa el volumen que se necesitaría para diluir los contaminantes hasta los niveles fijados por los estándares de calidad (Hoekstra *et al*., 2011).

El concepto *agua verde* se refiere a la evapotranspiración del agua de lluvia total, así como el agua incorporada en la cosecha o madera (Hoekstra *et al*., 2011). Su volumen no debe ser agregado al de agua superficial y/o subterránea, pues aunque tengan las mismas unidades, su significado y aplicación son diferentes. Las ventajas y alcances de este concepto aún no son claros; por una parte, algunas investigaciones apoyan su uso al involucrar menos impactos ambientales, sin embargo, otros expertos se muestran preocupados ante la posibilidad de que la producción agrícola sea destinada sólo a algunas regiones del mundo. Si se establece la región del Ecuador como única zona para desarrollar la agricultura y ésta colapsa (por el motivo que sea), la seguridad alimentaria y diversos sectores industriales resultarían afectados a la par. Aunado a lo anterior,

el término agua gris aún no ha sido completamente desarrollado en la práctica ya que puede ser muy confuso, pues los estándares de calidad pueden variar de una región a otra.

Esta metodología de la WFN, al sólo considerar volúmenes, requiere de más análisis para poder realizar una toma de decisiones, pues una huella menor no necesariamente es la mejor opción; por ejemplo, un producto *A* que consuma 2 m^3 de un acuífero sobreexplotado no es mejor que uno *B* que consume 4 m^3 de agua verde. Tampoco se puede comparar el volumen de líquido extraído de una zona de alta disponibilidad (Chiapas) con el mismo volumen proveniente de una zona de baja disponibilidad (Distrito Federal). Debido a lo anterior, en fecha reciente se le ha agregado al método una nueva etapa de evaluación de sustentabilidad (Hoekstra *et al*., 2011), la cual puede otorgar mayor información acerca del uso del agua en aspectos económicos y sociales; sin embargo, hace más lejana la posibilidad de reportar una métrica en ecoetiquetas y aún carece de la evaluación de los impactos ambientales provocados por el uso del agua.

1.2 Definición de *huella de agua*

El concepto de *huella*, desde su origen, implica la medición de la cantidad total de impactos al ambiente. De modo tal que la suma de los volúmenes de agua no es suficiente para evaluar una huella, es necesario transformar éstos en impactos ambientales para que ello pueda ser reportado como *huella de agua* (ISO/DIS 14046, 2011), la cual se define como: "…cantidad total de impactos al agua producidos por procesos, productos o servicios en todas las etapas de su ciclo de vida". Para calcularla, se utiliza la técnica de ACV.

1.3 Análisis de ciclo de vida y el agua

La definición de la International Standards Organization (ISO), en su serie 14044-2006 (ISO 14044, 2006), determina que el ACV es: "…una técnica para estimar los aspectos ambientales y los impactos potenciales asociados con un producto, a través de: la compilación de un inventario de entradas y salidas relevantes de un sistema producto, la evaluación de los impactos ambientales potenciales asociados con estas entradas y salidas, y la interpretación de los resultados del inventario y de las etapas de evaluación del impacto en relación con los objetivos del estudio".

El ACV evalúa los impactos ambientales potenciales a lo largo de todo el ciclo de vida de un producto o servicio desde la extracción de la materia prima, pasando por la producción, uso, tratamiento final y reciclado, hasta su disposición final.

Existen cuatro fases requeridas para hacer un estudio de ACV de acuerdo con la norma mexicana NMX-SAA-14044-IMNC-2008 Gestión ambiental-Análisis de ciclo de vida-Requisitos y directrices, la cual cumple con los requisitos mandatarios de la norma ISO 14044:

- Definición del objetivo y el alcance del ACV.
- Análisis del ICV.
- Realización de la EICV.
- Interpretación.

El ACV es una herramienta muy aceptada y aplicada para medir las intervenciones ambientales causadas por diversos productos, desde la cuna a la tumba (Schnoor, 2009). Al evaluar el desempeño ambiental de un producto por medio del ACV se hace énfasis en los materiales y energía consumida, sobre todo en las emisiones de gases de efecto invernadero. Es por esto que el ACV logra reportar la huella de carbono de manera precisa; sin embargo, cuando se trata del recurso hídrico, el análisis no es tan completo.

Los volúmenes de agua utilizados en las diferentes etapas del ciclo de vida de un producto o proceso se detallan durante la etapa del inventario, mas no existen métodos ni modelos que evalúen el impacto provocado por el uso del líquido. Las dificultades radican en que su utilización, en muchas ocasiones, no es consuntivo sino parte del ciclo hidrológico, por ejemplo, el agua de lluvia que alimenta los cultivos. Además, la disponibilidad de agua dulce varía cada día alrededor del mundo y diferentes calidades de ella permiten usos distintos.

Por su parte, la EICV tiene el objetivo de caracterizar las emisiones de sustancias que se producen en el ciclo de vida de un producto de acuerdo con sus impactos potenciales sobre el medioambiente. Cuando las sustancias son liberadas, pueden causar daños a los recursos, a la salud humana y/o a los ecosistemas. Estos impactos potenciales son cuantificados utilizando factores de caracterización.

Para cada categoría de impacto, la EICV aplica factores específicos de caracterización a cada sustancia, que representan la potencia de la misma:

$$\text{Impacto}_{\text{categ}} = \sum_i \sum_x FC_{x,i} * m_{x,i} \quad (1)$$

donde $\text{Impacto}_{\text{categ}}$ es la medida de una categoría de impacto (por ejemplo, ecotoxicidad); $FC_{x,i}$ es el factor de caracterización de la sustancia x, liberada para el compartimiento i (agua, aire, suelo); $m_{x,i}$ es la masa de la emisión x para el compartimiento i. La suma es válida para las sustancias y los compartimentos de las emisiones.

2. Metodología

En esta investigación, la huella de agua se evalúa como impacto en ecotoxicidad acuática crónica utilizando el método USEtox (Usetox Development Team, 2010), el cual se estructura como una matriz, compuesta a su vez por una serie de matrices, que evalúa los efectos toxicológicos de un químico emitido al ambiente mediante una cadena causa-efecto que vincula las emisiones a impactos a través de tres pasos: transporte, exposición y efecto (Rosenbaum *et al*., 2007).

Este método proporciona los factores de caracterización para un impacto continental y global en diversos medios. Los relativos a la ecotoxicidad acuática representan los impactos ecotoxicológicos del agua dulce provocados por diversos químicos; el impacto se reporta con unidades toxicológicas comparativas (CTUe) que representan la fracción de especies potencialmente afectada por metro cúbico en un día y por unidad de masa del compuesto emitido [PAF • m^3 • día • $kg_{emitido}^{-1}$]. Los factores de caracterización ecotoxicológicos del modelo USEtox se pueden expresar a partir de la multiplicación de cuatro factores, como se muestra en la ecuación 2 (Henderson *et al*., 2011).

Los tres primeros términos de la ecuación describen el transporte y la exposición de una sustancia: la fracción transferida de la emisión en el medio i al agua dulce ($f_{i,w}$); el factor de destino en el agua ($FF_{w,w}$) expresa la residencia de la masa por unidad de emisión [kg/(kg/día)], dando una dimensión global en [día]; la persistencia de una sustancia en el agua, para una emisión al agua, también se indica aquí. El factor de exposición (XF_w) representa la biodisponibilidad de los productos químicos en los organismos acuáticos (Henderson *et al*., 2011).

El último término es el factor de efecto (EF_w), y refleja la fracción de especies potencialmente afectadas debido a un cambio de concentración [PAF • m^3 • kg^{-1}]; se basa en la toxicidad $\text{HC50}_{\text{EC50}}$:

$$EFw = 0.5\ \text{PAF/HC50}_{\text{EC50}} \quad (3)$$

$$FC_i^{\text{ecotox agua dulce}} = \underbrace{f_{i,w}}_{\text{Fracción transferida de la emisión al agua [adim]}} \quad \underbrace{FF_{w,w}}_{\text{Factor de destino [day] Tiempo de residencia y persistencia en agua}} \quad \underbrace{XF_w}_{\text{Factor de exposición [adim] Fracción disuelta en el agua y su biodisponibilidad}} \quad \underbrace{EF_w}_{\text{Factor de efecto [PAF • m3 • kg}^{-1}\text{] ecotoxicidad acuática}} \quad (2)$$

Este factor se calcula como la media geométrica de tres valores $EC50$, cubriendo los tres principales niveles tróficos de la cadena alimenticia (algas, invertebrados y vertebrados) que representan a los productores primarios (*phytoplancton*), consumidores primarios (*zooplancton*) y secundarios (peces planctívoros). Para la media geométrica de preferencia se utilizan datos crónicos (Larsen y Hauschild, 2007).

La ecotoxicidad promedio como $HC50_{EC50}$ se considera el método de evaluación más robusto para la valoración de la huella de agua y su análisis comparativo, tomando en cuenta las recomendaciones realizadas por diversos autores para utilizar factores estandarizados al evaluar efectos (Larsen y Hauschild, 2007 y 2007a; Payet, 2004; Payet y Jolliet, 2004; Pennington *et al*., 2004 y 2006).

Los resultados de la EICV deben ser ajustados con el índice de estrés hídrico adaptado a México (WSI_{MEX}, por sus siglas en inglés) con el objetivo de integrar a la evaluación la escasez provocada por el proceso analizado. A continuación, se describe la metodología para obtener este indicador adaptado a nuestro país y que puede ser replicado para cualquier parte del mundo.

2.1 Índice de estrés hídrico para México

El grado de estrés es un indicador porcentual de la presión a la que se encuentra sometido el recurso hídrico y es comúnmente definido como el cociente entre el volumen total de agua concesionada y la renovable. El porcentaje que representa el agua utilizada para usos consuntivos respecto a la renovable es un indicador del grado de presión que se ejerce sobre el recurso hídrico en un país, cuenca o región. Se considera que si el porcentaje es mayor a 40% la presión es fuerte (CONAGUA, 2010).

La disponibilidad de agua global se puede medir con el modelo WaterGap2, con el cual es posible monitorear aguas superficiales y subterráneas, con la posibilidad de simular diferentes escenarios, involucrando el cambio climático (Alcamo *et al*., 2003). Este modelo es útil en especial para comparar cuencas a nivel global; utiliza una base de datos climáticos y de precipitación promedio del periodo (1961-1990) para desarrollar mapas mundiales que muestran diferentes grados de estrés en más de 10 mil cuencas; sin embargo, es preferible utilizar bases de datos actualizadas si están disponibles. En el caso de México, la precipitación promedio del periodo 1961-1990 programada en el WaterGap2 es de 357 km^3/año, mientras que la base de datos actualizada del intervalo 1971-2000 es de 329 km^3/año (CONAGUA, 2010).

La cuantificación del grado de estrés hídrico (WTA, por sus siglas en inglés) de una cuenca i donde diferentes usuarios j (industria, agricultura y habitantes) extraen agua, se realiza a partir de la disponibilidad anual de agua (WA_i) y de las extracciones realizadas por los diferentes usuarios (WU_{ij}) respectivamente para cada cuenca i:

$$WTA_i = \frac{\sum_j WU_{ij}}{WA_i} \tag{4}$$

El método de Pfister (Pfister *et al*., 2009) utiliza los mapas del WaterGap2 para generar una nueva categoría de impacto de *privación de agua*, que se usa como un indicador de estrés hídrico (WSI, por sus siglas en inglés); en ella se acopla el valor del grado de presión hídrica de acuerdo con la variación de la precipitación durante el año, obteniendo un valor de WTA*:

$$WTA^* = \sqrt{VF} \times WTA \tag{5}$$

donde:

VF = se deriva de la desviación estándar de la distribución pluvial (aproximadamente 3.24).

Dado que la presión hídrica no es lineal con respecto a WTA*, se realiza un ajuste al valor de WSI a una función logarítmica que proporciona valores continuos entre 0.01 y 1:

$$WSI = \frac{1}{1 + e^{-6.4 \cdot WTA^*} \left(\frac{1}{0.01} - 1 \right)} \tag{6}$$

La curva resultante otorga un valor a WSI de 0.5 para una presión hídrica de 40%, que es el umbral entre el estrés hídrico moderado y fuerte (ver figura 1).

De esta manera, se obtienen factores de caracterización que representan la escasez de agua. Los volúmenes del líquido consumidos pueden ser multiplicados por estos factores para obtener resultados caracterizados y, después, pueden ser sumados como una categoría intermedia de impacto en la escasez del agua.

México experimenta un grado de presión de 17.4%, lo cual se considera moderado; sin embargo, las zonas centro, norte y noroeste del país presentan uno fuerte. Puesto que la gestión del agua en la nación se realiza a través de 13 regiones hidrológico-administrativas (RHA), se propone evaluar el WSI adaptado a México ($\mathrm{WSI}_{\mathrm{MEX}}$) utilizando los valores actualizados de presión hídrica que reporta la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) para cada región (CONAGUA, 2010) y no utilizar los mapas del WaterGAP2 que establece el método de Pfister. En el cuadro 1 se proporcionan los valores del WTA, el WTA^* y el $\mathrm{WSI}_{\mathrm{MEX}}$ adaptados al país del método de Pfister.

2.2 Cálculo de la huella de agua: ecotoxicidad acuática crónica y escasez

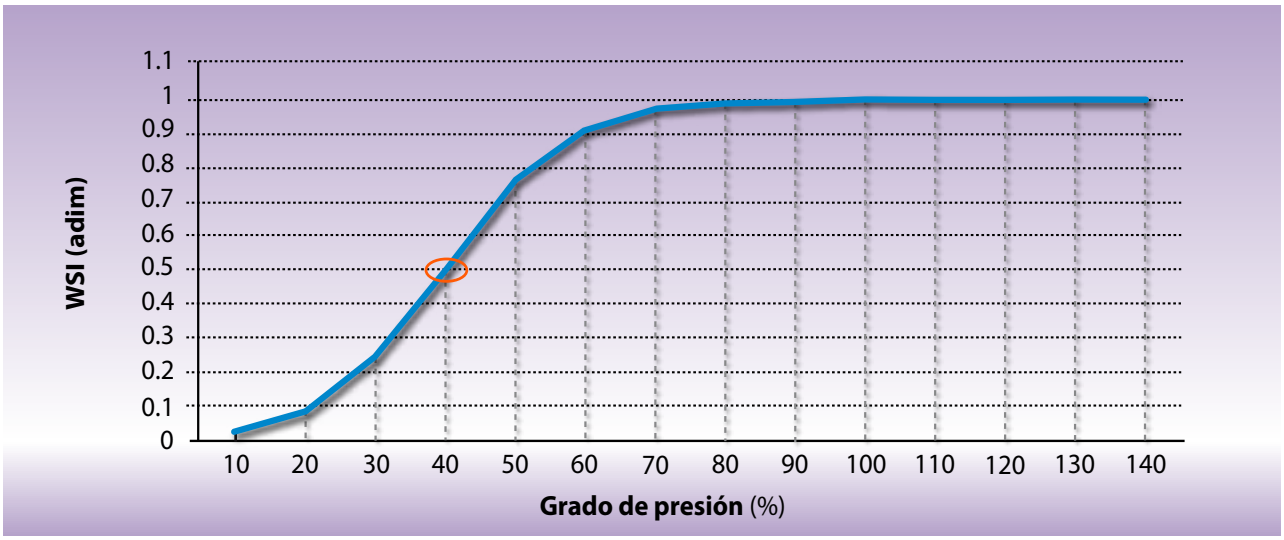
La evaluación de riesgo ambiental se realiza a menudo en un contexto legislativo con el fin de asegurar que no existe ningún riesgo inaceptable para el medioambiente. Las mediciones tradicionales en las categorías de impacto de eutrofización y la acidificación no son suficientes para la evaluación de los riesgos ambientales. Para la evaluación de la huella de agua, se ha establecido la categoría de impacto de ecotoxicidad acuática crónica del agua dulce como la adecuada para reportar los impactos asociados al vital líquido, debido a que es la categoría de impacto que se utiliza en estudios de nivel superior de riesgo ambiental.

Hay dos diferentes enfoques para evaluar la ecotoxicidad acuática: a) la concentración prevista sin efectos (PNEC), que demanda gran cantidad de datos con alto porcentaje de error (EC, 2003) y b) la fracción de especies potencialmente afectadas (PAF) mejor aceptada en las evaluaciones de riesgo de nivel superior (Larsen y Hauschild, 2007a).

La ecotoxicología acuática es el estudio de la relación dosis o concentración/efecto de tóxicos liberados

Figura 1

Relación entre el grado de presión hídrico (WTA) y el índice de estrés hídrico (WSI)



Nota: el factor de caracterización de 0.5 se asigna a un grado de presión de 40 por ciento.
Fuente: elaboración propia con base en Pfister *et al.*, 2009.

Cuadro 1

Valores del índice de estrés hídrico (WSI) modificados para las 13 RHA de México

Región hidrológico-administrativa (RHA)	Grado de presión hídrica[a] (WTA) (%)	WTA* [b] (adim) $WTA^*=\sqrt{VF \cdot WTA}$	WSI_{MEX} [c]
I Península de Baja California	75.9	1.36576	0.98441
II Noroeste	91.4	1.64558	0.99737
III Pacífico Norte	40.7	0.73322	0.52434
IV Balsas	49.4	0.88863	0.74877
V Pacífico Sur	4.1	0.07415	0.01598
VI Río Bravo	77.4	1.39241	0.98683
VII Cuencas Centrales del Norte	48.6	0.87511	0.73216
VIII Lerma-Santiago-Pacífico	41.5	0.74624	0.54508
IX Golfo Norte	18.6	0.33452	0.07913
X Golfo Centro	5.2	0.09307	0.01800
XI Frontera Sur	1.4	0.02499	0.01171
XII Península de Yucatán	8.0	0.14378	0.02472
XIII Aguas del Valle de México	132.3	2.38190	0.99998
Total	**17.4**	**0.31251**	**0.06946**

a CONAGUA, 2010.
b Pfister *et al.*, 2009.
c Elaboración propia.

sobre ecosistemas acuáticos. Las sustancias incluidas bajo esta categoría son aquellas que pueden dañar a los organismos acuáticos. Se considera que tiene un nivel agudo cuando una sustancia provoca efectos nocivos en los organismos acuáticos tras una exposición de corta duración, y es crónica cuando la sustancia ocasiona efectos nocivos en los organismos durante exposiciones determinadas en relación con el ciclo de vida del organismo (Hauschild y Wenzel, 1998).

Para calcular la huella de agua en términos de ecotoxicidad acuática crónica del agua dulce, se sustituyen los factores de caracterización obtenidos en la ecuación 2, en la 1:

$$\text{Impacto}_{\text{ecotox agua dulce}} = \sum_i \sum_x FC_{x,i}^{\text{ecotox agua dulce}} * m_{x,i} \qquad (7)$$

donde:

$\text{Impacto}_{\text{ecotox agua dulce}}$ = impacto provocado por el uso del agua en términos de ecotoxicidad acuática crónica del agua dulce reportada como la fracción de especies potencialmente afectada por unidad funcional [PAF • m^3/unidad funcional]. La suma es válida para las sustancias y los compartimentos de las emisiones.

$FC_{x,i}^{\text{ecotox agua dulce}}$ = factor de caracterización de la sustancia x, liberada para el compartimiento i (agua, aire, suelo); es reportado como fracción de especies potencialmente afectadas por metro cúbico en un día y por unidad de masa del compuesto emitido [PAF • m^3 día • $kg_{emitido}^{-1}$].

$m_{x,i}$ = masa de la emisión x para el compartimento i en kilogramos por día.

Posteriormente, los impactos en ecotoxicidad acuática crónica obtenidos con la ecuación 7 y el índice de estrés hídrico (WSI_{MEX}) logrado con la ecuación 6 se integran como se muestra en la ecuación 8:

$$\text{Huella de agua} \equiv \sum_{n=1} (\text{Impacto}_{\text{ecotox agua dulce},i} \bullet WSI_{MEX,i}) \quad 8)$$

donde:

$\text{Impacto}_{\text{ecotox agua dulce}}$ = [PAF • m^3/unidad funcional] es el impacto de la ecotoxicidad acuática crónica del agua dulce.

WSI_{MEX} = [adimensional] es el índice de estrés hídrico adaptado a México que proporciona el impacto a la escasez provocado por el uso del agua.

Huella de agua = [m^3 de agua impactada/unidad funcional] es el impacto provocado por el uso del agua que integra las categorías de ecotoxicidad acuática crónica del agua dulce y la escasez.

Las unidades propuestas de *volumen de agua impactada* están pensadas para favorecer la comunicación en audiencias no técnicas facilitando, así, la toma de decisiones en las esferas gubernamentales y empresariales. Un valor elevado representa un mayor impacto. Se recomienda que la huella de agua se reporte siempre junto con el volumen total del vital líquido utilizado en el mismo proceso para poder comparar el volumen de agua consumido contra los impactos provocados por su uso.

3. Estudio de caso

El agua de uso público-urbano se define como el líquido de abastecimiento público e incluye la totalidad del elemento entregado a través de las redes de agua potable, las cuales abastecen a los usuarios domésticos (domicilios), así como a las diversas industrias y servicios conectados a dichas redes.

El tipo de fuente predominante del agua de uso público-urbano es la subterránea con 62% del volumen (CONAGUA, 2010) que, además, representa mejores características que la superficial tanto en calidad como en cantidad, que la hace más atractiva para el consumo humano, siendo en regiones áridas y semiáridas la única fuente de agua potable disponible; sin embargo, en muchas ocasiones, se considera como recurso no renovable al ser su extracción mayor a la que puede infiltrarse al acuífero.

Puesto que México carece de una base de datos sobre la construcción y uso del sistema de abastecimiento de agua potable, esta investigación utiliza la de Ecoinvent (Ecoinvent V.2, 2011) que proporciona promedios europeos; incluye construcción de la red de distribución, la infraestructura para almacenarla, las estaciones de bombeo y el tratamiento de 30% del agua residual, que coincide con el promedio nacional de tratamiento de agua en México (CONAGUA, 2010), el resto de ésta se vierte en cuerpos de agua superficial contaminándolos y disminuyendo la disponibilidad de agua local. También, la base de datos Ecoinvent considera que la mitad del agua distribuida en las redes de agua potable no requiere de ningún tratamiento previo específico, y la otra parte se evalúa con un promedio de tecnologías de potabilización con floculación, filtros, oxidación y carbón activado.

3.1 ICV de la huella de agua de uso público-urbano

La unidad funcional para construir el inventario de ciclo de vida se define como el volumen de agua utilizado (en metros cúbicos) por cada persona durante un año en una determinada región hidrológico-administrativa.

En la primera etapa de extracción de materias primas y la construcción de la red, el ICV se formó con datos sobre la infraestructura hidráulica de los trabajos de Crettaz *et al*. (1998). Se tomaron algunos promedios mundiales para el transporte de materiales y el uso de energía para la construcción de la red y disposición de desechos, utilizando como base la mezcla de electricidad mexicana. Los datos relacionados con la energía empleada durante las labores de construcción y uso de redes de agua son de los inventarios proporcionados por Doka (2003). No se toman en cuenta impactos ocasionados por

la ocupación del suelo, y las tuberías son consideradas subterráneas en su mayoría. El tiempo de vida media de la infraestructura se normalizó a 70 años y se toma una eficiencia de la red de 95 por ciento. Esta eficiencia implica que 95% del agua distribuida llega a su destino y el resto se pierde en fugas. Aunque este dato se aleja de la realidad, la investigación se apega a la norma mexicana NOM-011-CONAGUA-2000 (2002), donde se establece que todo cálculo y evaluación en los sistemas de distribución de agua potable en México deben hacerse con base en una eficiencia de 95 por ciento.

En cuanto al tratamiento del agua, se utiliza la base de datos proporcionada por Crettaz *et al*. (1998) y Ebersperger (Ebersperger, 1995); 30% del agua residual se trata y se desechan los lodos —la otra parte va directamente a efluentes sin tratamiento alguno—; se considera que el total de los químicos utilizados en este proceso se emite a los ríos debido a que estas sustancias rara vez son removidas en la planta de tratamiento de aguas residuales. El ICV de volúmenes de agua se muestra por región hidrológico-administrativa en el cuadro 2.

3.2 EICV de la huella de agua de uso público-urbano

En México, esta acción se realiza de acuerdo con la RHA utilizando la categoría de impacto de ecotoxicidad acuática crónica del método USEtox y el *software* Simapro 7.3; se usan las bases de datos de *tap water* y emisiones al agua de Ecoinvent (Ecoinvent V.2, 2011) asociadas al método.

Posteriormente, el impacto en ecotoxicidad se integra con el de escasez empleando el WSI_{MEX} como factor de caracterización. De esta manera, se obtiene la huella de agua de uso público-urbano con unidades de [metros cúbicos de agua impactada por habitante al año]. Después, es necesario ajustar el valor obtenido con el porcentaje de cobertura a la población para ser consistentes con la unidad funcional. Los resultados de la huella de agua por RHA se muestran en el cuadro 3.

La huella de agua de uso público-urbano refleja la reducción en disponibilidad de agua dulce al medir los impactos ambientales provocados por la construcción de la red, extracción, su uso y final de vida.

Cuadro 2

ICV del agua de uso público-urbano

Región hidrológico-administrativa (RHA)	Agua superficial (m^3/hab. · año)	Agua subterránea (m^3/hab. · año)	Volumen distribuido total (m^3/hab. · año)	Agua tratada (m^3/hab. · año)	Agua tratada (%)
I Península de Baja California	27.58	61.39	88.97	52.32	73.51
II Noroeste	234.32	144.84	379.16	38.65	12.74
III Pacífico Norte	77.01	84.43	161.44	52.54	40.68
IV Balsas	38.93	55.34	94.27	16.38	21.72
V Pacífico Sur	31.30	49.50	80.80	15.17	23.47
VI Río Bravo	50.55	58.49	109.04	64.64	74.10
VII Cuencas Centrales del Norte	1.92	87.40	89.33	30.60	42.82
VIII Lerma-Santiago-Pacífico	29.27	69.64	98.91	27.32	34.53
IX Golfo Norte	73.94	32.33	106.27	14.72	17.31
X Golfo Centro	49.50	27.87	77.36	10.30	16.64
XI Frontera Sur	49.98	19.66	69.63	12.81	23.00
XII Península de Yucatán	0.00	118.23	118.23	13.70	14.49
XIII Aguas del Valle de México	16.37	82.73	99.10	9.11	11.49
Nacional	**39.45**	**65.08**	**104.53**	**24.62**	**29.44**

Fuente: elaboración propia con datos de CONAGUA, 2010.

Cuadro 3

Evaluación de impacto de la huella de agua de uso público en cada RHA

Región hidrológico-administrativa (RHA)	Ecotoxicidad acuática crónica[a] (PAF · m³/hab. · año)	WSI_{MEX} [a] (adim)	Cobertura de agua potable[b] (%)	Huella de agua[a] ($m^3_{agua\ impactada}$/hab. · año)	Coeficiente de variación (%)
I Península de Baja California	56.208	0.98441	92.9	51.404	10.66
II Noroeste	239.539	0.99737	94.8	226.485	4.01
III Pacífico Norte	101.992	0.52434	89	47.596	3.97
IV Balsas	59.556	0.74877	84.4	37.637	3.47
V Pacífico Sur	67.137	0.01598	73.5	0.788	4.14
VI Río Bravo	51.047	0.98683	96.1	48.410	5.15
VII Cuencas Centrales del Norte	68.889	0.73216	93.3	47.058	4.96
VIII Lerma-Santiago-Pacífico	56.433	0.54508	93.4	28.730	3.13
IX Golfo Norte	62.487	0.07913	80.9	4.000	4.40
X Golfo Centro	48.877	0.01800	77.2	0.679	4.03
XI Frontera Sur	43.993	0.01171	74.4	0.383	3.90
XII Península de Yucatán	74.696	0.02472	94.1	1.738	4.92
XIII Aguas del Valle de México	62.610	0.99998	96.5	60.417	3.51
Nacional	**66.042**	**0.06946**	**90.7**	**4.161**	**3.02**

a Elaboración propia.
b CONAGUA, 2010.

3.3 Resultados de la huella de agua de uso público-urbano

En promedio, cada habitante de México induce a una huella de agua anual de 4.16 m^3 de agua impactada por el uso del recurso en sus actividades diarias (domésticas); sin embargo, este dato es engañoso, pues en realidad ocho de las 13 RHA sobrepasan este promedio de manera importante. Es preciso analizar cada RHA individualmente para poder identificar de forma localizada su problemática y darle solución.

En el cuadro 4 se muestra un resumen de la clasificación del grado de estrés hídrico, la población y el agua renovable media en el país (CONAGUA, 2010), así como la huella de agua evaluada en este trabajo de investigación. Al transformar estos valores en porcentajes se observa que 72.7% de la población vive en zonas de fuerte estrés hídrico, donde se encuentra 25.6% del agua renovable y es responsable de 98.6% de la huella de agua de México, lo cual repercute de manera importante en la disponibilidad del recurso.

En la figura 2 se presenta gráficamente la desproporción que existe entre la concentración de población, la disponibilidad del agua renovable media y los impactos ocasionados por su uso (huella de agua); por ejemplo, se observa que en la RHA XIII, 19.8% de los habitantes deben cubrir sus necesidades con 0.76% del agua renovable de México y son responsables de 10.9% de la huella de agua del país.

Por otro lado, en la RHA II se localiza sólo 2.5% de la población, donde ésta es responsable de 40.8% de la huella de agua de México; lo anterior se debe a que se distribuyen, en promedio, 379 m^3/hab. • año cuando la media nacional es de 104 m^3/hab. • año. En esta región se tiene baja disponibilidad relativa del recurso hídrico: escasa precipitación (445 mm)

Cuadro 4

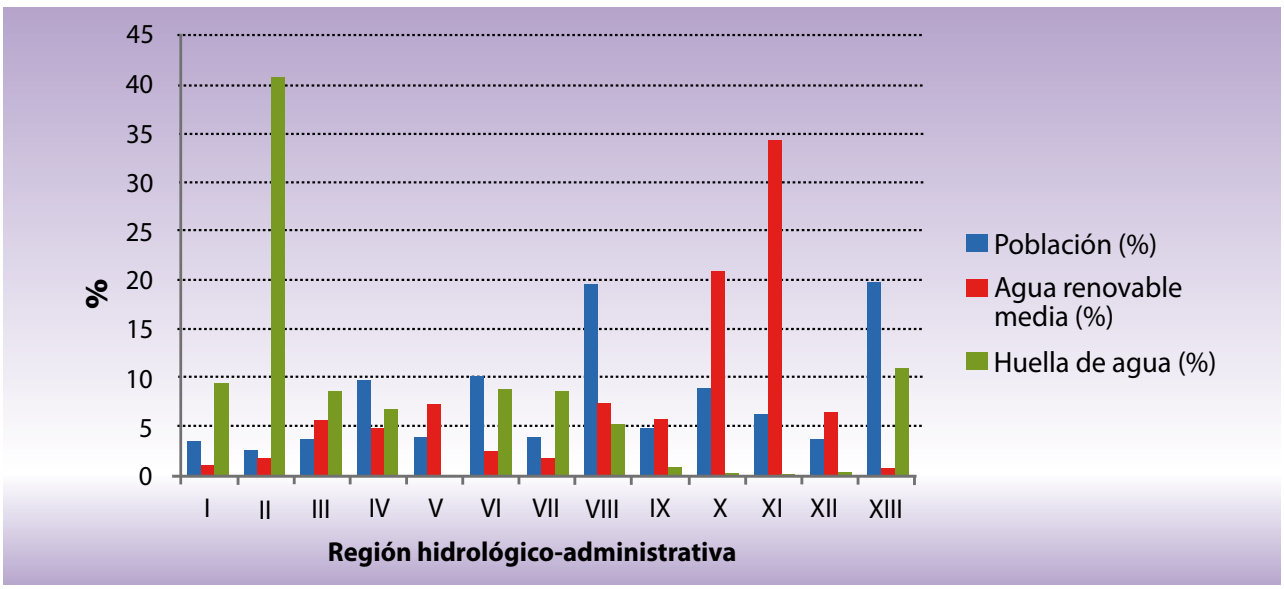
Grado de presión, población, agua renovable media y huella de agua por RHA

Región hidrológico-administrativa (RHA)	Grado de presión hídrica[a] (WTA)	Población[a] diciembre del 2008		Agua renovable media[a]		Huella de agua[b]	
	Clasificación	Habitantes	(%)	(hm^3/año)	(%)	($m^3_{agua\ impactada}$/ hab. · año)	(%)
I Península de Baja California	Fuerte	3 681 032	3.44	4 626	1.01	51.404	9.26
II Noroeste	Fuerte	2 594 182	2.42	8 323	1.81	226.485	40.78
III Pacífico Norte	Fuerte	3 960 006	3.70	25 627	5.58	47.596	8.57
IV Balsas	Fuerte	10 581 511	9.88	21 680	4.72	37.637	6.78
V Pacífico Sur	Escasa	4 122 518	3.85	32 794	7.14	0.788	0.14
VI Río Bravo	Fuerte	10 844 542	10.12	11 937	2.60	48.410	8.72
VII Cuencas Centrales del Norte	Fuerte	4 154 483	3.88	7 884	1.72	47.058	8.47
VIII Lerma-Santiago-Pacífico	Fuerte	20 802 160	19.42	34 160	7.44	28.730	5.17
IX Golfo Norte	Moderada	4 955 427	4.63	25 543	5.56	4.000	0.72
X Golfo Centro	Escasa	9 616 781	8.98	95 866	20.87	0.679	0.12
XI Frontera Sur	Escasa	6 561 406	6.13	157 754	34.34	0.383	0.07
XII Península de Yucatán	Escasa	3 983 652	3.72	29 645	6.45	1.738	0.31
XIII Aguas del Valle de México	Muy fuerte	21 258 911	19.85	3 514	0.76	60.417	10.88
Total	**Moderada**	**107 116 608**	**100**	**459 351**	**100**	**4.161**	**100**

a CONAGUA, 2010.
b Elaboración propia.

Figura 2

Distribución de la población, disponibilidad media y huella de agua per cápita por RHA



Fuente: elaboración propia con base en CONAGUA, 2010.

y poco escurrimiento (5 074 hm^3/año) asociados a fenómenos naturales como las sequías recurrentes y a la demanda de agua, que han rebasado la oferta y el volumen de aprovechamiento de los usuarios. La disponibilidad adecuada de agua para estas áreas requiere de altas inversiones de infraestructura o modificaciones del recurso del uso agrícola al urbano, lo que genera conflictos entre sectores.

4. Conclusiones

Aunque el agua puede ser considerada como un recurso renovable cuando se controla cuidadosamente su extracción, uso, tratamiento y disposición, lo cierto es que la disponibilidad de agua dulce no contaminada está disminuyendo de manera constante. En muchas partes del mundo, su demanda ya excede el abastecimiento y, a medida que aumenta la población mundial, también lo hace el requerimiento del vital líquido. La metodología propuesta permite evaluar el uso del recurso en todas las etapas de su ciclo de vida con la ventaja de poder detectar en qué parte de la cadena de valor existe un mayor consumo e impactos al agua, dando la posibilidad de aplicar medidas de prevención, más que de control, para reducir la huella y evitar los impactos. Esto permite resguardar la disponibilidad de agua dulce a largo plazo.

La distribución irregular del agua en México ocasiona diversos conflictos, desde inundaciones hasta sequías, obligando a los municipios, empresas y personas a ser más conscientes en su uso; en los últimos años se ha expresado la necesidad de contar con mayor información para poder hacer un aprovechamiento sostenible del recurso. En este sentido, es responsabilidad de la Academia diseñar y desarrollar las herramientas necesarias para que quienes toman decisiones dispongan de mayor información que les permita elegir y promover los productos que representen la mejor opción para la sostenibilidad global.

Para estas figuras, es difícil leer reportes completos y complejos para identificar aquellas opciones ambientales que mejor pueden servir al desarrollo, al bienestar humano y a los objetivos de la sostenibilidad. La huella de agua reportada en una sola métrica, que integra los impactos en ecotoxicidad acuática y escasez, facilita la toma de decisiones que, en términos ambientales, rara vez tienen soluciones lineales. La presente propuesta tiene la fortaleza de que una huella con un valor mayor se traduce como impactos más grandes, siendo preferible una huella menor. Esta metodología garantiza un indicador que permite una clara comunicación de la huella de agua a niveles gubernamental, empresarial y académico pudiendo, incluso, ser utilizada en ecoetiquetas para reportar la huella de agua de productos, procesos y servicios. Cuando se reportan volúmenes de agua, esto no es posible.

Por último, la metodología propuesta es compatible con la norma de estandarización ISO/DIS 14046 Análisis de ciclo de vida-Huella de agua-Requisitos y directrices, la cual deja abierta la posibilidad de reportar la huella de agua como un ACV completo, como una sola categoría de impacto (intermedia o de daño) o, incluso, como un indicador de disponibilidad, siempre y cuando la huella sea reportada en términos de impacto ambiental.

Referencias

Alcamo, J.; P. Doll; T. Heinrichs; F. Kaspar; B. Lehner; T. Rosch; S. Siebert. "Development and testing of the WaterGAP 2 global model of water use and availability", en: *Hydrolog. Sci. J.* 2003, 48, 317-337.

Allan, J. A. "Virtual water: a strategic resource, global solutions to regional deficits", en: *Ground Water*. 1998, 36, 545-546.

CONAGUA. *Estadísticas del agua en México*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2010. Consultado en: www.conagua.gob.mx

Crettaz, P.; O. Jolliet; J. Cuanillon; S. Orlando. *Analyse du cycle de l'eau et recuperation de l'eau pluviale*. Lausanne, CH, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne-Laboratoire de Gestion des Ecosystémes (GECOS)-Groupe du Développement Durable, 1998.

Doka, G. *Life Cycle Inventories of Waste Treatment Services*. Final report Ecoinvent 2000 No. 13. Dübendorf, CH, EMPA St. Gallen, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, 2003. Consultado en: www.ecoinvent.ch

EC. "Environmental Risk Assessment", Chapter 3 (Part II), in: *Technical Guidance Document on Risk Assessment in support of Commission Directive 93/67/EEC on Risk Assessment for New Notified Substances, Commission Regulation (EC)*. No. 1488/94 on Risk Assessment for Existing Substances

and Directive 98/8/EC of the European Parliament and the Council concerning the placing of biocidal products on the market. Institute for Health and Consumer Protection. European Commission. Ispra, Italy, ECB, JRC, 2003.

Ebersperger, R. *Methodik zur Ermittlung der energieoptimierten Nutzungsdauer von Produkten*. Ph. D. thesis. TU München, München, DE, 1995.

Ecoinvent V.2. Swiss Centre of Life Cycle Inventories. 2011. Consultado en: www.ecoinvent.org/database/

Hauschild, M.; H. Wenzel. *Environmental Assessment of Products*. Volume 2 (scientific background) Chapman and Hall, 1998. Disponible en: www.tempo.ipl.dtu.dk/users/mic/Projects.htm#EDIP2003

Hauschild, M. Z.; O. Jolliet; M. A. Huijbregts. "A bright future for addressing chemical emissions in life cycle assessment", in: *J. Int J Life Cycle Assess*. 2011. DOI 10.1007/s11367-011-0320-8.

Henderson, A. D.; M. Z. Hauschild; D. De Meent; M. A. Huijbregts; H. Larsen; M. Margni; T. McKone; J. Payet; R. K. Rosenbaum; O. Jolliet. "USEtox fate and ecotoxicity factors for comparative assessment of toxic emissions in life cycle analysis: sensitivity to key chemical properties", in: *Int J Life Cycle Assess*. 2011. 16:701-709. DOI 10.1007/s11367-011-0294-6.

Hoekstra, A. Y. "Virtual water trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade", in: *Value of Water Research Report Series No.12*. 12-13 December 2002, Delft, The Netherlands, UNESCO-IHE. Consultado en: www.waterfootprint.org/Reports/Report12.pdf, 2003.

Hoekstra, A. Y. y A. K. Chapagain. Water footprints of nations. Volume 1 main report UNESCO-IHE, Delft, The Netherlands. Research report series #16. Consultado en: www.waterfootprint.org/?page=files/Publications. 2004

Hoekstra, A. Y.; A. K. Chapagain; M. M. Aldaya and M. M. Mekonnen. *The water footprint assessment manual: Setting the global standard*. London, UK, Earthscan, 2011.

ISO 14044. International Standard. *Environmental management-Life cycle assessment. Requirements and guidelines*. Geneva, Switzerland, International Organization for Standardization, 2006.

ISO/DIS 14046. *International Standard under development. Life Cycle assessment-Water footprint-Requirements and guidelines*. 2012. Consultado en: www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_tc_browse.htm?commid=54808&development=on, january 2013.

ISO/CD14067. *International Standard under development. Greenhouse gas management and related activities. Carbon footprints of products Requirements and guidelines for quantification and communication*. 2011. Consultado en: www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_tc_browse.htm?commid=54808&development=on, 14 October 2011.

Larsen, H. F. and M. Hauschild. "GM-troph: A low data demand ecotoxicity effect indicator for use in LCIA". In: *Int J LCA*. 2007. 12(2) 79-91.

_____ "Evaluation of Ecotoxicity Effect Indicators for Use *in LCIA*", in: Int J LCA. 2007a. 12(1) 24-33 (Erratum for p. 32 in: Int J LCA 12(2) 92).

NOM-011-CONAGUA-2000. Norma oficial mexicana *NOM-011-CONAGUA-2000. Conservación del recurso agua, que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales*. México. SEMARNAT, 2002. Disponible en: www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/Normas%20Oficiales%20Mexicanas%20vigentes/NOM-011-CONAGUA.pdf, consultado en septiembre del 2010.

PAS 2050: 2011. *Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services*. BSI 2011. ISBN 978 0 580 71382 8.

Payet, J. *Assessing toxic impacts on aquatic ecosystems in life cycle assessment (LCA). Dissertation*. Lausanne, Switzerland, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL). Also see *Int J Life Cycle Assess*. 2004. 10(5):373.

Payet, J., O. Jolliet. "Comparative assessment of the toxic impact of metals on aquatic ecosystems: the AMI method", in: Dubreuil, A. (ed). *Life Cycle Assessment of metals: issues and research directions*. Pensacola, SETAC Press, 2004, pp. 188-191.

Pennington, D. W.; J. Payet; M. Z. Hauschild. *Aquatic ecotoxicological indicators in life-cycle assessment*. Environ. Toxicol. Chem., 2004. 23(7):1796-1807.

Pennington, D. W.; M. Margni; J. Payet; O. Jolliet. *Risk and regulatory hazard-based toxicological effect indicators in Life-Cycle Assessment (LCA)*. Hum. Ecol. Risk Assess., 2006. 12(3):450-475.

Pfister, S.; A. Koehler; S. Hellweg. *Assessing the environmental impacts of freshwater consumption in LCA*. Environ. Sci. Technol., 2009. 43, 4098-4104.

Rees, W. E. "Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out", in: *Environ. Urban*. 1992; 4(2):121-130.

_____ "Revisiting carrying capacity: area-based indicators of sustainability", in: *Population and Environment*. 1996; 17 (3), 195-215.

Rees, W. E. and M. Wackernagel. "Ecological footprints and appropriated carrying capacity: measuring the natural capital requirements of the human economy", in: Jansson, A. M.; M. Hammer; R. Folke; Costanza (eds.). *Investing in Natural Capital: The Ecological Economics Approach to Sustainability*. Washington, DC, Island Press, 1994, pp. 362-390.

_____"Urban ecological footprints: why cities cannot be sustainable- and why they are a key to sustainability", in: *Environmental Impact Assess.* Review. 1996; 16, 223-248.

Rosenbaum, R.; M. Margni; O. Jolliet. "A flexible matrix algebra framework for the multimedia multipathway modeling of emission to impacts", in: *Environ Int*. 2007; 33(5):624-634.

Schnoor, J. L. *LCA and Environmental Intelligence?* Environ. Sci. Technol, 2009. 43, 2997.

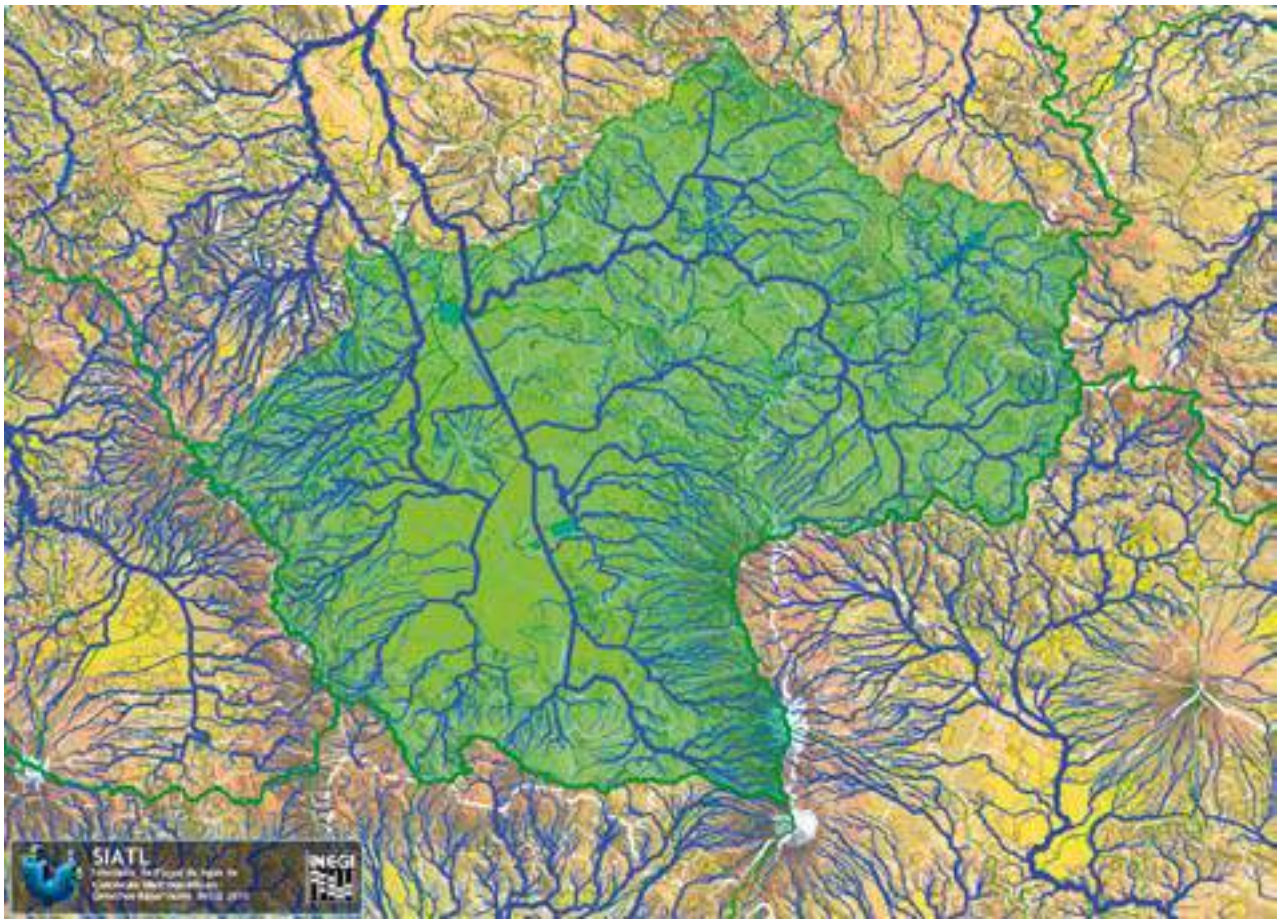
Usetox Development Team. *USEtox User manual. Report version*: *1.01*. 2010. Consultado en: http://redigering.sitecore.dtu.dk/Sites/usetox/howtoget/downloadmodel.aspx, 12 October 2011.

Wackernagel, M.; W. Rees. *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth*. Gabriola Island, BC, Canada, New Society Publishers, 1996.

_____ "Perceptual and structural barriers to investing in natural capital: economics from an ecological footprint perspective", in: *Ecological Economics*. 1997; 20, 3-24.

Integración de un sistema de cuentas económicas e hídricas **en la Cuenca del Valle de México**

Lilia Rodríguez Tapia y Jorge Armando Morales Novelo



Las cuentas del agua son una herramienta relativamente nueva para organizar la información relacionada con el recurso hídrico, ideal para abordar su investigación desde un enfoque multidisciplinario y diseñar políticas para su gestión integral. También, constituye la base estadística para estudios desde la perspectiva de la economía del agua, ya que describe la demanda y oferta del recurso hídrico en un esquema de relaciones intersectoriales. Este artículo presenta los primeros resultados obtenidos a partir de la construcción de las cuentas del agua en la Cuenca del Valle de México (CVM) para el 2008, consiste en dos indicadores híbridos que monitorean la eficiencia del uso del agua por actividad económica. El marco conceptual de la contabilidad de este recurso se basa en el Sistema de Contabilidad Económica y Ambiental del Agua (SEEAW, por sus siglas en inglés) elaborado por la División Estadística de las Naciones Unidas. En la Cuenca del Valle de México, dos terceras partes del agua utilizada provienen de pozos sobreexplotados y muestra claramente un uso no sustentable de sus recursos hídricos. El valor bruto de la producción del sector que suministra agua en la CVM registra una participación muy pobre en el valor bruto total de la producción en la cuenca (0.01%), al mismo tiempo que enfrenta una presión extrema para garantizar el suministro que demanda el crecimiento económico y el bienestar de la población.

Palabras clave: cuentas del agua, gestión integral del agua, cuentas híbridas, modelo insumo producto regional.

Water accounts are a relatively new tool to organize information related to water resources. It is ideal to lead a water research from a multidisciplinary approach and to design policies for an integrated water management. It also provides the statistical basis for studies from the perspective of the economics of water, as it describes the demand and supply of water resources in a context of inter-sectorial relations. This article presents the first results obtained from the construction of water accounts in the Basin of Mexico (CVM for its acronym in Spanish) in 2008; it is made up of two hybrid indicators that monitor the efficiency of water use by industry. The conceptual framework for water accounting is based on the System of Environmental and Economic Accounting for Water (SEEAW) prepared by the Statistics Division of the United Nations. In the Basin of Mexico, two thirds of the water that is used comes from overexploited wells, it clearly shows an unsustainable use of its water resources. The total gross value of production in the industry that supplies water to the CVM registers a very poor participation in the total gross value of production in the whole basin (0.01%), while it faces extreme pressure to guarantee the supply that both economic growth and population's welfare demand.

Key words: integrated water resources management, water accounts, hybrid accounts, input-output regional model.

Introducción

La Cuenca del Valle de México (CVM) es la que registra mayor sobreexplotación en sus recursos hídricos en México, se ubica entre las de mayor estrés en el mundo, respondiendo a la elevada carga que implica abastecer una población de más de 20 millones de habitantes y una actividad económica que produce una cuarta parte del valor bruto de la producción (VBP) del país.

En la CVM, además de la presión que implica la demanda del recurso hídrico por las actividades domésticas y económicas, se enfrenta a problemas de contaminación, pérdida y degradación de los ecosistemas de agua dulce, así como a un bajo nivel de tratamiento (reciclamiento) del agua residual. Una quinta parte del suministro del vital líquido a esta región es importada de cuencas aledañas, y no existe posibilidad de incrementos en el corto plazo, por el contrario, se vislumbran eventuales conflictos por el recurso. En particular, los aumentos que se han registrado en su abastecimiento sólo pueden producirse a costa de una mayor sobreexplotación de los acuíferos, de los cuales se extrae a una profundidad promedio de 400 m (hace 10 años era

de 200 m), y ya se están realizando exploraciones para llegar a niveles más profundos (2 000 m).

La dotación limitada de los recursos hídricos frente a la dimensión de la estructura económica representa una importante restricción al crecimiento de algunas actividades productivas, y afecta el bienestar de la población involucrada, en particular de los grupos más vulnerables.

Los usuarios del agua (como las empresas y la población), informados por el gobierno y con señales claras del grado de escasez, pueden en principio entender que ésta se debe manejar en forma eficiente para garantizar el acceso a todos los habitantes, dando prioridad a los sectores que la utilizan con elevada productividad, y si preocupan las futuras generaciones, se debe pretender un uso sustentable del recurso para garantizar su suministro en el largo plazo.

Usar en forma racional y eficiente los recursos hídricos es también inquietud de diversas regiones de México y del mundo, y más para las que enfrentan graves restricciones en su dotación. En este sentido, instituciones internacionales preocupadas por la ineficiencia en el manejo de los recursos hídricos han recomendado a los gobiernos y a los organismos encargados del suministro del recurso avanzar hacia una gestión integral de los recursos hídricos (GIRH), por ejemplo: el IV Foro Mundial del Agua (2006) celebrado en México, el Global Water Partnership (2004), el World Summit on Sustainable Development (2002) y las conferencias sobre cambio climático (COP) realizadas anualmente en el contexto del acuerdo Marco de la Conferencia de las Naciones Unidas, entre otras instancias.

La GIRH concibe al agua como una parte integral del ecosistema, un recurso natural y un bien económico y social, cuya cantidad y calidad determina la naturaleza de su utilización. Esta perspectiva se basa en el hecho de que el agua es necesaria para todos los aspectos de la vida, es un insumo material indispensable para las actividades de producción y de consumo, funciona como depósito natural para los desechos materiales, hábitat para muchos seres vivos (parágrafo 18.8, *Agenda 21*, Naciones Unidas, 1992). La actual forma de gestión del agua en la CVM (como en diversas cuencas de México y del mundo) dista mucho de lo que sería una GIRH, aunque no hay duda de la importancia de orientar la gestión hacia dicha meta considerando la gravedad de la situación de hoy en día.

La investigación desarrollada sigue dos recomendaciones del enfoque GIRH en la CVM. La primera consiste en adoptar como unidad de análisis y de gestión del agua a la cuenca, que implica definir con claridad los límites de esta región para la captación y el suministro del recurso; constituye la medida más adecuada para realizar una gestión integral del agua, captura de manera natural las aguas subterráneas y superficiales que el ciclo hidrológico reproduce anualmente y conforman lo que se conceptualiza como *disponibilidad natural* del recurso hídrico que define la magnitud de la oferta para su uso sustentable en una región determinada (*Agenda 21*, Naciones Unidas, 1992; European Parliament and Council, 2000).

La segunda recomendación radica en construir las cuentas del agua para la cuenca investigada, información necesaria para aplicar conceptos y políticas a partir de la economía del agua. La metodología aplicada para su elaboración se basa en el Sistema de Contabilidad Económica y Ambiental para el Agua (UNDSD/SEEAW, 2007), el cual proporciona el marco conceptual para organizar datos económicos e hidrológicos de un modo coherente y sistemático; dicha plataforma analítica se basa en el marco conceptual del Sistema de Contabilidad Nacional de 1993 (SNA, 1993), que es el estándar para compilar las estadísticas nacionales e indicadores económicos. Este sistema contable del agua está en proceso de adaptación por parte de los países miembros de la ONU, como parte de la Contabilidad Ambiental y Económica Integrada 2003. Al día de hoy, son pocas las naciones que la han aplicado, hay experiencias en Holanda (Van der Veeren *et al*., 2004), Australia (Australian Bureau of Statistics, 2004) y

Suecia (Statistics Sweeden, 1999), y varios países se encuentran en proceso de elaboración de las mismas.

El artículo presenta los avances de la aplicación de la contabilidad del agua en la CVM para el 2008 y se analizan dos indicadores híbridos que miden los diferentes grados de eficiencia en el uso del vital líquido por las actividades económicas. Los indicadores aportan información que permite guiar el proceso hacia una estrategia de gestión integral del uso del agua.

Este documento se integra con cuatro secciones: la primera consiste en un resumen metodológico, la segunda describe características hídricas y económicas de la CVM, la tercera muestra los resultados de la integración del sistema de cuentas económicas e hídricas en la CVM y la cuarta presenta las conclusiones.

1. Resumen metodológico

Las cuentas del agua de la CVM se han elaborado siguiendo los lineamientos del Sistema de Contabilidad Económica y Ambiental para el Agua (SEEAW, por sus siglas en inglés, 2007). La metodología consiste en el proceso de sistematización y acoplamiento de información de la estructura económica de la CVM con la de su sistema hídrico, de tal forma que se puedan relacionar para construir indicadores híbridos (relacionan el espacio monetario con el sistema real). El marco conceptual de SEEAW se complementa con un conjunto de cuadros estándar orientados hacia información hidrológica y económica.

1.1 Información del sistema económico

Para la elaboración de los cuadros que reflejan el comportamiento del sistema económico de la Cuenca del Valle de México, se construyó la matriz insumo-producto 2008 (MIP-CVM-2008) de la región. Para ello, se procesó información con el fin de cuantificar sus principales flujos económicos a nivel de cuenca hidrológica, ya que el sistema de contabilidad nacional no registra esa cobertura.

En una primera etapa se construyó la matriz insumo-producto de la cuenca para el 2003 (MIP-CVM-2003) con base en la tabla de coeficientes técnicos de la última matriz nacional publicada (la matriz insumo-producto 2003) e información económica de la región obtenida de los Censos Económicos, registros administrativos y encuestas próximas al 2003, entre otras estadísticas. La matriz se fundamenta en el marco conceptual básico del sistema de contabilidad nacional de 1993.

En una segunda fase se actualizó la matriz MIP-CVM-2003 al 2008; se aplicó el método RAS (técnica de ajuste biproporcional que equilibra matrices mediante la multiplicación iterativa de filas y columnas de una matriz inicial, cuya solución final se caracteriza por soluciones no negativas) y se incorporó información del 2008 para la región, organizada en forma consistente con la contabilidad nacional. El resultado final del proceso fue, precisamente, la MIP-CVM-2008.

Por último, en la tercera etapa, la matriz del 2008 se expandió para ubicar en un solo sector la actividad *Captación y suministro de agua*. Aunque se intentó realizar el mismo proceso para el sector que ofrece el servicio de drenaje, esto no fue posible debido a la falta de información.

1.2 Información del sistema hídrico

Las cuentas del agua objeto de la investigación se centran en la relación del agua como insumo material para las actividades de producción y de consumo, la información reportada se expresa en unidades físicas (m^3 de agua). El sistema hídrico de la CVM lo constituyen los flujos del recurso para abastecer las necesidades de su población y de sus actividades económicas durante un año, esos flujos se organizan por origen y destino de manera similar a los flujos monetarios de la actividad denominada *Captación y suministro de agua*, y a los pagos del recurso por el consumo

privado y de gobierno, e importaciones, en forma similar a la matriz MIP-CVM-2008.

La mayoría de la información se obtuvo de diversas estadísticas de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2009) y del Registro Público de Derechos del Agua (REPDA), así como de información del Modelo Hídrico de la UAM (UAM, 2010) que sistematiza información para la CVM. Esta fase del proceso enfrentó fuertes limitaciones para contar con información a mayor detalle.

Finalmente, las cuentas híbridas se elaboran a partir de relacionar magnitudes económicas contabilizadas en unidades monetarias (MIP-CVM-2008) con información hídrica en términos de volúmenes de agua, cuidando que existiera correspondencia conceptual entre ambas (uso y suministro del agua en la cuenca para el mismo año).

2. La Cuenca del Valle de México

De forma convencional, se acepta que la cuenca es la unidad más adecuada para realizar una gestión integral del agua; sin embargo, la delimitación geográfica que implica la definición de la cuenca no coincide con las áreas político-administrativas que constituyen la base de la organización de los datos socioeconómicos; por ello, se adopta un criterio de definición de la región objeto de estudio que se denomina *área contable de captación*, y que se basa en la delimitación político-administrativa.

La delimitación de la CVM bajo el criterio político-administrativo considera 85 municipios completos que comprenden una superficie total de 9 738 km^2 ubicados en tres entidades federativas: México, Hidalgo y Tlaxcala, incluyendo las 16 delegaciones del Distrito Federal (ver figura 1). Esta

Figura 1

Municipios de la Cuenca del Valle de México

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2010a.

composición muestra que adoptar medidas o políticas a nivel de la cuenca requiere de la participación de competencias de los diferentes órdenes de gobierno (municipal, estatal y federal).

La CVM, como unidad de captación de agua de lluvia, comprende una superficie total de 9 698 km^2 (CONAGUA, 2009) y se encuentra formada por siete subcuencas; su naturaleza topográfica la define como una configuración endorreica, ingrediente adicional que complica el espectro de la cuenca, cóncava en su forma y rodeada de una cadena montañosa sin salidas naturales.[1] Además, su perfil sociodemográfico la sitúa entre los primeros cuatro asentamientos humanos más grandes del mundo y el primero de México, con 20 589 212 habitantes, de acuerdo con los datos del Censo de Población y Vivienda 2010 (INEGI, 2010).

En la figura 2, el trazo de color oscuro define los límites geográficos (9 698 km^2, CONAGUA, 2009) que significan 40 km^2 menos respecto a la superficie definida con criterios político-administrativos de la CVM. La diferencia entre ambas superficies es mínima (0.04%), lo cual no altera los resultados al adoptar la definición de carácter político-administrativo como área contable de captación, con las consecuencias favorables en la contabilidad de las cuentas del agua.

El sistema de recursos hídricos se configura con el conjunto de ríos, lagos, embalses artificiales y agua subterránea ubicados en la región. El origen de esa configuración es la lluvia y los flujos de agua

1 El drenaje del agua pluvial y residual afuera de la CVM ha sido durante casi dos siglos (inició con la construcción del Tajo de Nochistongo en el siglo XVIII) a través de grandes obras de infraestructura.

Figura 2

Cuenca del Valle de México y subcuencas

Fuente: CONAGUA, 2009.

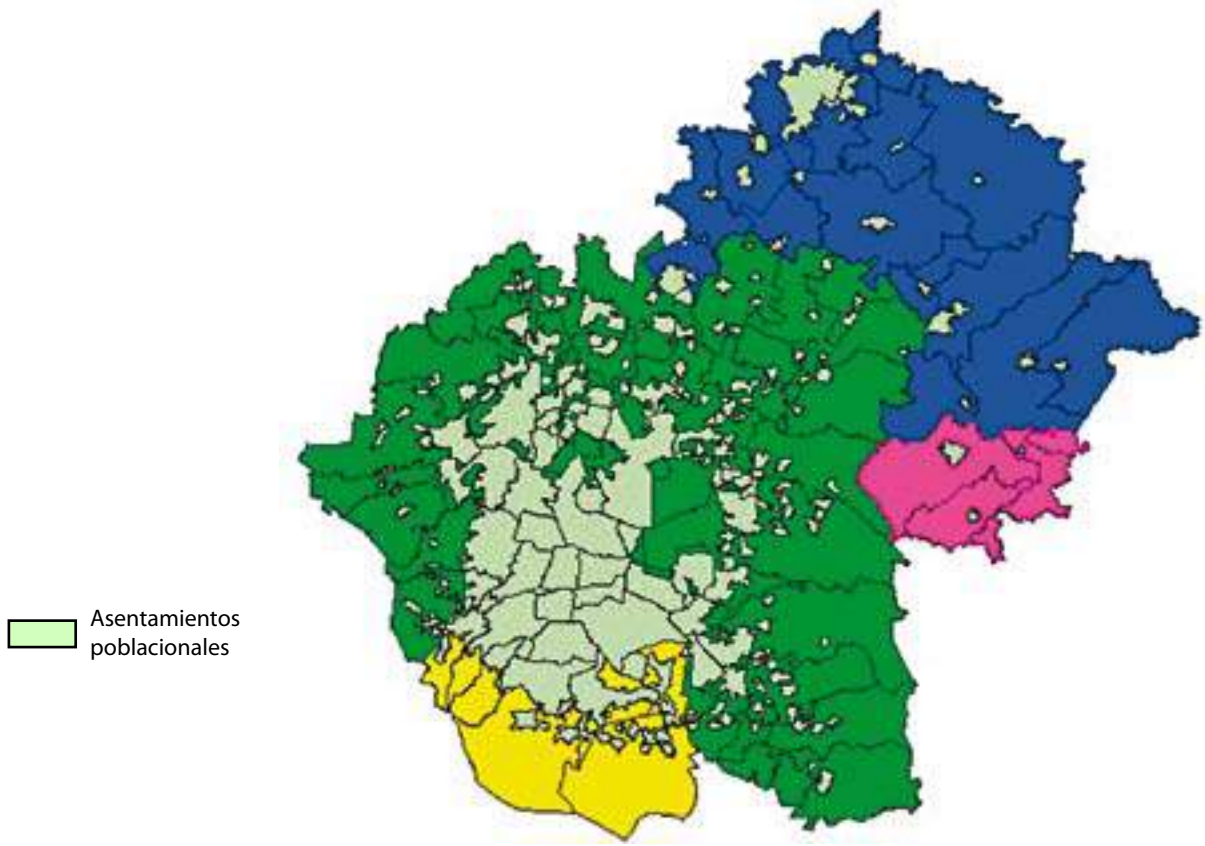
provenientes de otros territorios y/o de otras fuentes dentro de la misma región. Los principales flujos que reducen las reservas de agua en forma natural son la evapotranspiración y los recursos hídricos destinados a otras regiones. Las actividades humanas aumentan o disminuyen los acervos del vital líquido ya sea por extracción, o bien, por retornos.

Las empresas y los organismos operadores extraen el agua del medio natural para canalizarla hacia actividades productivas y de consumo (uso consuntivo) o también se aprovecha directamente, sin necesidad de removerla, como es el caso de las hidroeléctricas (uso no consuntivo) que desarrollan su producción *in situ*. Después de su utilización, las empresas y los hogares regresan el agua al medioambiente con una calidad inferior a la original, bajo la forma de agua residual, que finalmente retorna a los cuerpos de agua continentales y al mar.

Los asentamientos poblacionales dentro de la CVM se ubican de forma mayoritaria en un área de 7 854 km^2 (CONAGUA, 2009) conocida comúnmente como Zona Metropolitana del Valle de México, que concentra 97% de la población de la cuenca (ver figura 3). La mencionada Zona Metropolitana se integra por el Distrito Federal (DF) con 8 851 080 habitantes, municipios del estado de México que explican 11 168 301 (INEGI, 2010b) e incluye marginalmente población de Hidalgo. En la misma figura 3 aparecen otros centros de población urbanos importantes, como Pachuca de Soto (las zonas de color verde seco de menor tamaño y distribuidas de forma dispersa en la cuenca corresponden a municipios aislados). Esta gran área, Zona Metropolitana del Valle de México, determina que el perfil de la cuenca sea urbano, con una población rural de menor peso en esta demarcación.

Figura 3

Distribución de la población en la Cuenca del Valle de México



Fuente: elaboración propia a partir de datos del INEGI (2010b).

La población en la cuenca ha crecido en la última década a una tasa promedio anual inferior a un punto porcentual (0.94%), lo que refleja un descenso en su velocidad de crecimiento respecto a la década de los 90 del siglo pasado, cuando se registró un ritmo anual de 1.64% y ha tendido a estabilizarse en los años siguientes. Hidalgo es el único estado que ha aumentado su ritmo de crecimiento poblacional en la cuenca: de 2.61% promedio anual en la década de los 90, aumentó a otro de 3.06%, entre el 2000 y 2010. En cuanto a la densidad de población, la cuenca registra la más alta del país en vista de que concentran 2 114 habitantes en 1 kilómetro cuadrado.

3. Integración de las cuentas económicas e hídricas en la Cuenca del Valle de México

El sistema de cuentas ambientales y económicas para el agua define el marco bajo el cual se organiza la información hídrica, de tal forma que se explicita la interacción entre economía y medioambiente. Se basa en la construcción de un sistema de contabilidad económica, el cual se expande para identificar en forma precisa datos relacionados con el agua y se relacionan después con los del recurso en términos físicos para la elaboración de las cuentas híbridas.

Éstas se denominan así porque se obtienen de la combinación de diferentes unidades de medida, presentan información monetaria y magnitudes físicas que permiten derivar indicadores consistentes para evaluar impactos en los recursos hídricos ante cambios económicos.

3.1 Sistema de cuentas económicas de la CVM

El resultado de la organización de la información que integra en forma consistente las cuentas económicas de la CVM se resume en la MIP-CVM-2008, base de información que describe la estructura económica de la cuenca y relaciona cada actividad económica con las demás, con los agregados económicos de la región y con el resto de la economía mexicana. La MIP-CVM-2008 registra 80 actividades económicas que incluye la de *Captación y suministro de agua*, la cual registra los valores monetarios de la actividad hídrica en la cuenca.

En el cuadro 1 se presenta una versión resumida de la matriz ampliada, destaca *Captación y suministro de agua*; como un vector columna revela el proceso de producción del recurso, y como un vector fila destaca el destino de su producción hacia sus diversos usos tanto los de consumo intermedio como los de uso final.

Cuadro 1 Continúa

Matriz simétrica total de insumo-producto de la Cuenca del Valle de México

(miles de pesos a precios básicos, 2008)

Actividad económica	Agricultura y minería	Electricidad y suministro de gas	Captación y suministro de agua	Construcción	Industrias manufactureras	Comercio	Transporte, correo y almacenamiento	Servicios	Demanda intermedia	Demanda final	Valor de la producción
Agricultura y minería	6 023 001	279 804	12	4 478 656	147 246 623	0	6 623	750 473	158 785 190	-81 170 392	77 614 798
Electricidad y suministro de gas	260 498	1 281 822	232 362	312 025	6 826 433	6 921 478	1 481 283	23 371 108	40 687 009	-24 543 037	16 143 973

Cuadro 1 Concluye

Matriz simétrica total de insumo-producto de la Cuenca del Valle de México

(miles de pesos a precios básicos, 2008)

Actividad económica	Agricultura y minería	Electricidad y suministro de gas	Captación y suministro de agua	Construcción	Industrias manufactureras	Comercio	Transporte, correo y almacenamiento	Servicios	Demanda intermedia	Demanda final	Valor de la producción
Captación y suministro de agua	39 699	2 102	12 662	300 163	1 267 524	18 075	922 572	3 423 606	5 986 404	-2 441 416	**3 544 988**
Construcción	97 264	37 811	15 790	24 949 369	1 640 558	228 571	860 616	5 163 521	32 993 502	347 669 025	380 662 527
Industrias manufactureras	8 949 592	3 422 867	203 668	66 408 687	140 389 535	30 159 796	48 575 764	91 402 690	389 512 599	587 716 895	977 229 494
Comercio	4 749 532	1 601 735	104 066	30 364 872	72 348 241	12 837 219	19 133 900	30 821 077	171 960 642	563 063 061	735 023 703
Transporte, correo y almacenamiento	1 996 764	714 217	55 904	10 055 287	26 123 488	6 150 928	20 291 621	28 462 849	93 851 059	331 045 294	424 896 353
Servicios	6 657 624	1 218 509	346 527	29 408 564	73 103 414	101 639 465	51 545 880	353 088 265	617 008 247	1 853 296 909	2 470 305 156
Insumos de origen nacional	28 773 975	8 558 866	970 992	166 277 623	468 945 816	157 955 531	142 818 260	536 483 589	1 510 784 652	3 574 636 340	**5 085 420 992**
Insumos importados	5 481 174	1 621 519	75 078	26 732 203	185 400 218	30 143 818	37 138 204	78 504 319	365 096 533		
Impuestos netos	288 971	169 494	-4 480	1 337 272	2 837 644	261 931	7 340 441	2 014 785	14 246 059		
Valor agregado bruto	43 070 679	5 794 093	2 503 397	186 315 429	320 045 816	546 662 423	237 599 448	1 853 302 463	3 195 293 748		
Valor de la producción	77 614 798	16 143 973	**3 544 988**	380 662 527	977 229 494	735 023 703	424 896 353	2 470 305 156	**5 085 420 992**		

Fuente: versión sintética de la MIP-CVM-2008.

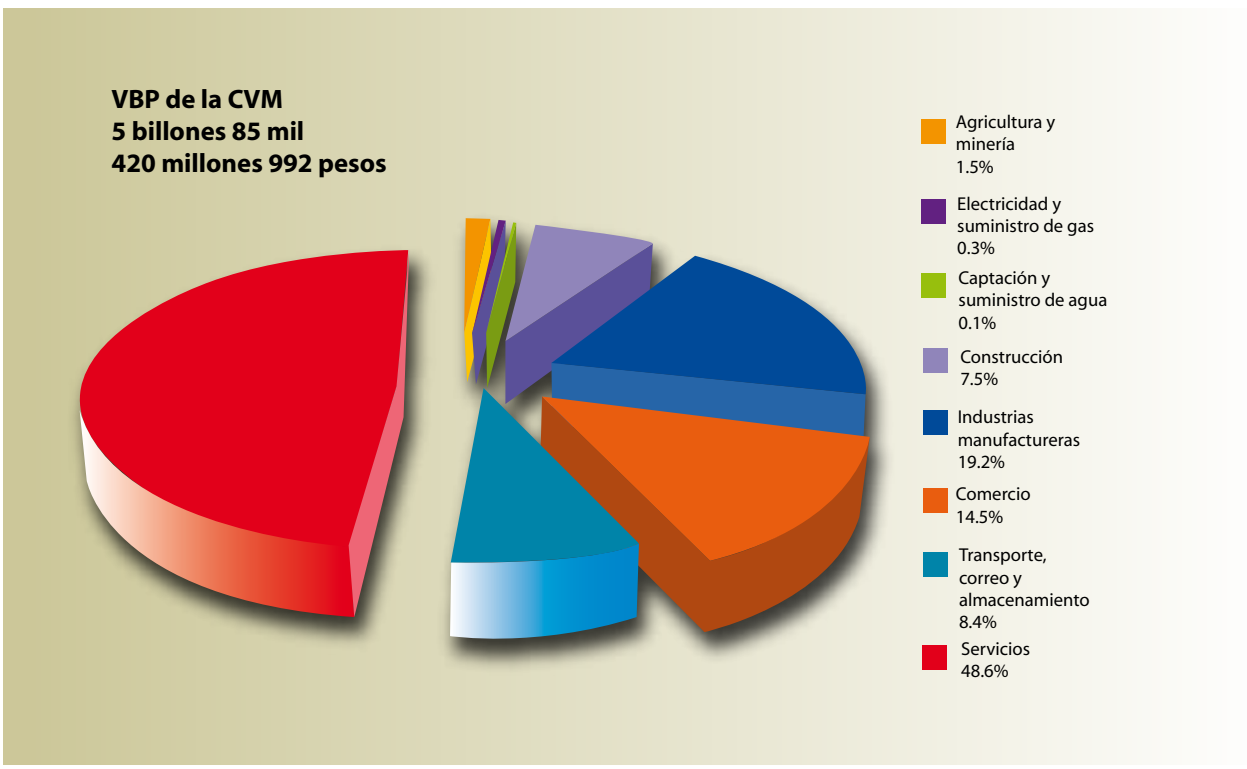
La matriz mide diversos agregados económicos generados en la cuenca que permiten evaluar su importancia económica en el país (en pesos del 2008). El valor de la producción generada en la cuenca es de 5 billones 85 mil 420 millones 992 mil pesos, y constituye la cuarta parte de la producción del país, mostrando la importancia de la actividad económica de la región en el crecimiento económico de México.

En la CVM son tres sectores los que explican la dinámica de la producción de la economía regional; de acuerdo con la matriz y la gráfica 1, la mitad del valor lo explican los *Servicios* (48.6%), en segundo lugar le siguen *Industrias manufactureras* con alrededor de una quinta parte de la producción (19.2%) y en tercero se sitúa *Comercio* con 14.5 por ciento. Esta configuración refleja la preponderancia de las actividades de servicios —sobre todo, es notable el desempeño de los denominados servicios al productor— y comerciales, describiendo una tendencia a desplazar cada vez más a las de manufacturas y agrícolas en la región. La agrícola y minera sólo explica 1.5% de la producción, lo que confirma el perfil urbano de los asentamientos en la CVM y contrasta con la preponderancia de las actividades urbanas de alto desempeño.

La actividad económica de *Captación y suministro de agua* registra un valor monetario en su producción de 3 mil 544 millones 988 pesos, que representa un porcentaje muy bajo en el valor del producto de la cuenca (una décima de punto); sin embargo, dada la trascendencia del agua como factor de la producción, de su baja participación no se infiere una característica de modesta importancia en el proceso productivo de la cuenca.

Gráfica 1

Estructura de la producción en la Cuenca del Valle de México, 2008
(participación porcentual por actividad)



Fuente: elaboración propia con base en MIP-CVM-2008.

Sucede que el suministro del vital líquido para el consumo humano, y como insumo para las actividades económicas, debe explicarse en términos de su centralidad, de su alcance estratégico como recurso limitado y como factor de la producción sin sustituto. En consecuencia, debe aclararse esta aparente paradoja considerando la relación entre la estructura hídrica y económica de la cuenca.

3.2 Sistema de cuentas hídricas de la CVM

La contabilidad de los activos hídricos es la descripción contable del balance del ciclo hidrológico del agua y la CONAGUA registra dicho balance a nivel de cuenca. En esta delimitación geográfica, estos recursos se contabilizan midiendo las reservas al inicio y al final del periodo contable, por lo general un año, interpretando los cambios observados como flujos del recurso requeridos por la economía o bien, como resultado de procesos naturales.

Los datos agregados del agua en la CVM se obtuvieron, básicamente, de la CONAGUA y corresponden al 2008 (CONAGUA, 2009); obtener mediciones de transacciones del recurso hídrico dentro de la misma cuenca resulta más complicado, y en la investigación se recurrió a la información de la base de datos del modelo hídrico de la CVM (UAM, 2010) y a la aplicación de ajustes dentro de grandes agregados.

En el cuadro 2 se describe cómo la actividad económica desarrollada en la cuenca durante el 2008 necesitó de 2 902.30 hm^3/año para cubrir las exigencias de todos los usos. Las fuentes que abastecieron dicho requerimiento son tres: en primer lugar, agua de la misma CVM que explica casi tres cuartas partes del total (73%); en segundo término, la importada que constituye casi una quinta parte (21%) y, en tercero, la de reuso que aporta alrededor de 6% del suministro total.

Los 2 902 hm^3/año de agua representan un volumen tan grande que abastecerlo resulta muy costoso en términos monetarios y de la capacidad de las fuentes de suministro con que cuenta la CVM. Por un lado, se importa agua de cuencas vecinas que no son superavitarias del recurso y enfrentan restricciones para su propio suministro y, por otro, se extrae de acuíferos en la misma CVM que registran los más elevados niveles de sobreexplotación del país e incluso del mundo. La reutilización ha sido una alternativa poco considerada, aun cuando ésta sea una medida que reduce la presión sobre los recursos de agua de primer uso.

El cuadro 3 muestra que la CVM abastece 2 107.81 hm^3/año de agua de primer uso, 90% se extrae de acuíferos (subterránea) y el restante se explica por agua superficial captada en la misma cuenca.

El límite razonable de uso del agua en una cuenca lo delimita la magnitud conocida como disponibilidad natural media (DNM), y define lo que se interpreta como un manejo sustentable de los recursos hídricos al permitir usar sólo el agua que se renueva cada año a partir del ciclo hidrológico. En

Cuadro 2

Fuentes de suministro de agua para la Cuenca del Valle de México, 2008

Fuentes de suministro	m^3/s	hm^3/año	%
Cuenca del Valle de México	66.84	2 107.81	73
Importación	19.39	611.58	21
Reuso	5.80	182.91	6
Suministro total	**92.03**	**2 902.30**	**100**

Fuente: elaboración propia con datos CONAGUA (2009) y UAM (2010).

Cuadro 3

Fuentes de suministro de agua dulce en la Cuenca del Valle de México, 2008

Fuentes de suministro	m^3/s	hm^3/año	%
Agua superficial de primer uso	6.47	204.01	10
Agua subterránea	603.37	1 903.80	90
Extracción en la Cuenca del Valle de México	**609.84**	**2 107.81**	**100**

Fuente: elaboración propia con datos CONAGUA (2009) y UAM (2010).

el cuadro 4 se registra que la magnitud de agua que constituye la DNM de la cuenca representa 1 404.68 hm^3, volumen que se obtiene de la suma del escurrimiento superficial virgen medio y la recarga subterránea anual, magnitudes que denotan volúmenes de agua que se renuevan cada año y subrayan la condición del vital líquido como un recurso natural renovable.

Estrés hídrico en la CVM

En la CVM se utiliza cada año un volumen de agua dos veces mayor al que garantiza un uso sustentable —la extracción total es de 2 902.30 hm^3 respecto al volumen de 1 404.68 que representa la disponibilidad natural—, que la ubica como una de las regiones de mayor sobreexplotación en sus recursos hídricos.[2] Como se mencionó arriba, el agua importada no alcanza a explicar la diferencia de dichas magnitudes, es la sobreexplotación de los acuíferos de la CVM la que cubre la brecha.

El agua subterránea (acuíferos) es la principal fuente de suministro ante la creciente demanda, a la fecha se extraen 1 903.8 hm^3/año (ver cuadro

2 Aplicando el índice de Falkenmark, la CVM se considera en escasez extrema; esta calificación aplica a las regiones con una disponibilidad natural del agua per cápita anual menor a 1 000 m^3/hab./año, y la CVM registra un valor de 68.2 m^3/hab./año.

Cuadro 4

Disponibilidad natural media del agua dulce en la Cuenca del Valle de México, 2008

Origen	m^3/s	hm^3/año
Escurrimiento superficial virgen medio	16.21	511.23
Recarga subterránea	28.33	893.45
Disponibilidad natural media	**44.54**	**1 404.68**

Fuente: elaboración propia con datos CONAGUA (2009).

Cuadro 5

Sobreexplotación del acuífero de la Cuenca del Valle de México, 2008

Origen	m^3/s	hm^3/año
Recarga natural	28.33	893.45
Extracción de aguas subterráneas	60.37	1 903.80
Sobreexplotación	**32.04**	**1 010.35**

Fuente: elaboración propia con datos CONAGUA (2009) y UAM (2010).

5), que representa 2.1 veces la recarga natural del acuífero. La extracción rebasa en 1 010.35 hm^3/año a la recarga natural y significa una sobreexplotación de los mismos de 113%, que alcanza la calificación de uso predatorio de los recursos hídricos subterráneos en la CVM con importantes impactos colaterales, como la subsidencia de importantes áreas urbanas, además de una disminución en la calidad del agua y el aumento del costo de extracción.

3.3 Cuentas híbridas del sistema integrado

El enorme volumen anual de agua utilizado en la CVM (2 902 hm^3) se explica por varios factores: el tamaño de la economía, su estructura económica, su población y la tecnología manejada. Los tres primeros aspectos han sido abordados en los dos apartados previos, en los cuales se mostró que la dimensión de la economía de la CVM representa la cuarta parte de la del país, que su estructura económica se explica por tres actividades: los servicios, la industria manufacturera y el comercio, señaladas en orden de importancia. La población de la CVM alcanza los 20.5 millones de habitantes, que constituye el mayor asentamiento poblacional del país, su demanda explica el 42.85% del agua total utilizada en la cuenca (cuadro 6).

En este apartado se aborda el papel que juega la tecnología adoptada por las actividades productivas en el uso del agua; las actividades con sistemas eficientes impactan menos la demanda del recurso, sistemas viejos e ineficientes continúan requiriendo mayores volúmenes del recurso. Para el análisis, recurrimos a dos indicadores híbridos estimados a partir de las cuentas del agua, el primero se denomina intensidad en el uso del agua (IUA) y el segundo, índice de productividad del agua (IPA);

Cuadro 6 Continúa

Indicadores híbridos por actividad económica en la Cuenca del Valle de México, 2008

Actividad	(1) Participación en el suministro del agua en la cuenca	(2) Participación en el valor bruto de la producción	(3) Intensidad en el uso del agua IUA (directo)	Índice de productividad del agua (IPA)
	%	%	litros/$ VBP	1 = muy alta 15 = muy baja
Agropecuaria y forestal	5.33	0.05	56.8	15
Ganadería	8.02	0.39	11.1	14
Transporte por agua	1.50	0.36	2.2	13
Asociaciones y organizaciones	2.31	0.77	1.6	12
Hospitales	2.40	1.47	0.9	11
Servicios educativos	5.01	4.05	0.7	10
Servicios profesionales	4.88	5.22	0.5	9
Transporte terrestre	1.81	2.92	0.3	8
Servicios a negocios	1.15	3.43	0.2	4

Cuadro 6 Concluye

Indicadores híbridos por actividad económica en la Cuenca del Valle de México, 2008

Actividad	(1) Participación en el suministro del agua en la cuenca	(2) Participación en el valor bruto de la producción	(3) Intensidad en el uso del agua IUA (directo)	Índice de productividad del agua (IPA)
	%	%	litros/$ VBP	1 = muy alta 15 = muy baja
Industria alimentaria	1.36	4.36	0.2	7
Instituciones crediticias	1.85	6.00	0.2	5
Industria química	0.57	3.53	0.1	6
Edificación	0.72	4.73	0.1	2
Fabricación equipo transporte	0.09	0.85	0.1	3
Comercio	0.16	14.45	0.01	1
Total 80 actividades económicas	**57.13**	**100.00**	**0.3**	
Consumo doméstico	42.87	n.a.	n.a.	
Total consumo intermedio y final	100.00	100.00	0.5	

n.a.: no aplica.
Fuente: elaboración propia con datos de la MIP-CVM-2008 y UAM (2010).

ambos miden el nivel tecnológico que registran las actividades económicas en el uso del recurso hídrico.

Caracterización del nivel tecnológico del uso del agua por las actividades económicas

Una política hídrica para las actividades económicas desarrolladas en la cuenca requiere un diagnóstico de la situación de cada una; los indicadores híbridos permiten medir la contribución de cada actividad económica a la presión sobre los recursos hídricos y sugieren las actividades hacia las que se deben aplicar medidas para lograr un uso más eficiente del recurso.

Información acerca del uso del agua por actividad es necesaria para entender las acciones prioritarias a este nivel. Los perfiles de cada actividad son elaborados para comparar su desempeño económico y ambiental, incluyen indicadores que comparan la carga que impone cada actividad sobre el agua y su correspondiente contribución económica a la cuenca.

En el cuadro 6 se anota que la participación del consumo de los hogares en el suministro total del agua en la cuenca representa dos quintas partes (42.87%), siendo las restantes tres quintas partes (57.13%) explicada por los requerimientos de las actividades productivas que realizan 80 ramas económicas. De éstas se eligieron las 15 que registran mayor carga sobre los recursos hídricos en la cuenca (medida por su participación en el suministro total de agua en la cuenca, columna 1) y que en conjunto explican el uso de 37.16%; para cada una, se muestra su importancia económica en la cuenca (medida por su participación en el valor bruto de la producción de la cuenca, columna 2).

Intensidad en el uso del agua (IUA)

En la columna 3 del cuadro 6 se registra el indicador híbrido IUA por actividad económica y para la economía de la cuenca. El valor del indicador IUA global es de 300 ml (0.3), el cual muestra que producir 1 peso del valor bruto de la producción en la cuenca requiere un tercio de litro de agua.[3] Este IUA global se interpreta como el promedio de gasto de agua de las diferentes tecnologías utilizadas al producir los diversos bienes y servicios en la cuenca, y se adopta como base de comparación con actividades específicas en la misma cuenca y con otras economías (regionales o globales), considerándose como un indicador del nivel tecnológico medio en el uso del agua en la cuenca en el 2008.

En esa perspectiva, en el cuadro 6 se observa que las actividades agroforestales y ganaderas registran un IUA de 56.8 y 11.1 litros, respectivamente, cantidades de agua incorporadas de manera directa a sus respectivos procesos productivos para generar 1 peso de valor de su producción y que las califica como usuarias intensivas del recurso y, por tanto, con bajo desarrollo tecnológico. De acuerdo con la primera y segunda columna del mismo cuadro, ambas constituyen una elevada carga sobre el agua en la cuenca (5.33 y 8.02%, en ese orden), al paso que tienen las más bajas contribuciones en el valor de la producción de la cuenca (menos de medio punto en forma conjunta).

Tanto los servicios hospitalarios como las industrias alimentaria y química requieren menos de un litro (900, 200 y 100 mililitros respectivamente) para producir 1 peso del valor de su producción; estos IUA se ubican arriba del IUA medio, clasificándolos dentro del grupo de tecnologías similares a la mayoría de las actividades de la cuenca. Asimismo, registran una presión moderada sobre el uso de los recursos hídricos (2.4, 1.36, 0.57%, en ese orden) y una participación en el valor de la producción de la cuenca en ningún caso mayor a 4.36 por ciento.

Las actividades comerciales, por su misma naturaleza, constituyen una carga mínima sobre los recursos hídricos (0.16%), sin embargo, producen 14.45% del valor de la producción; su IUA es de 10 ml de agua para producir 1 peso del valor de su producción, que la ubica entre las de menor intensidad, hecho que le confiere ventajas comparativas y ofrece oportunidades para el desarrollo de esta actividad en el contexto de una región con elevada escasez de agua.

Los servicios que prestan las instituciones crediticias muestran, casi obvio, una baja intensidad en el uso del agua, requieren sólo 200 ml para producir 1 peso del valor de su producto, a la vez que significa un porcentaje importante del valor del producto de la cuenca (6%), representando una carga moderada en la demanda de agua (1.85%). Esta actividad se perfila adecuada para desarrollarse en la cuenca, en vista de su alta productividad y baja intensidad en el uso del agua.

A partir de lo anterior, es previsible que un aumento pequeño en actividades ganaderas produzca un elevado impacto sobre la carga hídrica debido a la elevada intensidad en el uso del agua. El mismo incremento en la producción de las comerciales tiene bajo impacto sobre los recursos hídricos por la baja intensidad en el uso del recurso, aspecto que se puede modificar con cambios en la tecnología relacionada con la utilización eficiente del agua.

En general, el comportamiento del indicador IUA sugiere regular las actividades con valores altos, pues implica el empleo de tecnologías ineficientes del agua, y conocer su desempeño resulta de interés en la definición de políticas hídricas orientadas hacia actividades competitivas específicas.

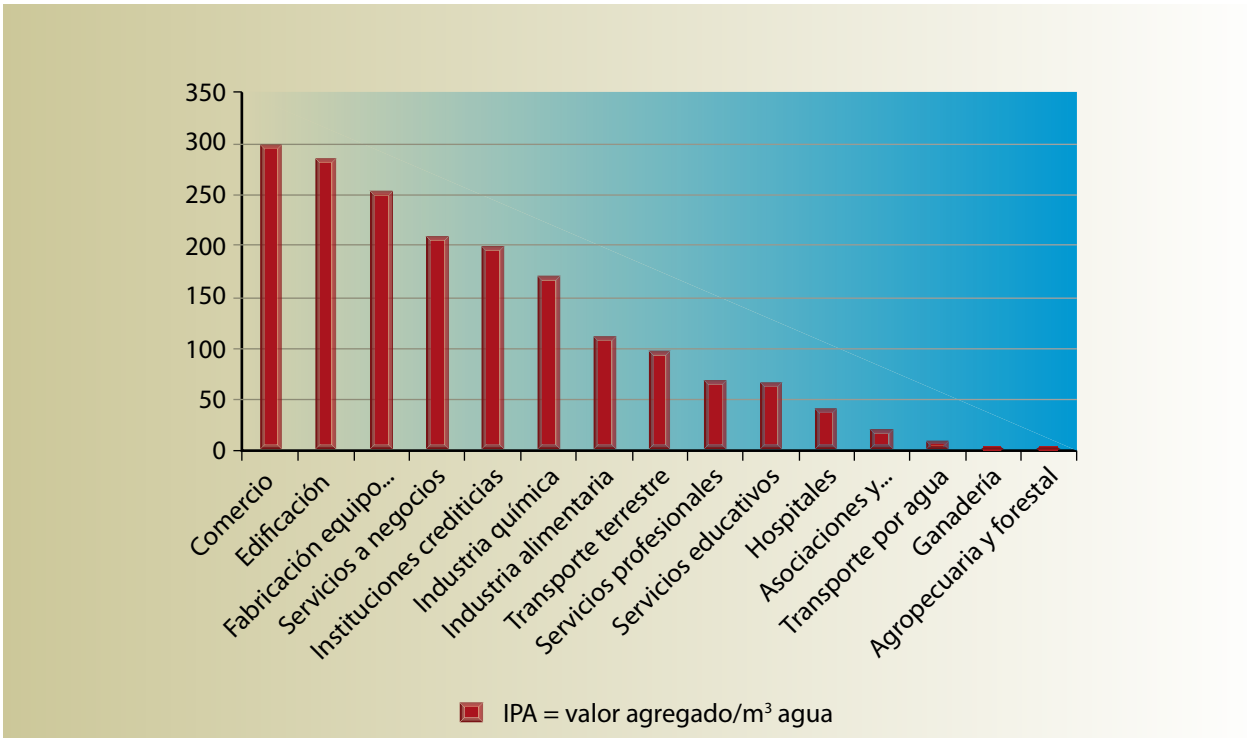
Índice de productividad del agua

Éste se calcula relacionando el valor agregado creado en cada actividad respecto al volumen de agua utilizado directamente como insumo en la misma; se interpreta como la capacidad que tiene

3 Para la región preponderantemente agrícola de Andalucía, España, se estima un valor del mismo indicador de 65 litros para obtener 1 euro del valor de su producto (Velázquez, 2006).

Gráfica 2

Índice de productividad del agua por actividad económica en la Cuenca del Valle de México, 2008



Fuente: elaboración propia con datos de la MIP-CVM-2008 y UAM (2010).

cada actividad económica para crear nuevo valor a partir del uso de 1 m^3 del recurso. La productividad es el indicador más ampliamente utilizado en las cuentas del agua para establecer comparaciones entre sectores, pues ofrece una primera aproximación a las ganancias y pérdidas potenciales de una eventual reasignación del agua entre las mismas.

A partir de los valores absolutos de la productividad del agua en las actividades seleccionadas de la cuenca, se estima un índice con base en el valor más bajo del IPA; los resultados se presentan en la gráfica 2.

En la misma gráfica se observan las diferentes posiciones que ocupan las actividades de acuerdo con el valor de su IPA; las actividades agrupadas como comercio son las que obtienen mayor valor agregado por m^3 de agua utilizada, registra una productividad 300 veces mayor a la de las actividades agropecuarias y forestales que registran la menor productividad en la cuenca. Después de la actividad comercial, las de mayor valor agregado por m^3 de agua utilizada son las de edificación, producción de equipo de transporte y las financieras. Las industrias química y alimentaria, así como el sector que agrupa los servicios, se ubican en una productividad media, y al final aparecen las actividades ganadera, agropecuaria y forestal con un índice de productividad bajo.

El IPA se interpreta también como una aproximación de los beneficios socioeconómicos generados por la utilización del agua en una actividad o industria en particular. La información muestra con claridad los beneficios que se obtienen socialmente al diseñar una política que reasigne el uso del vital líquido hacia las actividades de mayor productividad en un contexto de escasez del recurso; por ejemplo, el agua de las actividades ganadera y agropecuaria podría redirigirse hacia financieras, lo que aumentaría de manera considerable el PIB de la cuenca, además de reducir la presión sobre el recurso hídrico.

Conclusiones

La importancia que la CVM tiene en la producción de la economía de México se ve cuestionada por la fragilidad que registran sus recursos hídricos ante la enorme carga que significa cubrir sus requerimientos; una gestión con mayor eficiencia en el uso del agua es necesaria para disminuir el riesgo de restringir el crecimiento económico por escasez del recurso y evitar que grupos de la población carezcan de agua corriente y de buena calidad.

En la CVM, el nivel de extracción del agua alcanza los 2 902 hm^3/año, 65.6% se extrae de acuíferos que presentan un nivel de sobreexplotación de 113%, mostrando el uso no sustentable de los recursos. Una cuarta parte del suministro se importa y el resto es agua superficial y de reuso. La presión que enfrentan los recursos hídricos en la CVM exige un cambio drástico a la actual gestión del recurso en el que se incentive el manejo eficiente y productivo del agua tanto en las actividades económicas como en el uso doméstico.

Las actividades económicas registran una carga sobre los recursos hídricos de 57.13% del suministro total en la CVM, explicada por su estructura económica y el tipo de tecnología adoptada en sus diversos procesos; por ejemplo, en tanto que la ganadería requiere 8% del suministro total del agua de la cuenca, el comercio sólo necesita 0.16%; además, al interior de cada sector existen empresas o productores con sistemas eficientes en el uso del agua que requieren menos recursos hídricos, así como aquellos que registran sistemas obsoletos e ineficientes que continúan demandando mayores volúmenes del mismo.

Para abordar el problema hídrico desde la perspectiva de la economía del agua en la CVM, se construyó la base de información conocida como cuentas del agua, que integran las cuentas económicas convencionales con la información física del agua, denominada uso y oferta. A partir de dicha base se elaboraron dos indicadores híbridos: el IUA y el IPA, datos analizados para las actividades económicas que registran mayor carga sobre los recursos hídricos en la cuenca.

El indicador para la CVM registra que para producir 1 peso del valor bruto de la producción global se requieren directamente 300 ml de agua. Este índice mide el grado en el que las actividades de la cuenca usan el recurso en promedio, y sugiere el tipo de tecnología del agua utilizada en sus procesos, las actividades de mayor a menor intensidad de acuerdo con el IUA son: agropecuaria y forestal, ganadería, hoteles, servicios educativos, industria alimentaria, industria química, edificación, fabricación equipo transporte y comercio, entre otras de menor intensidad.

El IPA relaciona el valor agregado que producen las diversas actividades respecto a la utilización de 1 m^3 de agua incorporada a sus procesos, las que ordenadas de mayor a menor valor son las siguientes: comercio, edificación, equipo de transporte, hoteles, servicios educativos, industria alimentaria, industria química, edificación, fabricación equipo transporte, agropecuaria y forestal. Desde el punto de vista social, ante la escasez del recurso hídrico, las actividades menos productivas podrían ser incentivadas a reubicarse en regiones de mayor disponibilidad hídrica; y viceversa, alentar el desarrollo de las que usan el agua de forma redituable, como es el caso de las actividades comerciales y financieras que justifican su estancia en la cuenca.

La productividad del agua puede incrementarse (en una industria o actividad específica) introduciendo tecnologías más eficientes en el uso del vital líquido, o bien, cambiando la mezcla de productos de bajo valor agregado a productos de mayor valor. También, se pueden reubicar industrias de alta intensidad en el uso del agua por industrias de baja intensidad. La utilización de cuentas híbridas en modelos económicos permite un análisis de *trade-off* entre alternativas de políticas hídricas y estrategias económicas.

Para la CVM, un mensaje fundamental se desprende de los resultados obtenidos; no puede lograrse un crecimiento económico sustentable si

su economía se basa en actividades intensivas en el uso del agua. Modificar dicha situación requiere introducir medidas regulatorias que incentiven la reducción en el empleo del agua en actividades como pecuaria, forestal, ganadera o la agrícola, por citar algunas; sin embargo, esto no significa, en sentido estricto, que dichas actividades no se puedan realizar en la cuenca, más bien, indica que las de mayor valor agregado y menor intensidad en la utilización del agua deben ser tomadas en consideración cuando se diseñan políticas de desarrollo, acompañadas por incentivos para aumentar la eficiencia en el uso del agua y su conservación.

En otras palabras, el crecimiento económico de la región se debe apoyar en actividades que generan más valor agregado y menos uso intensivo del agua, como es el caso del comercio y las actividades financieras. Esto significa que se debe desincentivar a las empresas usuarias intensivas de agua para inducirlas a su relocalización fuera de la cuenca.

Referencias

Australian Bureau of Statistics. *4610.0-Water Account, Australia 2009-10.* Consultado el 17/09/2012 en: http:/www.abs.gov.au/ausstats/ABS@.nsf/mf/4610.0

CONAGUA. *Estadísticas del agua de la región hidrológico-administrativa XIII, aguas del Valle de México. Edición 2009*. México, SEMARNAT, 2009.

_____*Estadísticas del agua en México. Edición 2010*. México, SEMARNAT, 2010.

_____*Informe Final del IV Foro Mundial del Agua*. México, 2006.

"Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy", en: *Official Journal L 327*. 22/12/2000, pp. 0001-0073. Consultado el 10 de octubre de 2012 en: http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32000L0060:en:HTML

Global Water Partnership. "Integrated Water Resources Management", en: *TECH Background paper 4*. Stockholm, GWP, 2004.

INEGI. *XII Censo General de Población y Vivienda 2000*. México, INEGI, 2000. Consultado el 5 de noviembre de 2011 en: http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv1990/default.aspx

_____*Sistema de Cuentas Nacionales de México*: *MIP 2003*. México, INEGI, 2003. Consultado el 23 de noviembre de 2011 en: http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/scn/default.aspx

_____*Censo de Población y Vivienda 2010*. México, INEGI, 2010a. Consultado el 8 de enero de 2011 en: http://www.inegi.org.mx/sistemas/consulta_resultados/ageb_urb2010.aspx?c=28111&s=est

_____*Censo de Población y Vivienda 2010*. México, INEGI, 2010b. Consultado el 12 de noviembre de 2011 en: http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2010/Default.aspx

Miller E., Ronald and Peter Blair D. *Input-Output Analysis, Foundations and Extensions*. Second edition. Cambridge University Press, 2009.

Naciones Unidas. *Agenda 21*. 1992. Consultado el 12/03/2012 en: http://www2.medioambiente.gov.ar/acuerdos/convenciones/rio92/Default.htm

ONU. "Status Report on the Application of Integrated Approaches to Water Resources Management", en: *UN-Water Report*, 2012.

Statistics Sweden. *Water Accounts 2000 with disaggregation to sea basins*. Stockholm, Statistics Sweden, 2003.

UAM. *Matriz insumo-producto de la Cuenca del Valle de México (MIP-CVM-2008)*. Proyecto multidisciplinario: acuerdos del Rector 08/2009. México, UAM, 2010.

_____*Modelación de los sistemas hídrico y económico de la Cuenca del Valle de México. Políticas públicas para una gestión sustentable del agua*. Proyecto multidisciplinario: acuerdos del Rector 08/2009. México, UAM, 2010.

United Nations Statistics Division (UNSD). *System of Environmental-Economic Accounting for Water (SEEAW)*. Final Draft. New York, USA, UNSD, Statistical Commission (UNSD), 2007.

United Nations Sustainable Development. *Agenda 21*, New York, USA, 1998. Consultado el 15 de marzo de 2011 en: www.un.org/esa/dsd/agenda21/

Van der Veerer R., R. Brouwer, S. Schenau, R. van der Stegen. "NAMWA: A new integrated river basin information system", en: *RIZA rapport 2004.032*. Voorburg, Netherlands, Central Bureau of Statistics, 2004.

Velázquez, Esther. "An input-output model of water consumption: Analyzing intersectorial water relationship in Andalucia", en: *Ecological Economics* (56) 226-240, 2006.

Los *NiNis* en México: una aproximación crítica a su medición

Rodrigo Negrete Prieto
y Gerardo Leyva Parra

El término *NiNi* (ni estudia ni trabaja), acuñado para caracterizar a un segmento joven de la población en esa situación, ha circulado con gran éxito en los medios de comunicación y en la opinión pública tanto en México como en otros países. Sin embargo, pese a su atractivo mediático, estamos ante una etiqueta a la que le queda todavía por delante un largo recorrido antes de convertirse en un concepto sólido de donde se desprenda una estadística rigurosa. Esto es así porque el término es más problemático de lo que parece a simple vista. Tomado de forma literal, pareciera sugerir que, más allá del mercado laboral y del proceso de preparación educativa para insertarse en él, no existe otro ámbito de actividad que valiera la pena ser considerado. Esto descartaría la posibilidad de que, al menos en ciertos casos, la no participación en la esfera de la economía del mercado fuese en realidad una decisión optimizadora tomada por los hogares. De manera adicional, el acrónimo conjunta un grupo de edad en diferentes fases del ciclo de vida y por último pareciera suponer que la situación *NiNi* fuese una condición estable o estacionaria. Por todo ello, es que

NEET stands for Not in Employment of Training. (*NiNi* in Spanish.) It is a term coined to describe a situation that many youths are living in. It has been a success amongst media, and public opinion in Mexico as well as other countries. Yet, as fashionable as it is, NEETs has a long way to go in order to become a statistical concept from which sensible data can be drawn. This is so because the term is trickier than it seems at first glance. Literally taken it suggests that besides the labor market or the academic preparation process to participate in it there is no other activity realm worth to take into consideration. It also rules out the possibility that the non participation in the sphere of the market economy may not only result from exclusion but in some cases from optimal decisions taken in the households. Additionally, NEETS puts together people in age groups that are in very different phases of their life cycles and last but not least is also assumed as if it were a quasi permanent condition. For all these reasons, it is worthwhile to make great use of the conceptual apparatus behind

Nota: para realizar este artículo, los autores agradecen la colaboración de Lilia Guadalupe Luna y Benito Durán Romo, así como al equipo que encabeza la Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo (ENOE): Tomás Ramírez, Mario Moreno y Efraín Muñoz.

vale la pena hacer uso en profundidad del aparato conceptual detrás de la Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo (ENOE) —que es el sondeo de la fuerza laboral de México— para tener una mejor comprensión de qué se está abordando y medir de una manera más cauta de cara a una política pública.

Palabras clave: *NiNis*, OIT, ONU, OCDE, población joven, desempleados, disponibilidad y no disponibilidad para trabajar, trabajo doméstico, asistencia escolar, encuestas de ocupación y empleo, bienestar subjetivo, política pública.

ENOE, Mexico´s Labor Force Survey, in order to better understand what we are dealing with, and cautiously gauge its real implications for public policy.

Key words: NEET, ILO, UN, OECD, young population, unemployed, availability, not availability to work, household chores, school attendance, labor force surveys, subjective well being, public policy.

Fotografía: Arturo Jiménez.

Introducción

Acrónimo pegajoso, como pocos, el de los *NiNis* (o jóvenes que ni estudian ni trabajan) es un término que se ha posicionado con éxito notable en la prensa y medios de comunicación. A su vez, los acontecimientos de la *primavera árabe* y los motines de Londres en agosto del 2011 lo han mostrado como un fenómeno global de vastos alcances, mucho más allá de México.

Las primeras declaraciones al respecto lo situaron en alrededor de 7 millones-7.5 millones de jóvenes.[1] Se asume (o se supone) que para la población joven sólo tiene sentido trabajar o estudiar, es decir, estar en la economía de mercado —el ámbito de interacción donde se ofrecen y adquieren servicios laborales— o estar preparándose para ello; de no ser así, tal pareciera que se tratara, en primer término, de recursos humanos desperdiciados.

El dato de 7 millones es casi tan nemotécnico como el acrónimo. En nuestro país (como seguro ocurre en otros), la cifra más grande o acorde con una noción de lo catastrófico es la que normalmente se posiciona y se sitúa más allá de todo abordaje crítico. A esto se suma que para el tipo de discurso que predomina en México —sea en éste u otros temas— lo que importa no es tanto el rigor conceptual sino, más bien, visibilizar un problema; por ello, la cifra de los 7 millones cumple bien con alertar sobre algo real y urgente, pero que dista mucho de tener alguna precisión. Así, una cosa es entender el mérito que tiene el detonar un debate y otra quedarse sólo con aquello que tiene *shock value*, sin pasar a una fase de análisis.

Para que el término pase de una etiqueta orientada a visibilizar un problema a un concepto estadístico que realmente permita medirlo, se debe transitar por un proceso de discusión, comenzando por tener una idea de los puntos problemáticos que supone el hacer una identificación correcta de este segmento poblacional.

La precisión en la forma de construir un dato sólido no es para satisfacer una manía puntillosa; tarde o temprano, una cifra pasa de ser una bandera a la base sobre la cual se calculan montos y presupuestos de programas.[2]

Conforme a estas consideraciones, el presente artículo se divide en cinco secciones: la primera se dedica a la génesis del término y cuál es su situación actual en el contexto de las estadísticas oficiales; la segunda llama la atención sobre los puntos problemáticos en torno a la noción de *NiNi*; la tercera muestra cómo se puede obtener la cifra de 7 millones en la Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo (ENOE), pero con el plus del marco conceptual que dicha encuesta aporta para ir analizando, capa por capa (cual si fuera una cebolla), el agregado de 7 millones y contribuir a una mejor comprensión de lo que amerita ser conservado en la cuenta y aquello a lo que es injustificado seguirle poniendo la etiqueta *NiNi*; la cuarta ilustra, también con datos de la ENOE, lo que representaría una problemática adicional no abordada en la segunda sección y que, formulada a manera de preguntas, sería: ¿cuánto tiempo en estado *NiNi* se necesita para ser considerado como tal?, ¿debe ser ésta una condición estable para ameritar la etiqueta? Por último, el quinto apartado ofrece una visión alternativa sobre la cuantificación de la población joven que merecería una intervención de política pública usando criterios diferenciados

1 Sin duda, la discusión sobre los NiNis la posicionó en México el rector de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), José Narro Robles, en sus declaraciones con motivo de la celebración en México del Día Internacional de la Juventud. Se recoge aquí lo que consignó el periódico El Universal, el 12 de agosto de 2010 bajo el encabezado "Narro pide centrar políticas en jóvenes" del que resalta el siguiente extracto: "El rector de la UNAM calificó de una vergüenza que 7.5 millones de jóvenes mexicanos no estudien ni trabajen porque no hay oportunidades para ellos". La declaración causó, a su vez, una reacción por parte de las secretarías de Educación Pública y Gobernación a la que le sucedió una enérgica contrarréplica del Rector que los medios, desde luego, no dejaron pasar: "Existen siete millones de ninis en México, insiste Narro Robles" (*Milenio*, 23 de agosto de 2010). La nota consigna sus palabras: "Las cifras que quisieron enmendar no son las correctas, desafortunadamente no puedo venirles a decir que cometí un error…"; prosigue la nota: "…con las cifras en la mano [Narro] explicó que la Encuesta Nacional de la Juventud 2005, que es la más reciente, revela que 22 por ciento de los jóvenes de 12 a 29 años no estudia ni trabaja, es decir, poco más de 7 millones de jóvenes".

2 La sensación causada por el término NiNi y la cifra asociada de 7 millones siguen retumbando de forma vigorosa en la prensa nacional; a casi un año de las declaraciones del rector Narro, El Universal del 24 de julio de 2011 consigna: "Exige el arzobispado opciones para ninis" y también: "Sólo cinco estados con programas para ninis"; en ambas notas se alude a la cifra arriba mencionada.

por edad y argumentando por qué el término, en realidad, sólo debiera aplicarse en México al grupo de jóvenes adultos y sin descartar la posibilidad de un comportamiento de preferencias reveladas por parte del segmento que prioriza los quehaceres domésticos.

I. Orígenes del término *NiNi*

Es una traducción de la voz *NEET* o *Neet* (*Not in Employment Education or Training*) utilizado por primera vez en 1999 en un informe de la Social Exclusion Unit, que es una oficina de apoyo al gabinete del primer ministro de la Gran Bretaña. El término reemplazó a partir de ese momento a *Status Zer0* empleado en los reportes previos de esa oficina y que, en realidad, tenía la misma connotación.[3]

En el país donde nació el término no ha estado exento de críticas. Un comentarista de la BBC no ha titubeado de calificarlo de *buzzword* o concepto aparatoso acuñado para deslumbrar y designar simplemente a los jóvenes rechazados o desertores del sistema escolar.[4] Otras más ponen el acento en la parte laboral y consideran que el vocablo llegó para desplazar la discusión específica centrada en el desempleo juvenil;[5] sin embargo, hay opiniones que han tratado de conectar la insuficiencia conceptual del término con la inadecuación de las políticas públicas que puedan desprenderse de él.[6] Este último tipo de crítica subraya el problema de definir a un segmento de población no por lo que hace sino por lo que no hace, infiriéndose de ahí, erróneamente, que no hace nada, siendo un punto central que será abordado en el artículo y se verá que, para clarificarlo, es esencial hacerlo con el aparato conceptual de la Organización Internacional del Trabajo (OIT), el cual rige a las encuestas de fuerza laboral en el mundo; en el caso de México, la ENOE.

El asunto aquí es que se puede llegar en nuestro país a un primer universo de 7 millones por más de una encuesta o instrumento de captación, siempre y cuando su diseño de muestra sea el adecuado para representar robusta e insesgadamente a un segmento de población; sin embargo, sólo con un repertorio conceptual muy bien desarrollado se pueden hacer las distinciones al interior de esta cifra que permitan identificar qué parte de esa primera aproximación corresponde a la preocupación subyacente tras el término *NiNi* y, así, servir de orientación a las políticas públicas. Es lamentable que en México no todas las encuestas adopten esos marcos conceptuales de referencia y, por ende, no ofrezcan elementos para fundamentar la sospecha de que el trabajo estadístico requerido para abordar el tema sea uno que debe decantarse a través de aproximaciones sucesivas.

El hecho es que el término *NiNi* no ha sido, como tal, discutido de forma multilateral como otros conceptos estadísticos; hasta ahora, no ha figurado como tema de ninguna Conferencia Internacional de Estadísticos del Trabajo (CIET) que la OIT convoca en Ginebra, Suiza, para definir qué es y qué no es trabajo, así como las distintas categorías que clasifican a la población por condición de actividad. Tampoco se ha discutido en otros foros de la Organización de las Naciones Unidas (ONU). Así, lo que ha sucedido en este mundo hiperconectado es que el término ha prosperado más bien por contagio: países como Japón y Corea lo han hecho suyo, organizaciones no gubernamentales en España hacen eco del mismo y tal parece que desde ahí cruzó el Atlántico hacia México. También ha llegado a organismos internacionales como la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) que, a su vez, lo refuerzan: el término *Neet* ha venido apareciendo en distintos artículos elaborados por analistas de dicho organismo por lo menos desde el 2006 y de ahí ha brincado a documentos

3 La estadística que se genera en el Reino Unido al respecto la publica el Ministerio de Educación para la población de 16 a 24 años, con criterios diferenciados para el subgrupo de 16-18 años. Datos para el 2007 ubicaban a casi una quinta parte del grupo de edad en la condición Neets, lo que significaría una cifra en absolutos próxima al millón de personas. La estadística, de entrada, presenta el problema de que tiende a incrementarse en los terceros trimestres del año por las vacaciones de verano.

4 Cox, Simon. "A Neet solution", en: BBC News, 24 de agosto de 2011.

5 Robson, Karen. "The Afterlife of NEETs", en: Attewell, Paul; Katherine S. Newman (eds.). Growing Gaps: Educational Inequality Around the World. Oxford University Press, 2010, p. 181.

6 Yates, Scott y Malcolm Payne. "Not so NEET? A Critique of the Use of 'NEET' in setting targets for interventions with Young People", en: Journal of Youth Studies. UK, July 2006, pp. 329-344.

de trascendencia, como *Education at Glance 2010* y los de equidad de género;[7] sin embargo, es de resaltar que la voz *Neet* no es rastreable en el banco de datos de la organización ni aparece en el glosario de términos.[8] De este modo, *Neet* se ha vuelto una estadística no oficial que, no obstante, circula como si lo fuera y, probablemente, ese mismo hecho refuerce tanto su atractivo como la confusión que le acompaña.

II. Entendiendo la problemática de un término que aún no es un concepto

El primer error que se puede abordar al hablar de *NiNis* es subestimar cuán problemático puede ser el término. De entrada, lo es de dos formas distintas aunque a la larga están íntimamente relacionadas. Primero, resulta conflictivo en lo que se refiere al concepto *trabajar*; en segundo lugar, lo es con respecto a que da por hecho que las personas no saben tomar decisiones; no les concede lo que en el debate filosófico sobre cuestiones éticas en lengua inglesa se conoce como *moral agency*: ser no sólo un objeto sobre el que actúa una miríada de factores sino, también, un sujeto que conduce su propia vida. Así, tal pareciera que el *NiNi* no sabe lo que hace o, más bien dicho, lo que no hace: no interactúa con su circunstancia, es básicamente víctima de ella[9] o, en el mejor de los casos, si decide, lo hace de forma irracional o contra sus propios intereses. Éste es un supuesto muy poderoso detrás del término *NiNi* y aquí el problema no es tener supuestos sino no estar conscientes de cuáles son. Veamos ambas problemáticas por separado.

El *ni trabajan* que se le cuelga a los 7 millones-7.5 millones de jóvenes en México quiere decir, en realidad, que no están realizando la actividad propia de quien tiene un empleo, pero ello no significa necesariamente que estén haciendo nada, así como tampoco implica que quieran un empleo o que lo estén buscando. Como bien lo saben quienes a ello se dedican, el trabajo doméstico es un complejo de tareas tan demandante como lo puede ser el trabajo con el que se consigue el sustento y tan decisivo como éste en el proceso de reproducción social.

Para la OIT, las tareas domésticas que realizan los miembros de los hogares orientadas a atender las necesidades propias son, sin duda, trabajo, si bien no uno que esté contenido en la frontera de producción de la contabilidad nacional o trabajo económico. Ciertamente, el trabajo doméstico suministrado al propio hogar o el que se presta para apoyar de manera eventual a los hogares de amigos o familiares (trabajo voluntario) no es un empleo, porque todo lo que se denomine como tal necesariamente debe ser trabajo económico,[10] pero ello desde luego no quiere decir que quien no se desempeña en un empleo carece en automático de una actividad o rol que le defina.

Aunque el trabajo doméstico para beneficio del hogar propio o en apoyo al de terceros no se considera ocupación o empleo y, como tal, no abona al producto interno bruto (PIB), para visibilizar el significado que tiene en la reproducción social, se han desarrollado las denominadas *cuentas satélite* que, en el caso del trabajo doméstico, permiten contestar a la pregunta de qué pasaría si a las tareas del hogar se les diera un valor de mercado aproximado con base en lo que cobra, por ejemplo, el servicio remunerado que contratan algunos hogares o si los servicios que se generan en los hogares para su propio consumo fuesen adquiridos en el mercado. ¿A cuánto equivaldría del PIB este contrafactual? Otra manera de verlo

7 OCDE. "Gender Equality: Education-Employment-Entrepreneurship", en: Genderintiative. APEC, 2011. En el gráfico comparativo de países que figura en la página 10 no deja de llamar la atención que se señala que México es el único que aplica el término Neet a un grupo de población de 14 a 29 años; a su vez, el gráfico cita como fuente Education at Glance 2010, donde se proporcionan datos de la población pero de 20 a 24 años que no tiene empleo remunerado y no estudia. Ver www.oecd.org/document/52/0,3746,en_2649_39263238_45897844_1_1_1_1,00.html

8 Ver OECD. StatExtracts, en: http://stats.oecd.org/Index.aspx. El término tampoco aparece definido en el glosario del portal estadístico de la Organización (Statistics from A to Z). Ver www.oecd.org/document/39/0,3746,en_2649_201185_46462759_1_1_1_1,00.html

9 "El rector universitario precisó (…) que la mayor parte de los jóvenes ninis está en esa condición no por una decisión autónoma sino por una realidad impuesta…", ver Milenio, 23 de agosto de 2010.

10 Una síntesis del marco de la actividad humana y qué delimita los sistemas de contabilidad nacional y qué no, puede encontrarse en Negrete, R. "El concepto de informalidad y su integración bajo el esquema del Grupo de Delhi", en: Realidad, Datos y Espacio. Revista Internacional de Estadística y Geografía. Vol. 2, núm. 3, septiembre-diciembre 2011, p. 81.

es: ¿de qué magnitud del PIB son las transacciones de mercado que le ahorra el trabajo doméstico a los hogares? La cuenta satélite del trabajo para México[11] arroja un resultado sorprendente (ver gráfica 1).

El valor de mercado que tienen las tareas domésticas equivale a 22.6% del PIB, magnitud que supera hoy por hoy la contribución de actividades como las manufacturas, el comercio, la construcción o la agricultura. Esta magnitud macro ilustra mejor la importancia estratégica, aun en términos económicos, que puede tener el trabajo doméstico en la escala micro y cómo realmente en México puede haber un acusado *trade-off* entre el trabajo de mercado y no de mercado, en particular entre quienes, de insertarse en este último, no alcanzarían a compensar por la vía de ingresos lo que de otro modo es autosuministrado en el hogar; en otras palabras, no muchos se plantean que, para ciertos segmentos de población, existe la posibilidad de que la manera como disponen de su tiempo de mercado y no de mercado sea eficiente, lo cual no deja de ser un factor que explica el comportamiento de dichos segmentos frente al mercado laboral.[12]

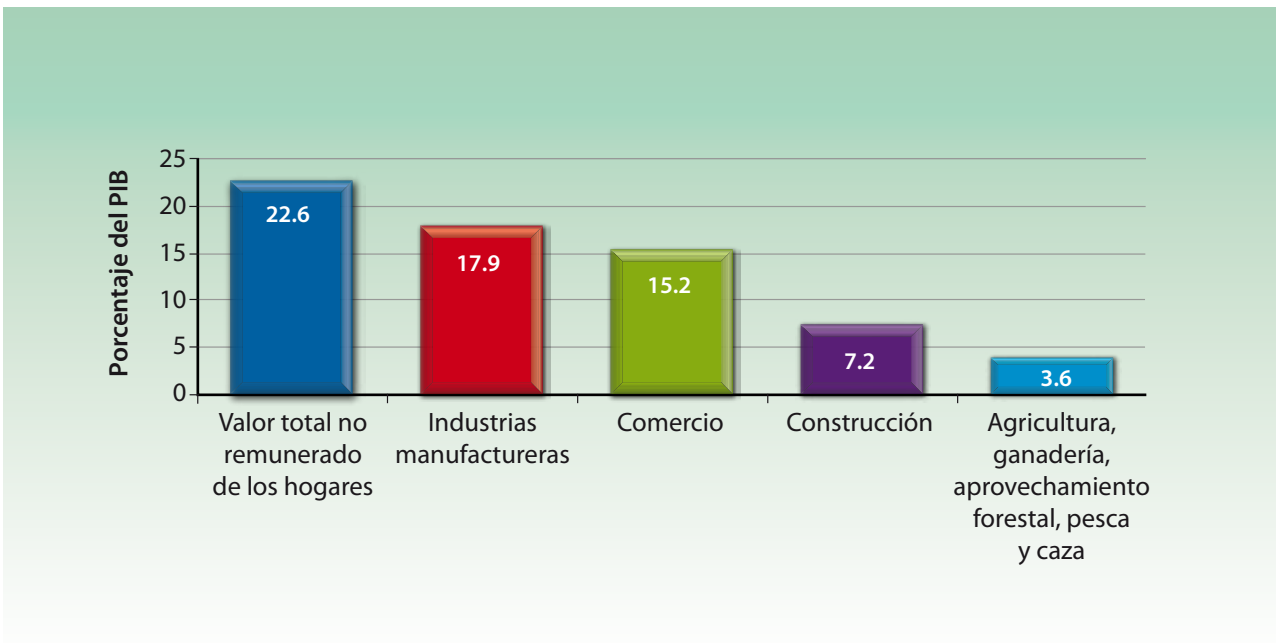
Se podrá cuestionar que la parte de trabajo fuera del mercado recaiga de manera desproporcionada en la población femenina, pero no hay que confundir esto con el hecho de que cierta división del trabajo entre no mercado y mercado sea del todo aberrante o irracional. Es por ello que no se puede pasar por alto o hacer caso omiso de una

11 Ver INEGI. Sistema de Cuentas Nacionales de México. Cuenta satélite del trabajo no remunerado de los hogares de México 2003-2009. A su vez, en la elaboración de estas cuentas es insumo fundamental la Encuesta Nacional de Uso del Tiempo (ENUT), ya que permite contabilizar la masa de horas invertidas en las distintas tareas domésticas, así como en el cuidado de niños, ancianos y enfermos. De otras fuentes como la ENOE, la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares (ENIGH) y los Censos Económicos se toma el valor de mercado de quienes se dedican a proveer servicios similares, pero como una actividad económica.

12 Para una exposición sobre la relación entre la desutilidad marginal del trabajo de mercado y las bajas tasas de participación femeninas para ciertos segmentos de población ver Negrete, R. "El indicador de la polémica recurrente: la tasa de desocupación y el mercado laboral en México", en: Realidad, Datos y Espacio. Revista Internacional de Estadística y Geografía. Vol. 2, núm. 1, enero-abril 2011, pp. 156 y 157.

Gráfica 1

Comparativo del valor del trabajo no remunerado de los hogares (VTNRH) con respecto a sectores de actividad seleccionados (porcentaje con respecto al PIB 2009)



Fuente: INEGI. *SCNM. Cuenta de bienes y servicios y cuenta satélite del trabajo no remunerado de los hogares de México, 2003-2009. PIB por sector de actividad económica a precios corrientes, 2009.*

distinción que se realiza con las encuestas de fuerza de trabajo entre la población disponible para insertarse en el mercado de trabajo y la no disponible para hacerlo, aspecto que se ilustrará con números en la siguiente sección y nos orienta en cuanto a qué grupos de población hay que mantener dentro de la cuenta *NiNi* y cuáles no o, en todo caso, hacerlo siempre y cuando se detecten otras condiciones adicionales que no se deben dar, de entrada, por sentadas.

Esto nos lleva al segundo punto problemático o el de agencia moral, si se traduce de forma literal el término del inglés. Hay que señalar que, hasta ahora, en las estadísticas oficiales no sólo en México sino en el mundo entero[13] hay poca información de cómo toman decisiones las personas o qué tan libremente lo hacen para desempeñar un rol y no otro en la vida; hasta qué grado son preferencias y hasta qué punto no. Permanece, entonces, aún una vasta zona de ignorancia que obliga a tener prudencia al respecto. Otras aproximaciones alternativas, como las de *bienestar subjetivo*,[14] apenas se están impulsando, siguiendo un enfoque más hedónico al buscar captar las declaraciones de las personas de satisfacción o insatisfacción asociadas ya sea a sus tareas[15] o a distintos aspectos de su vida.[16] De consolidarse, ésta será una fuente de información invaluable para el tema que nos ocupa porque la satisfacción/frustración con la situación que se tiene al interior del grupo de estudio dejará de ser un tema especulativo. Por lo pronto, y mientras así lo sea, acotamientos como el tramo de edad a cuyo interior se buscará detectar *NiNis* deben manejarse también con sumo cuidado para no llevar demasiado lejos lo que aún son suposiciones.

En suma, saldar una discusión en torno a los *NiNis* así como no puede eludir la cuestión de la existencia o inexistencia de oportunidades tampoco puede evadir si las decisiones que toman los jóvenes sobre qué hacer en este momento con su vida son legítimas o no y el hecho de que en la misma sociedad (e, incluso, en sus grupos más conscientes y vocales) hay visiones contradictorias sobre el significado de otros roles en la reproducción social que no pasan por el mercado: si deben ser vindicados o, por el contrario, reducidos a un mínimo en la vida de las personas. Este artículo no pretende tener una respuesta definitiva respecto a ninguno de los dos puntos y no por nada toda la tendencia de la estadística actual es que primero pase por un proceso de discusión antes de generarla y difundirla. Por ello, aquí se llama la atención sobre la ausencia de este proceso en lo que al tema concierne y se subrayan aspectos que deben ser abordados en una agenda de discusión hasta ahora ausente.

A lo anterior se añade la heterogeneidad de situaciones que puede haber al interior de un universo de *NiNis*, porque se suman, sin distinguir de forma debida, por un lado jóvenes —en especial mujeres— que juegan un papel crucial en el funcionamiento de sus hogares y, por el otro, un segmento con roles marginales o realmente sin alguno identificable; sin embargo, parece ser este último subuniverso el que se tiene en mente tras la noción de *NiNi*. Se corre el riesgo, entonces, de que una parte —una minoritaria, como se verá más adelante— domine al todo no sólo en el plano conceptual, sino incluso en el de diseño o concepción de las políticas públicas que aspiran a modificar un fenómeno, de entrada, mal o insuficientemente caracterizado. Desde el punto

13 El único proyecto estadístico global que se ha planteado abordar estadísticamente cómo toman decisiones las personas es uno emprendido fuera del cauce de las estadísticas oficiales e internacionales por las encuestas Gallup inspiradas, en parte, en los trabajos de investigación de Daniel Kahneman y Ed Diener, así como el denominado behavioral economics, ver Clifton, J. The Coming Jobs War. NY, Gallup Press, 2011.

14 Ver OECD. Measuring Subjective Well-Being: Concept and Validity. Documento de discusión (draft paper 1). París, febrero del 2012. Es una iniciativa que el organismo está impulsando para que las oficinas de estadística de los países miembros emprendan encuestas o incorporen preguntas en las ya existentes sobre "...the various evaluations, positive and negative, that people make of their lives and the affective reactions of people to their experiences…", p. 8.

15 La OCDE contempla que es importante que todas las encuestas de uso del tiempo incorporen preguntas sobre la satisfacción/insatisfacción que le reporta al informante el realizar las distintas tareas y responsabilidades del trabajo doméstico. El INEGI tiene pendiente la tarea de incorporar indicadores de bienestar subjetivo en la ENUT, para conocer los estados de ánimo asociados a las diferentes actividades realizadas por cada integrante del hogar, en especial en lo que toca a la distinción entre hombres y mujeres. Adicionalmente, es necesario mantener presentes las causas profundas detrás de la división sexual del trabajo, tal como han sido expuestas por Brígida García y Orlandina de Oliveira (1994 y 2007) y por María Ángeles Durán Hera et al. (2001).

16 Con respecto a la satisfacción ya no en relación con actividades específicas sino con distintos aspectos de la vida (incluyendo el grado de autonomía y libertad personal), el INEGI se encuentra experimentando con el Módulo de Bienestar Auto Reportado (BIARE), que incorpora además de los lineamientos básicos de la OCDE, otros contenidos valorativos sobre la calidad de vida así como eventos en la biografía de las personas que pueden incidir en su bienestar actual. Es un módulo que acompaña en el primer trimestre del 2012 a la Encuesta Nacional de Gastos de los Hogares (ENGASTO).

de vista del enfoque de género, por ejemplo, sería inaceptable que la problemática de los jóvenes *que ni estudian ni trabajan* (sin rol identificable) termine siendo la que defina la agenda, distrayendo la atención de la situación de mujeres que no han podido concluir sus estudios o explorar otras oportunidades por su desventaja en la división del trabajo en todo lo que concierne a la reproducción de la vida familiar.

III. Pelando la cebolla de los 7 millones

En este apartado se muestra cómo se llega a una cifra de 7 millones para la población de 14 a 29 años de edad, haciendo para ello uso de información de la ENOE, y cómo se encuadra en el marco conceptual de dicha encuesta que clasifica por condición de actividad. A esta aproximación inicial se le llamará *NiNis en un sentido literal* o no analítico en cuanto a que es una primera delimitación de los que no están estudiando y tampoco desempeñándose en una actividad en el mercado de trabajo. Se procederá después a entender mejor lo que hay al interior de esa cifra y qué otros criterios se introducen para depurarla. Por su cobertura, historia, periodicidad, diseño de su cuestionario y su esquema de levantamiento de panel rotativo, la ENOE es la fuente de información que se considera más adecuada para hacerlo; conviene primero tener en cuenta sus características operativas:

- Encuesta continua en hogares.
- Muestra trimestral de 120 mil viviendas.
- Seguimiento a las viviendas que caen en la muestra durante cinco trimestres (panel rotativo).
- Representatividad nacional urbano-rural.
- Representatividad por entidades federativas y para la ciudad más importante de ellas.
- Producción trimestral de datos absolutos apegados a un calendario de difusión.
- Amplia experiencia de los operativos de campo.
- Vasta documentación de todo el proyecto estadístico.

Ahora bien, en el plano conceptual, la ENOE importa pues no es sólo la encuesta que capta la información secuenciada requerida en la identificación de la fuerza laboral del país o población económicamente activa (PEA), para generar tanto datos de ocupación como desocupación abierta, sino que también contiene las preguntas exploratorias que identifican y segmentan a la población no económicamente activa (PNEA), donde se ubica la enorme mayoría de casos que corresponde a una noción literal de *NiNis* (ver figura 1).

III.1 Distinción de poblaciones

Llegados a este punto, es importante entender la diferencia entre un *desocupado abierto* por una parte y *PNEA disponible* y *no disponible* por la otra:

- Los *desocupados* abiertos están en un proceso de búsqueda de empleo, razón por la que ejercen una presencia y presión en el mercado laboral.
- Los *disponibles* no están presionando activamente el mercado laboral, ya sea porque se autodescalifican para competir en él o porque no ven posibilidades de inserción.
- Los *no disponibles* consideran que no les corresponde dedicarse al mercado laboral en este momento de sus vidas o que, de plano, el participar en él está fuera de su esfera de interés.

Disponibles y no disponibles comparten el rasgo común de no estar ejerciendo presión ni presencia alguna en el mercado laboral en el momento de la medición.

Una vez en este marco, ubiquemos primero a la población en edad de trabajar (14 años y más) en estos compartimentos (ver figura 2).

Ahora, hagamos lo propio específicamente con el grupo de población de 14 a 29 (ver figura 3).

A partir de ahí, se desemboca en los universos de interés (bloques inferiores) (ver figura 4).

Figura 1

Esquema de partición de poblaciones

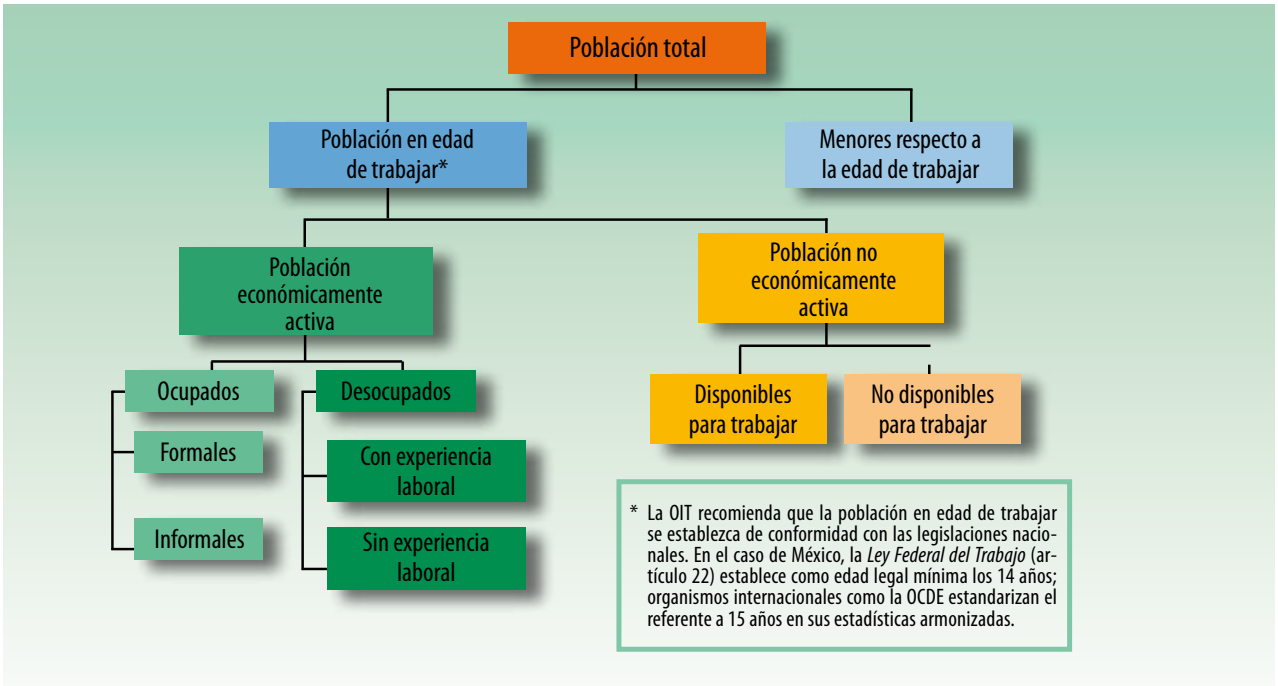
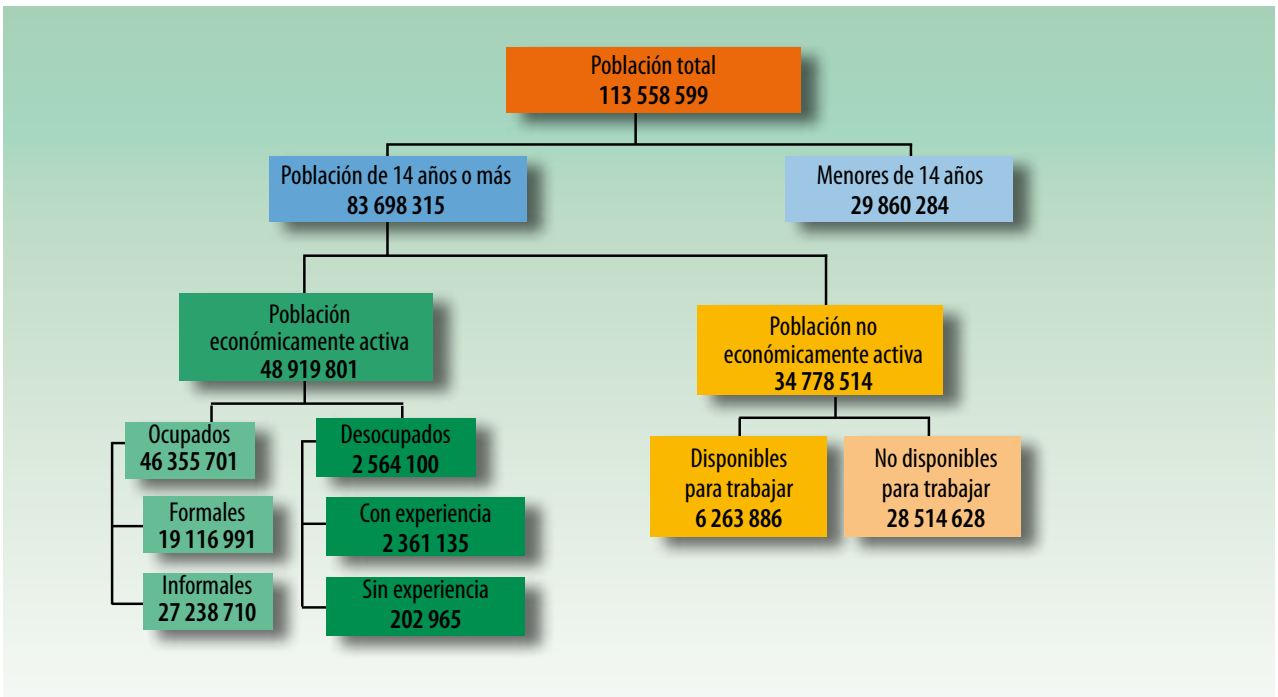


Figura 2

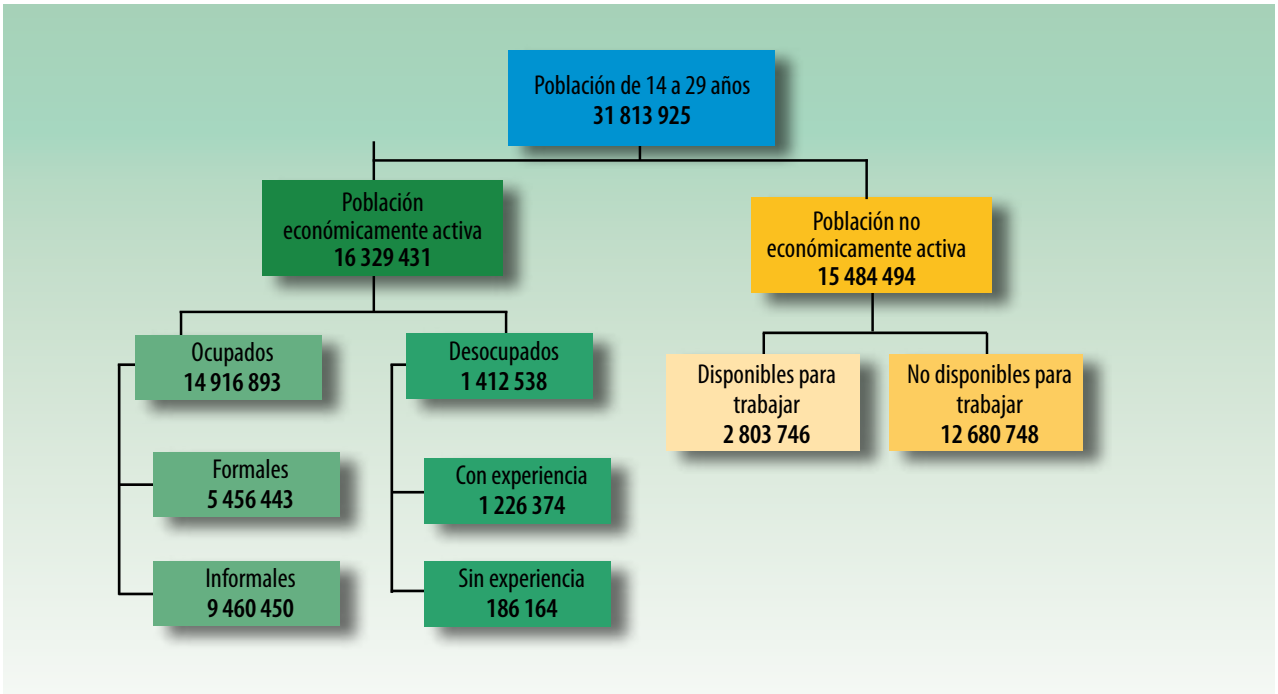
Distribución por condición de actividad de la población mayor de 14 años



Fuente: INEGI. *ENOE. II trimestre del 2011.*

Figura 3

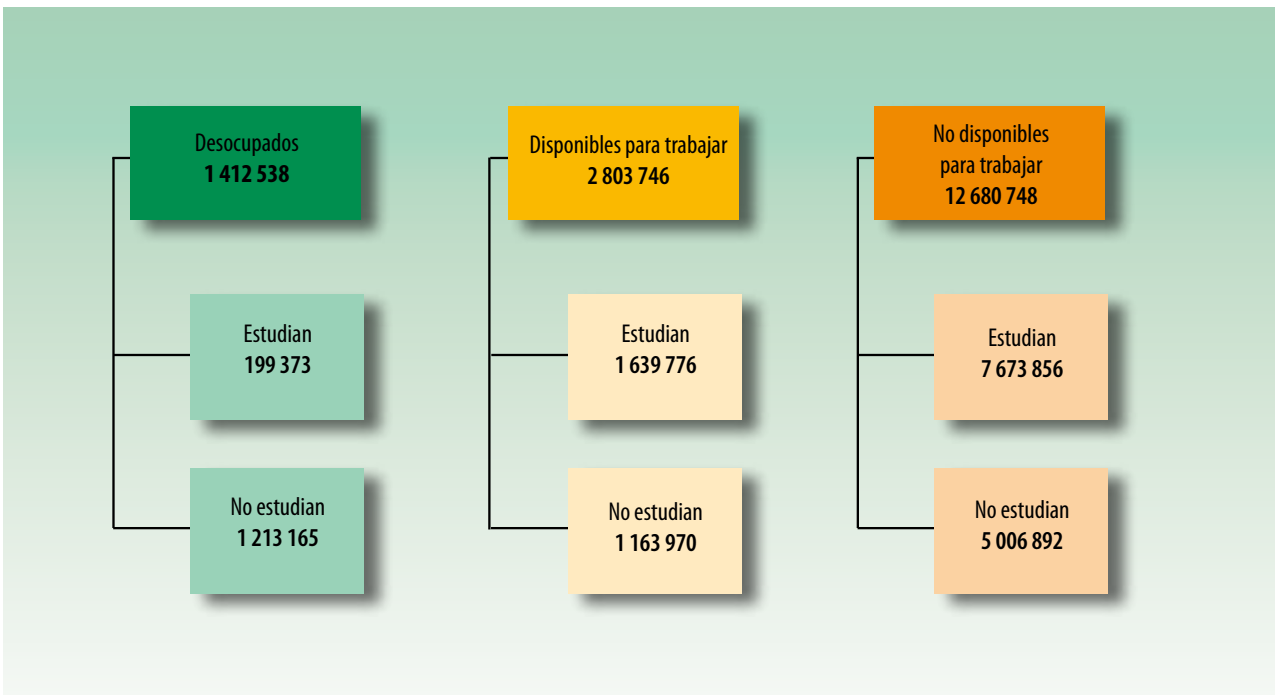
Distribución por condición de actividad de la población de 14 a 29 años



Fuente: INEGI. *ENOE. II trimestre del 2011.*

Figura 4

Distribución de la población de 14 a 29 años en categorías de desocupados y de PNEA



Fuente: INEGI. *ENOE. II trimestre del 2011.*

Tomando como referencia a la población de 14 a 29 años en el segundo trimestre del 2011 y haciendo un ajuste final que sustraiga del grupo de edad al segmento con una discapacidad profunda que le impide estudiar y trabajar, se llega a esta cifra bajo una noción literal de los que serían *NiNis* (ver gráfica 2).

III.2 Problemas con la aproximación literal

El primer problema que se tiene resalta de inmediato al ver la pirámide de edad resultante: en conjunto, hay 3.6 mujeres (78.4% del total cuantificado) por cada hombre en esta aproximación, de tal manera que, en números absolutos, pareciera que 5.5 millones de mujeres no están haciendo nada relevante ni para sí mismas ni para los demás o, de forma alternativa, que están al margen de las oportunidades. Lo primero es algo claramente absurdo, lo segundo, una interpretación precipitada si no se sabe algo más de los motivos de las personas y de su contexto (ver gráfica 3).

III.3 Una distinción que importa: *disponibles* y *no disponibles*

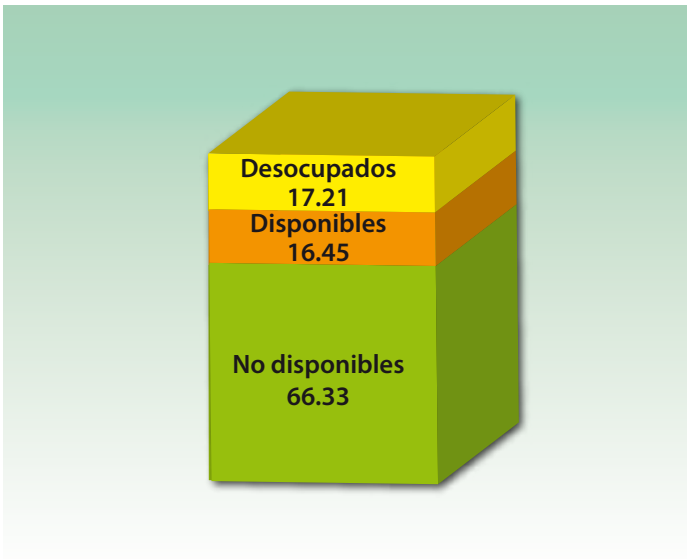
Estas categorías en la ENOE —que tienen su origen en recomendaciones de la OIT para establecer distinciones al interior de los no económicamente activos— son relevantes porque los *disponibles* no descartan la opción laboral, mientras que los segundos sí, ya sea porque tienen otras responsabilidades, identifican otras prioridades o sólo porque la alternativa laboral queda por el momento fuera de su esfera de interés.

El sopesar o no la opción laboral como una posibilidad tiene, sin duda, un correlato o una relación no accidental con la estructura demográfica de uno y otro grupo.

La categoría de *disponibles que no estudian* no resulta en particular problemática de incluir en una cuenta de *NiNis*; es un grupo comparativamente más joven con una proporción significativa de personas que no se hacen cargo de terceros. Se entiende, entonces, que pese a su actitud pasiva frente a

Gráfica 2

Composición porcentual de la población de 14 a 29 años que no estudia según desocupación (buscadores de trabajo) y categorías en las que no se busca trabajo

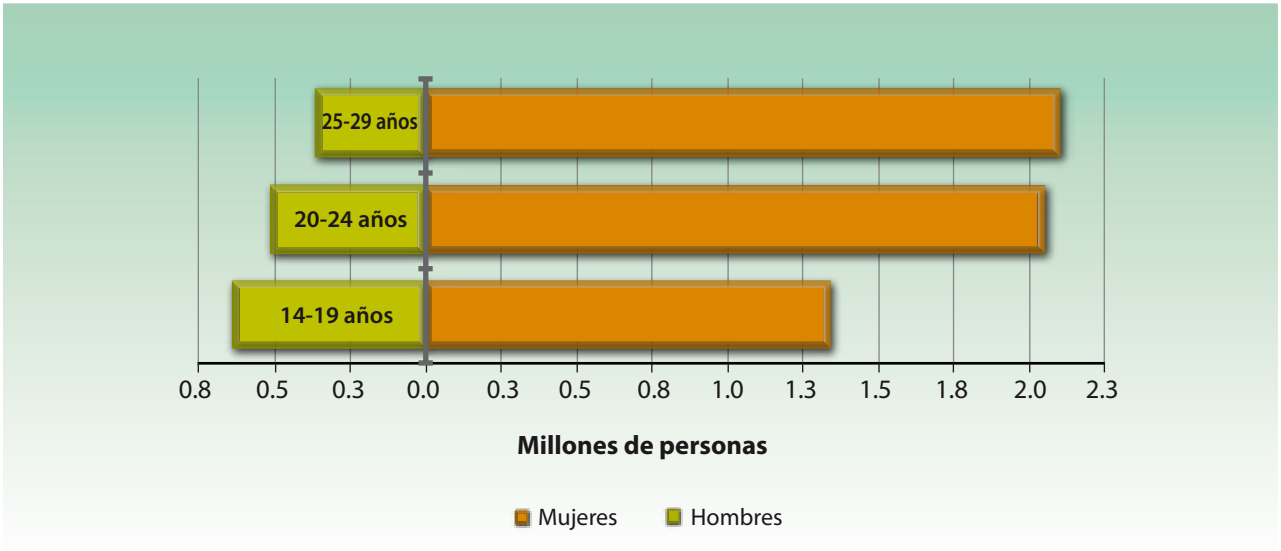


I. Desocupados que no asisten a la escuela (1 213 165).
II. PNEA disponible que no asiste a la escuela (1 159 505).
III. PNEA no disponible que no asiste a la escuela (4 675 009).
Total: 7 047 679

Fuente: INEGI. *ENOE. II trimestre del 2011.*

Gráfica 3

Distribución de los 7 millones por edad y sexo



Fuente: INEGI. *ENOE. II trimestre del 2011.*

la inserción laboral no la descarten de presentarse una oportunidad y se puede inferir, asimismo, que cuando participan en las labores del hogar lo hacen bajo un rol más auxiliar que central.

Es pues la inclusión de los *no disponibles* (un universo considerablemente mayor al de los *disponibles*), donde la discusión se torna, con mucho, más compleja, lo que requiere establecer a su interior nuevas distinciones (ver tabla 1).

III.4 Distinciones al interior de los *no disponibles que no asisten a la escuela*

La primera que se debe establecer al interior de este grupo es analizar por separado al segmento de los que se *dedican a quehaceres del hogar* del resto de los *no disponibles que no desempeñan rol alguno* y que, por el momento, designaremos como *otros*. La tabla 2 muestra el peso de ambos segmentos.

Tenemos entonces que el segmento de quienes se dedican a quehaceres domésticos asciende a 4.1 millones de personas, representando 87.24% del total de la población no disponible que no asiste a la escuela y 95.81% de la población femenina en esa condición.

Una vez aislado este grupo, la discusión se centra en qué medida los quehaceres domésticos hablan de un relegamiento o de un obstáculo para el ejercicio de las capacidades de las personas y hasta qué punto el desempeñar este rol es una decisión o una motivación tan comprensible y justificada como el decidir trabajar en el mercado laboral o estudiar.

III.5 Pertinencia de un enfoque de derechos

Un criterio aparentemente claro que puede ayudar a identificar a los *no disponibles* susceptibles de sumarse a la cuenta de *NiNis* es un enfoque de derechos, por ejemplo, cuando las leyes establecen un mínimo por cumplir o una instancia legislativa ha llegado a un acuerdo al respecto. Es así que puede tomarse como referencia el mínimo de años de escolaridad obligatoria y decidir que las personas en la *población no disponible dedicadas a quehaceres domésticos* que no lo cumplen se sumen a los *disponibles* en la cuenta *NiNi*.

Tabla 1

Distribución porcentual de la población no disponible por sexo según la asistencia escolar

Población	Hombres	Mujeres
Disponibles que no asisten a la escuela	22.26	77.74
No disponibles que no asisten a la escuela	11.09	88.91

Fuente: INEGI. *ENOE. II trimestre del 2011.*

Tabla 2

Composición porcentual de la población no disponible que no asiste a la escuela según se dediquen o no a quehaceres domésticos

	Total	Hombre	Mujer
Quehaceres domésticos	87.24	18.50	95.81
Otros	12.76	81.50	4.19

Fuente: INEGI. *ENOE. II trimestre del 2011.*

Población no disponible que se dedica a quehaceres domésticos:

- De 14-15 años, desde los que no tienen escolaridad alguna hasta los que todavía no han cursado un solo año de secundaria.
- De 16 años, desde los que no tienen escolaridad alguna hasta los que no alcanzaron a completar la secundaria.
- De 17-18 años, desde los que no tienen escolaridad alguna hasta los que no alcanzan a tener un solo año cursado de bachillerato.
- De 19-29 años, desde los que no tienen escolaridad alguna hasta los que no tienen el bachillerato completo.[17]

Estamos hablando de 3.2 millones de personas, quienes representan 79.7% de la población total no disponible en quehaceres domésticos (los 4.1 millones ya mencionados).

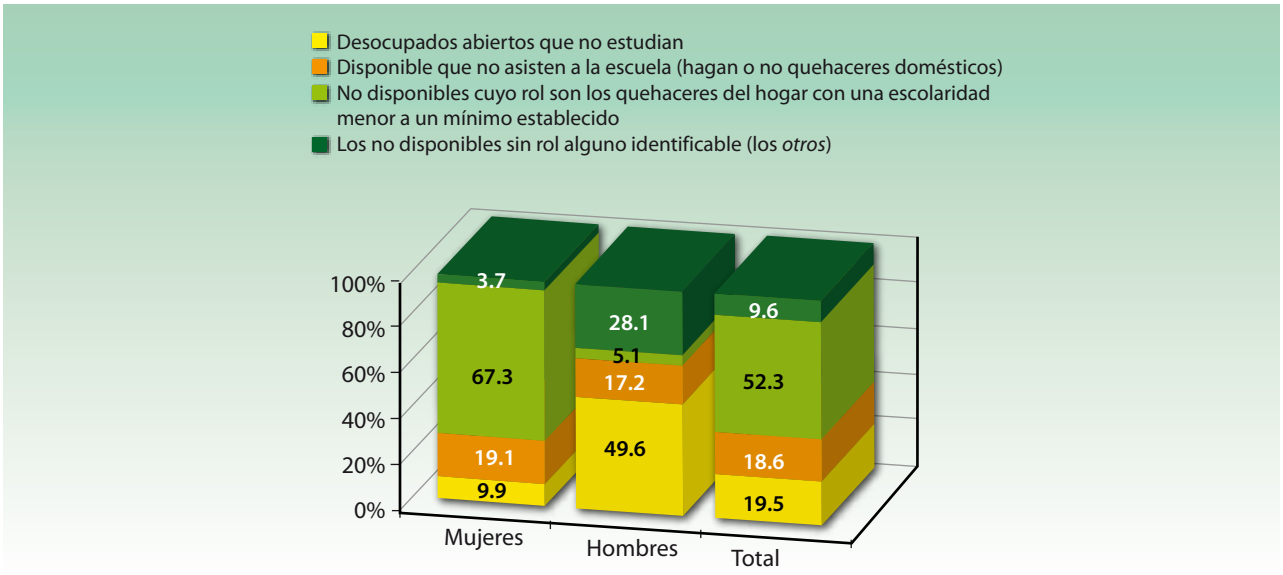
De este modo, se incorporan los 3.2 millones a una cuenta *NiNi* que acumula 6.2 millones. En términos porcentuales, menos de una quinta parte (19.5%) estaría constituido por jóvenes que han dejado la escuela, pero que se encuentran buscando trabajo (*desocupados* o *desempleados abiertos*); en una magnitud ligeramente menor (18.6%) se tendría a quienes no descartan la opción laboral aunque no se encuentran buscando trabajo (*disponibles que no asisten a la escuela*), mientras que el resto se trata de *población no disponible que no asiste a la escuela*, aportando 52.3% aquéllos centrados en las tareas del hogar que no tienen el nivel escolar que su edad supone, en tanto que el resto (9.6%) corresponde al remanente de *no disponibles* al que no se le identifica que desempeñe rol alguno al interior del hogar (más adelante se profundizará respecto a estos últimos). Siendo así para la población total, no dejan de resaltar las enormes diferencias de peso que estos componentes tienen en mujeres y hombres respectivamente (ver gráfica 4).

Formado de esta manera, las características demográficas de este conjunto de personas serían como se aprecia en la gráfica 5.

17 El decreto presidencial que eleva a rango constitucional la educación media superior fue firmado el 8 de febrero de 2012. Los autores estamos conscientes que pudiera ser controversial el aplicar este criterio retroactivamente al segmento adulto de la población joven, pero preferimos ser criticados por hacerlo a por no hacerlo.

Gráfica 4

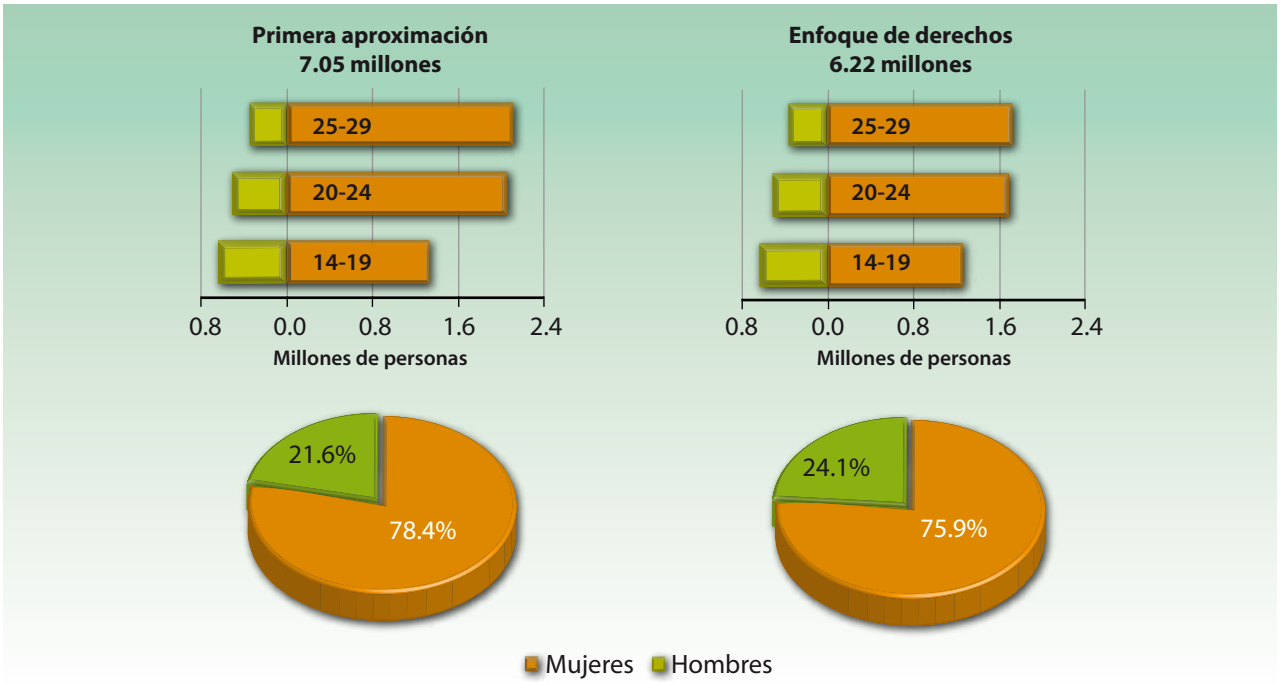
Composición porcentual por sexo y condición respecto al mercado laboral de población *NiNi* de 14-29 años (6.2 millones) después de acotar la población no disponible centrada en quehaceres del hogar a quienes no cuentan con los mínimos de escolaridad



Fuente: INEGI. *ENOE. II trimestre del 2011.*

Gráfica 5

Características demográficas de las dos poblaciones



Fuente: INEGI. *ENOE. II trimestre del 2011.*

Este enfoque tiene la ventaja de que es sencillo de comprender a la hora de tratar, en especial con la *población no disponible en quehaceres domésticos*; sin embargo, no debe pasarse por alto que 65.5% ó 2.1 millones de casos en este segmento o componente de 3.2 millones no sólo hace quehaceres domésticos, sino que declara estar directamente involucrado en el cuidado de niños, ancianos o enfermos. No por nada son *no disponibles*; nos están diciendo que descartan el mercado de trabajo porque sus prioridades son otras y por los mismos motivos pudieron haber rechazado la opción educativa (ver gráfica 6).[18]

III.6 Problemática de los que son responsables de terceros

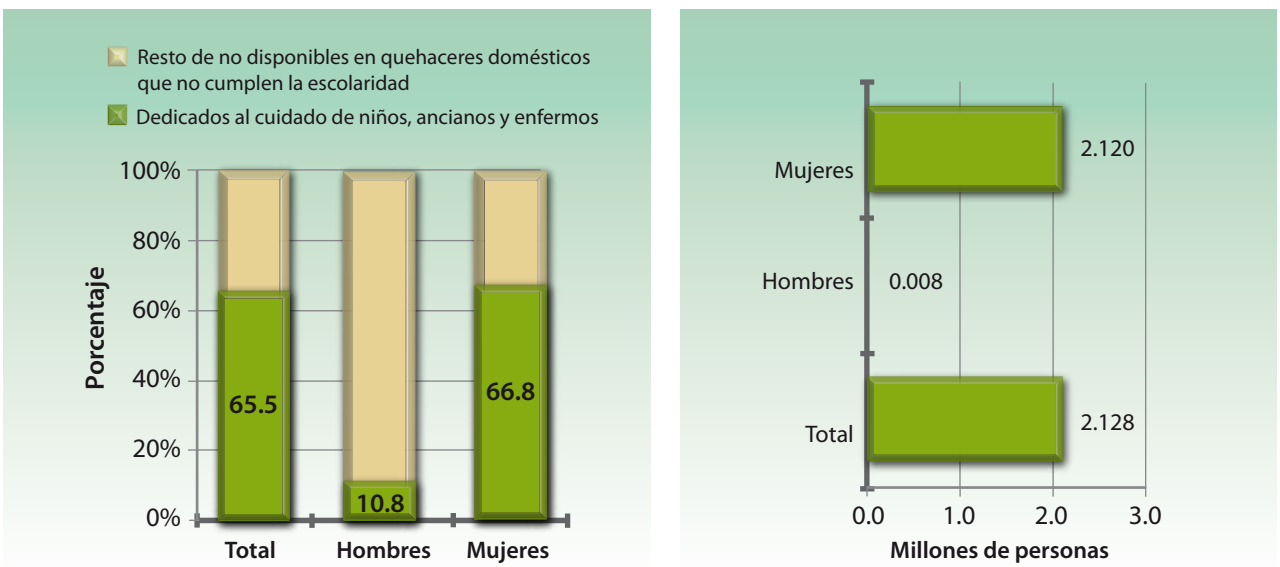
En el diseño de políticas públicas, esto importa; significa que el segmento no responderá a oportunidades laborales o educativas a menos que se creara de forma previa una infraestructura social (guarderías, asilos y, eventualmente, una mejor atención médica), pero aquí cabe entonces preguntar —suponiendo que esto se diera— si, por ejemplo, con enviar a un anciano a un asilo se maximiza el bienestar no sólo de quien lo manda sino de él mismo; ¿se debe adoptar un individualismo metodológico a ultranza y dejar de preguntarnos por la función de bienestar del hogar?, ¿el bienestar del hogar y el de la persona que lo atiende se pueden y deben desligar?

¿Hasta qué punto estas decisiones son tomadas libremente por quien ha decidido que ésa es su misión y propósito en esta etapa de su vida?, ¿hasta qué punto es algo que recae en ciertas personas por los usos y costumbres de la división sexual del trabajo y la inequidad de género? No lo sabemos, pero cuando al etiquetársele como *NiNi* decretamos que una mujer casada, mayor de 25 años, que tiene un hogar con niños, debería estar trabajando o estudiando el bachillerato, presupone que nosotros sabemos mejor que ella qué es lo que le conviene y a su familia. No debemos olvidar que lo de *NiNis* no sólo está describiendo una situación, también dice cómo debieran ser las cosas.

18 Sin duda, sería ideal que la ENOE manejara explícitamente preguntas sobre la dupla disponibilidad/no disponibilidad para asistir a la escuela con la misma destreza que hace lo propio con respecto al mercado laboral. Así, si bien tiene una ventaja sobre cualquier otro instrumento de captación, tiene que llevar más lejos este enfoque. Por su parte, las encuestas que a ningún nivel manejan esta dupla, pero pretenden dar cifras de NiNis, son susceptibles de aportar más confusión que otra cosa al debate.

Gráfica 6

No disponibles en quehaceres domésticos que no cumplen con el mínimo de escolaridad



Fuente: INEGI. *ENOE. II trimestre del 2011.*

Visto así, el enfoque de derechos tiene más sentido si se le acota a un grupo de edad de 15 a 24 años en conformidad a la definición de población joven que ha establecido la ONU; al ubicarnos en un terreno menos especulativo precisando mejor el grupo de edad, se tendría bajo el enfoque de derechos una cifra de 4 millones y no una de 6.2 millones.[19]

Para ver estos 4 millones de *NiNis* bajo un enfoque de derechos, pero en el marco de la población total de 15 a 24 años que asciende a 21.1 millones, segmentada por la condición de actividad conforme a los conceptos de la ENOE, en los anexos se presentan los mismos bloques que más arriba se mostraron para la población de 14 a 29 años.

Por otra parte, es cierto que mientras más joven sea una persona *no disponible que no estudia y en quehaceres del hogar* la decisión de incluirla como *NiNi* será menos controversial, pero aun así estaríamos pasando por alto la diferencia que puede haber con una persona de sus mismas características que sí se declara disponible para trabajar; es decir, estamos pasando por alto lo que las personas deciden o, en todo caso, las responsabilidades prioritarias que identifican.

Es verdad, asimismo, que una cosa son las responsabilidades y otra muy distinta lo que uno quiere hacer con su vida: lo primero puede ser un obstáculo para perseguir lo segundo, pero aun así hay una diferencia muy grande entre tener o asumir una responsabilidad y no tener o no asumir alguna, que es la siguiente situación que se analizará, depurando la cifra de 4 millones para la población de 15 a 24 años.

Hay otro sentido en el que esta ulterior distinción o filtrado de lo que fue el universo de punto de partida es muy importante: la connotación psicológica o la imagen que viene a la mente cuando se habla de *NiNis* queda asociada a este caso extremo que en el siguiente apartado se contabiliza y donde se identifica a un segmento de jóvenes quienes nada están abonando para su futuro al tiempo que no desempeñan rol alguno en el hogar, jóvenes que, hasta donde la Encuesta nos permite profundizar, no están siendo útiles ni para sí mismos ni para los demás. Dicho segmento está muy lejos de una cifra de millones y, sin embargo, se ha vuelto la insignia o el rostro del acrónimo en las señales de alarma que se han encendido en los medios y en el debate político que se escenifica en ellos. Es un caso más en el que sin percatarse entre quienes abordan el tema, la parte define al todo y, además, establece el tono y la estridencia para hablar del asunto.

III.7 *NiNis* que no desempeñan un rol identificable en población de 15 a 24 años

Todo lo que concierne a la magnitud de *NiNis* a la que se ha llegado hasta ahora es debatible aun cuando un tanto menos que lo que se identificaba como punto de partida. Por lo pronto, se pudieron separar los casos por debajo de un criterio normativo o legal. Lo interesante ahora es que la ENOE puede identificar todavía a un grupo o segmento que se declara *no disponible para trabajar y que no desempeña labores del hogar*: son los *otros* al final de toda una larga lista de filtros (ver gráfica 7).

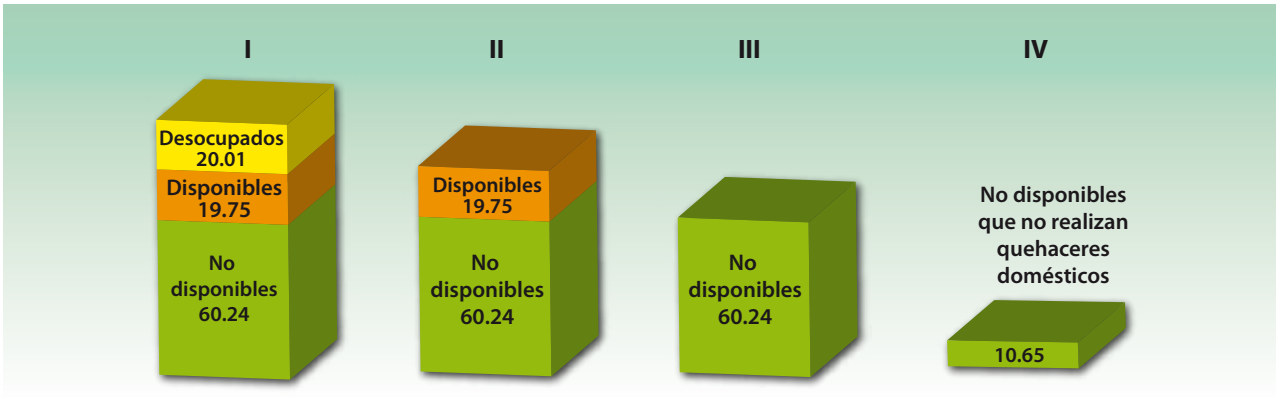
I. Ni están trabajando (no están ocupados).
2. Ni buscan trabajo (no son desocupados abiertos).
3. Ni están disponibles para trabajar y no asisten a la escuela.
4. Ni realizan quehaceres del hogar o no se identifican en ese rol.

Nos estamos aproximando aquí a un grupo de 428 mil individuos con una composición demográfica enteramente distinta a la del punto de partida, así como con respecto a lo ajustado bajo un enfoque de derechos (ver gráfica 8).

19 El referente de 15 a 24 años para delimitar la población joven fue adoptado por la ONU a partir del 2000, ver United Nations Economic and Social Council (ECOSOC). The World Programme of Action for Youth to the Year 2000 and Beyond: Strengthening United Nations commitment to youth. NY, UN, 2000 (www.un.org/events/youth98/backinfo/ywpa2000.htm). A su vez, con esta precisión de edad de lo que es la población joven, la división de política social de la ONU ha venido publicando, año con año (desde el 2003), su reporte mundial sobre la juventud (World Youth Report, en: http://social.un.org/index/WorldYouthReport/2003.aspx).

Gráfica 7

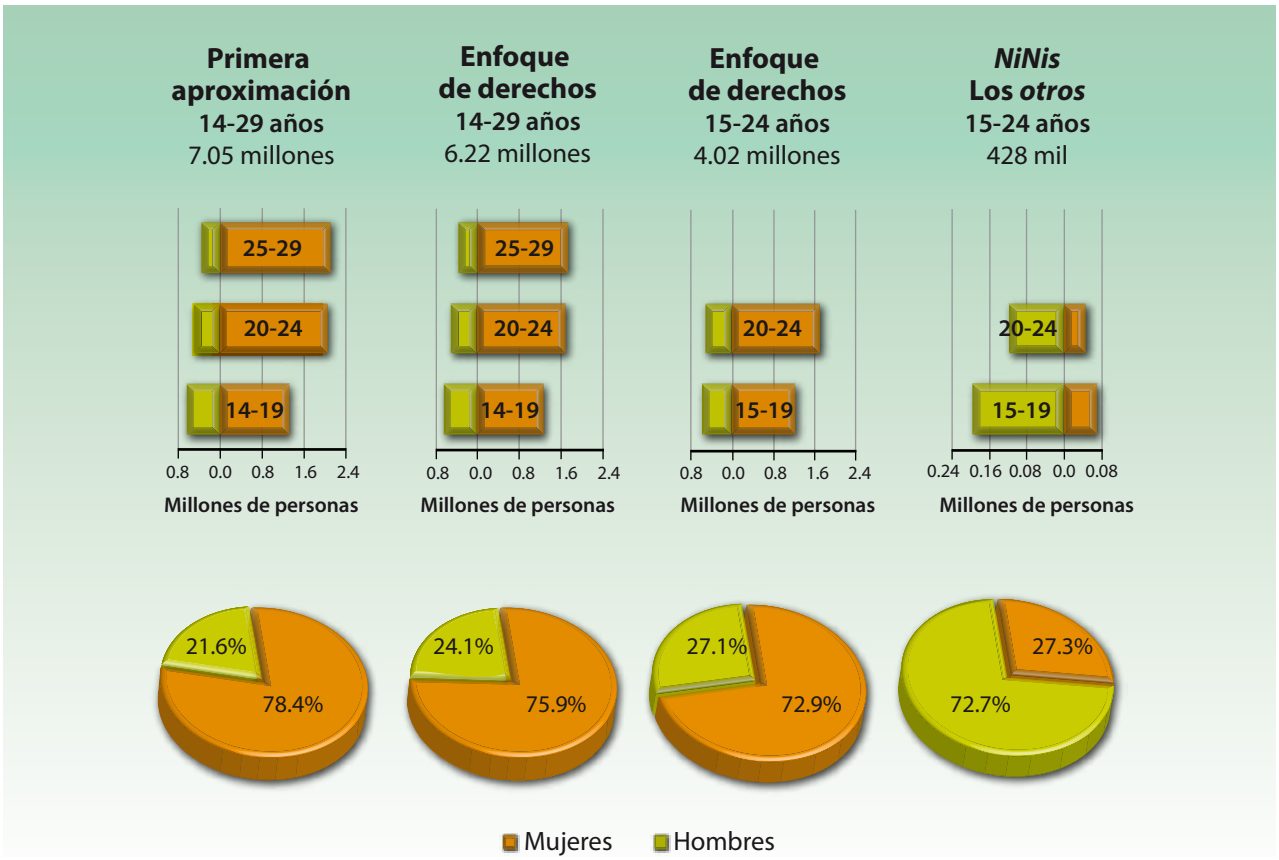
Delimitación en términos porcentuales y por fases sucesivas hasta llegar a la magnitud que representan los *NiNis* que no desempeñan un rol alguno identificable, al interior del monto de 4 millones en el grupo de edad de 15 a 24 años



Fuente: INEGI. *ENOE. II trimestre del 2011.*

Gráfica 8

Composición de las cuatro fases de aproximación al fenómeno *NiNi* en México



Fuente: INEGI. *ENOE. II trimestre del 2011.*

De lo anterior no resaltan menos las diferencias con respecto al porcentaje de solteros y de mujeres sin hijos entre las aproximaciones que hasta este momento se han explorado (ver tabla 3).

Las propiedades de este grupo de *NiNis* (los *otros*) que no asumen o desempeñan rol alguno son también interesantes; por ejemplo, contra lo que pudiera suponerse, la mayor proporción se da en áreas rurales donde se concentra más de una tercera parte de los casos, cuando en términos de población total de 15 a 24 años de edad lo que aportan estas áreas es menos de 23 por ciento.

En cuanto a los estratos socioeconómicos de muestra, la tercera parte se concentra en el bajo —que es predominantemente rural— en tanto que más de la mitad lo hace en el medio-bajo. Es posible que los *NiNis* sin rol identificable de las localidades rurales lo sean —al menos en parte— por la naturaleza intermitente de las actividades agrícolas; pero no se descarta que no declaren ni como trabajo económico ni tampoco como doméstico actividades cotidianas, por ejemplo las relacionadas con la agricultura y ganadería de traspatio, en la medida en que consideren que esas actividades no los definen. Es difícil pensar que, literalmente, hagan nada, sino que más bien sucede que la actividad periférica o intermitente que realizan no alcanza para darles una identidad ante sus propios ojos (ver gráfica 9).

Tabla 3

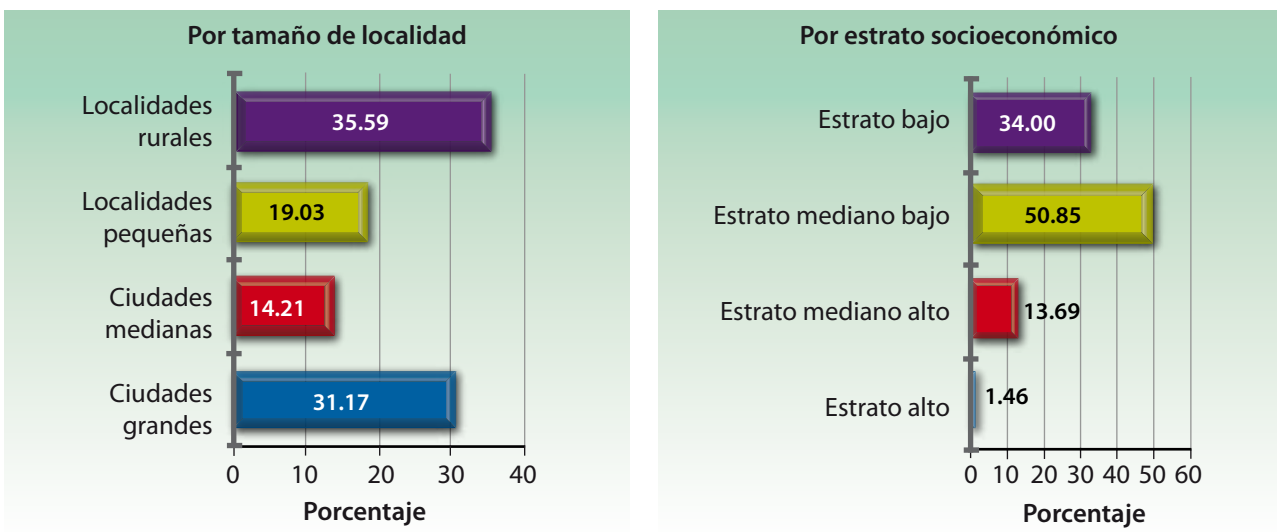
Composición de las cuatro fases de aproximación al fenómeno *NiNi* en México

Porcentaje de su universo	Primera aproximación 14-29 años	*NiNis* enfoque de derechos 14-29 años	*NiNis* enfoque de derechos 15-24 años	*NiNis otros* 15-24 años
Solteros	41.70	44.10	53.62	88.09
Mujeres sin hijos	36.82	37.25	48.44	87.72

Fuente: INEGI. *ENOE. II trimestre del 2011.*

Gráfica 9

NiNis sin rol identificable



Fuente: INEGI. *ENOE. II trimestre del 2011.*

IV. Perspectiva longitudinal

Algo que no se puede perder de vista en este grupo es que resulta, en su conjunto, muy inestable. Dado el seguimiento que le da la ENOE a los mismos hogares durante un año y tres meses, se observa que, al cabo de la quinta visita trimestral, del total de *NiNis* que no desempeñaban rol alguno en el segundo trimestre del 2010, siguen incidiendo en esa condición sólo 13.5% un año después (57 820 casos).[20] Este núcleo duro quizá merezca una atención aparte, pero es un hecho que la mayoría de los *NiNis* así tipificados cambian de estatus a lo largo de los trimestres (ver gráfica 10).

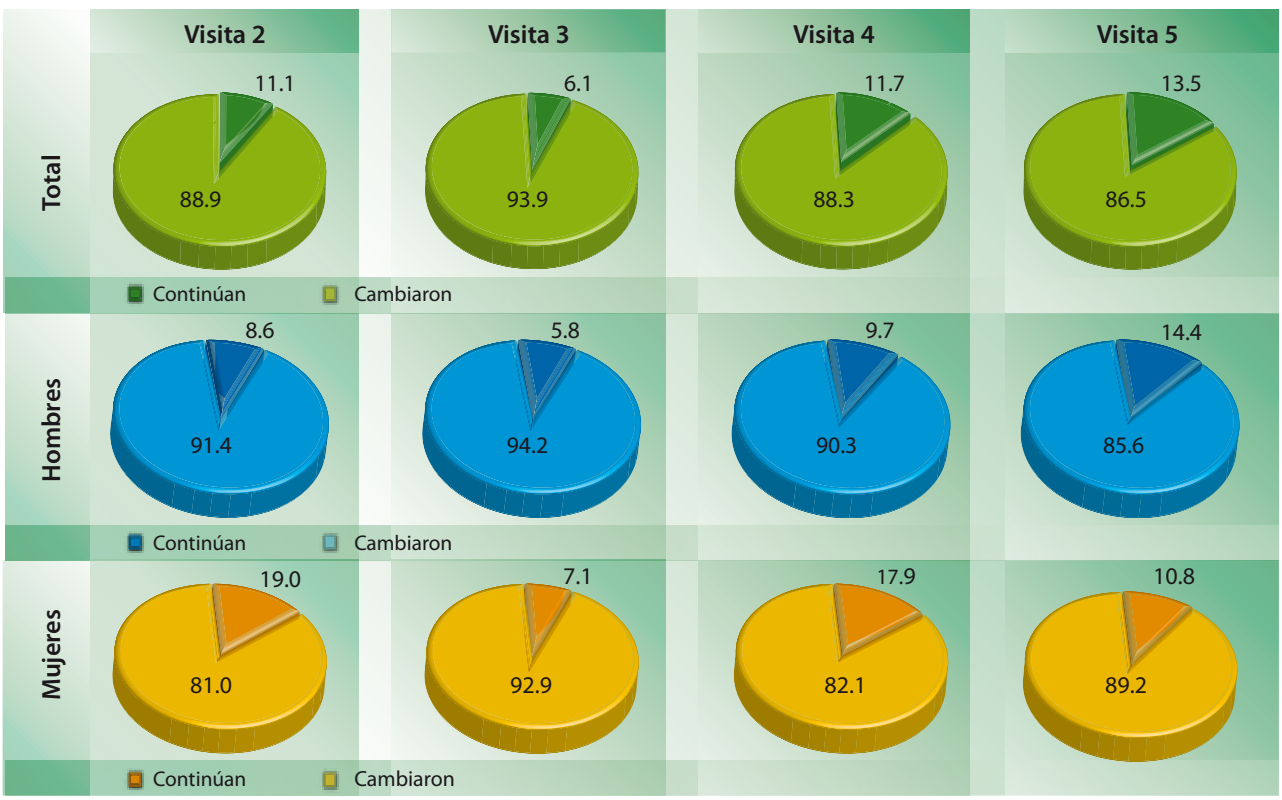
20 Este análisis de permanencia bajo la condición de NiNi sin rol identificable para ver qué porcentaje de ellos queda se hace tomando un panel total de viviendas de la ENOE desde que entran a la muestra hasta que salen; cada panel por separado representa 20% de la muestra total. Para obtener la cifra en absolutos que permanecen al cabo de los cinco trimestres, se aplica 13.51% de permanencia observado en el panel, al monto expandido que da la muestra completa de la ENOE de Ninis sin rol identificable (los otros) de 428 mil individuos (cifra redondeada).

En el seguimiento ENOE de entre quienes cambiaron de estatus, 39% se ocupa de alguna forma mientras que 6.8% intenta activamente entrar al mercado de trabajo, es decir, en promedio algo más de 45% se convierte en PEA; otro 18.1% retorna a los estudios y 18.8% termina participando en quehaceres del hogar o brindando atención a otros, mientras que a 17.3%, es decir, unos 74 mil, se les pierde la pista en este procedimiento debido a que ya no residen en el mismo hogar o la familia se mudó a otra vivienda. Es difícil aventurar si estos últimos casos guardan más en común con los 57 820 que permanecen como *NiNis* sin rol alguno en los hogares observados o si su estatus es tan transitorio como el resto (ver gráfica 11).

Sobra decir que hay un efecto compensatorio de entradas a la condición de *NiNis* sin rol alguno con respecto a las salidas de modo que, visto en un corte transversal en vez de uno longitudinal, no

Gráfica 10

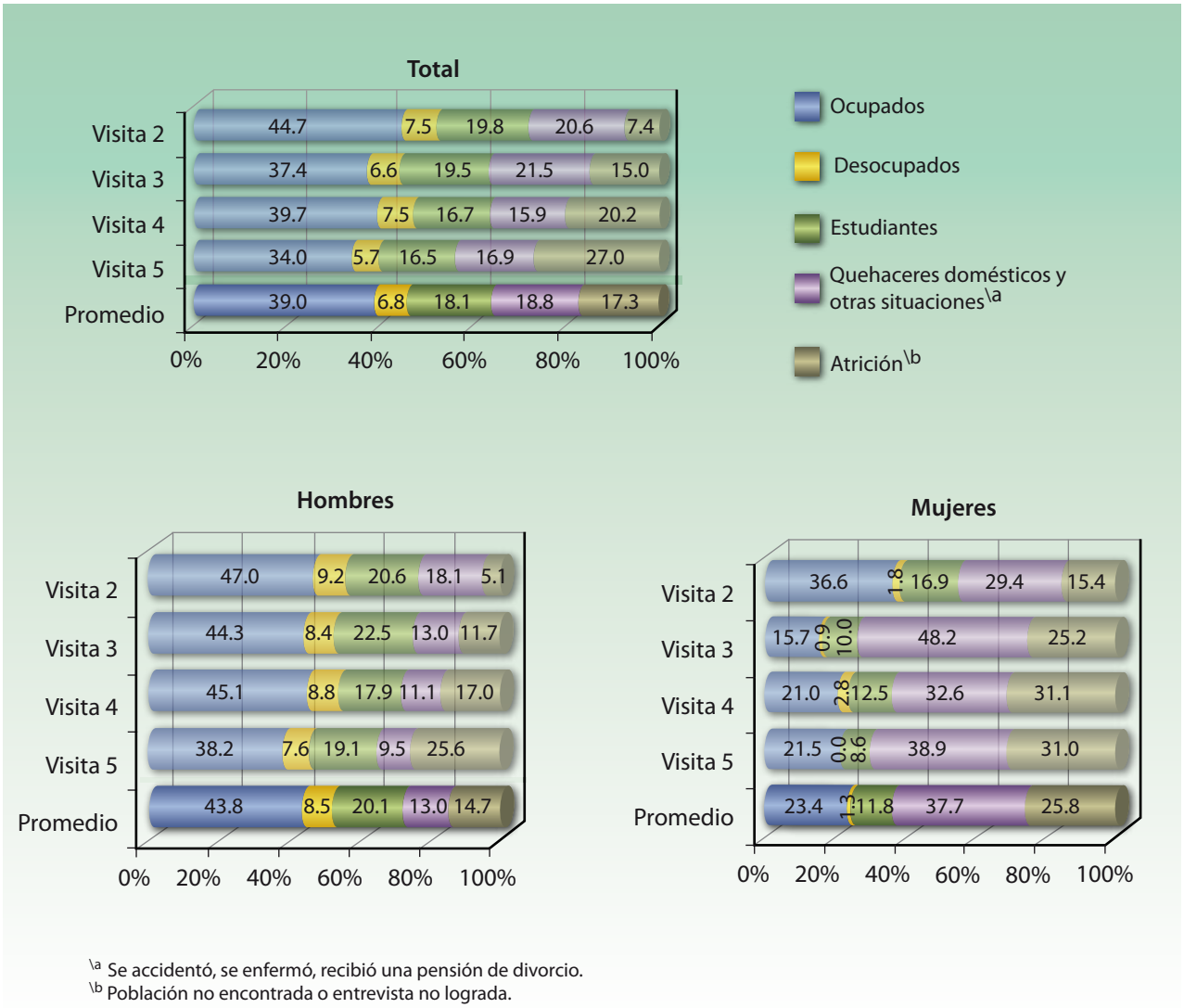
NiNis sin rol identificable. Seguimiento de 100% de casos que se tenían en la visita 1 (segundo trimestre del 2010)



Fuente: INEGI. *ENOE. II trimestre del 2011.*

Gráfica 11

Destino del cambio de estatus de los *NiNis* sin rol identificable. Seguimiento a partir del segundo trimestre del 2010



[a] Se accidentó, se enfermó, recibió una pensión de divorcio.
[b] Población no encontrada o entrevista no lograda.

Fuente: INEGI. *ENOE. II trimestre del 2011.*

se desploma la cifra, orbitando alrededor de los 428 mil ya mencionados; todo dato trimestral que se obtenga de la ENOE en realidad es un saldo neto de movimientos de entrada y de salida con respecto a tal o cual condición; pero el punto a discutir que introduce esta perspectiva longitudinal es: ¿cuál es la referencia temporal que se requiere para determinar que un *NiNi* efectivamente lo sea? Y es que el término parece hablarnos de una condición que define a las personas y no de un simple estado transitorio.

De cualquier forma, esto ilustra las dificultades del literalismo cuando se quiere hablar de *NiNis*. El

absurdo de la aproximación literal es que lo mismo puede quedar en los dos extremos de la exposición que se han abordado hasta ahora: en los más de 7 millones, si se considera que las labores domésticas no son trabajo a tomar en cuenta, o quedando todo en un residual si se toman en cuenta, lo que redirige la atención a quienes de manera continua no desempeñan rol identificable alguno en la reproducción social del hogar. Es por ello que se requiere de un análisis riguroso e introducir criterios significativos para encontrarle un cabal sentido al término *NiNi*.

V. Mirando más allá del término *NiNi*: hacia un indicador útil para las políticas públicas orientadas a la población joven

Llegado hasta este punto del artículo, si bien se ha criticado todo lo que falta precisar con respecto al término *NiNi*, en general nos hemos mantenido en el supuesto de que, una vez afinado y depurado, sería una brújula aceptable para orientar la política pública con respecto a la población joven. ¿Es así?, veámoslo de este modo: ¿trabajar o estudiar son opciones equivalentes entre quienes son menores de edad?, ¿lo son cuando ya hay un mandato constitucional de por medio que establece la educación media superior como un mínimo de escolaridad? Por otra parte, retomemos el asunto de las mujeres adultas que libremente deciden priorizar en su vida los cuidados del hogar: siguen en riesgo de ser contabilizadas como *NiNis* pese a su rol decisivo. De este modo, si un adolescente de entre 15 y 17 años ha desertado del sistema escolar, pero trabaja, no sería un problema para el esquema mental *NiNi* mientras que sí lo sería la mujer (o varón) joven y mayor de edad que decidió centrarse en su familia (un *no disponible en quehaceres del hogar*, para utilizar la terminología de la ENOE). Es como si el término *NiNi* —aun y moderándole en sus absurdos— invitara a cometer en un solo lance tanto el error estadístico tipo 1 como el tipo 2 que, llevado a término, desemboca en una situación del tipo *no están todos los que son ni son todos los que están*. Dicho de otra forma, quedan fuera casos que debieran preocupar al tiempo que se asumen como preocupantes otros que no tienen por qué serlo.

Una vez más, aunque nos hemos ceñido al criterio de población joven de la ONU dejando fuera al segmento de 25-29 años, tenemos que percatarnos de la enorme heterogeneidad que aún subyace al interior del grupo de 15 a 24 años con su mezcla de menores de edad y adultos ¿Debieran abordarse con los mismos criterios? En el apartado III se mencionó la tensión que hay entre un criterio de derechos y uno de agencia moral, ¿podrían manejarse de manera complementaria? La manera más simple de hacerlo es dejar que uno de estos criterios gobierne sobre todo al grupo de edad que normativamente no es libre todavía para tomar decisiones, mientras que el otro tenga mucho mayor cabida en el segmento adulto, de modo que se equilibren ambos criterios al quedar enfocados cada uno según el segmento poblacional para el que son más pertinentes.

Si el criterio de derechos se vuelve uno absoluto para el grupo de menores de edad (15-17 años), en realidad se deja atrás el concepto de *NiNis*. Es el desertar del sistema escolar lo que realmente importa aquí. En cambio, el concepto *NiNi* es salvable para el grupo adulto, concediendo más libertad a las decisiones del segmento poblacional de 18 a 24 años, haciendo para ello uso de una distinción que permite la ENOE aún al interior del componente de los *no disponibles en quehaceres del hogar*, la cual da indicios si la razón por la que las personas priorizan el hogar es por circunstancias impuestas o no. Más adelante se abundará en esto. Lo importante es que se puede construir una población objetivo o de interés con ambos grupos sin que necesariamente el concepto *NiNi* domine en ambos; así, el término se vuelve una herramienta, pero no un fin en sí mismo. Lo que importa es una correcta identificación de la población joven que requiere de una intervención exprofeso de la política pública. Ya que esto tiene dos componentes según el grupo de edad, examinemos por separado las magnitudes que conforman cada uno de ellos.

V.1 Población de 15 a 17 años que ha dejado de asistir a la escuela

Al segundo trimestre del 2011, la población total en el grupo de edad de 15 a 17 años alcanzaba los 6.8 millones, de los cuales 1.93 millones (28.3%) habían dejado de asistir a la escuela[21] (0.99 millones de varones y 0.94 millones de mujeres). La gráfica 12 muestra su distribución por condición de actividad, de los cuales 920 mil (47.7%) son ocupados.

Por su parte, la gráfica 13 ilustra qué tanto se va más allá de este segmento *NiNi* al que se había llegado en el apartado III; llama la atención que la brecha entre la población de 15 a 17 años que simplemente no asiste a la escuela y los *NiNis* que no han consolidado los niveles educativos que corresponden a su edad se acorta entre el 2005 y el 2011, sin todavía dejar de ser muy grande (ver gráfica 13).

Ello es así porque ha disminuido la no asistencia escolar del grupo poblacional entre esos años, pasando de 31.1% de la población total de entre 15 y 17 años en el 2005 a 28.4% seis años después, si bien la población femenina en particular acusa algún repunte después de haber alcanzado el porcentaje más bajo de no asistencia en el 2009 (ver gráfica 14).

V.2 *NiNis* de 18 a 24 años excluyendo el componente al que se le concede libre decisión para priorizar el hogar

En el apartado III se señaló que en el armado de *NiNis* un componente en particular problemático es la población no disponible que identifica su rol

21 De acuerdo con el Manual del entrevistador de la ENOE, se determina que alguien ha dejado de asistir a la escuela cuando ya no está inscrito en ninguna del sistema educativo formal, ver www.inegi.org.mx/sistemas/biblioteca/detalle.aspx?c=10814&upc=702825006554&s=est&tg=0&f=2&pf=EncH

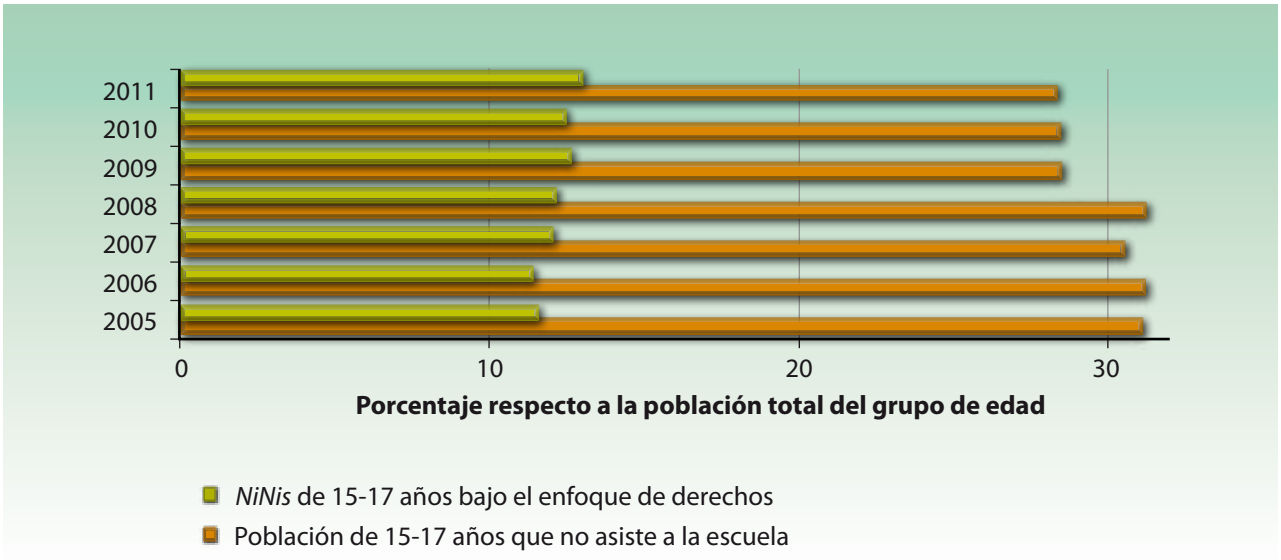
Gráfica 12

Composición por categorías de la ENOE de la población de 15 a 17 años que no asiste a la escuela

Fuente: INEGI. *ENOE. II trimestre del 2011.*

Gráfica 13

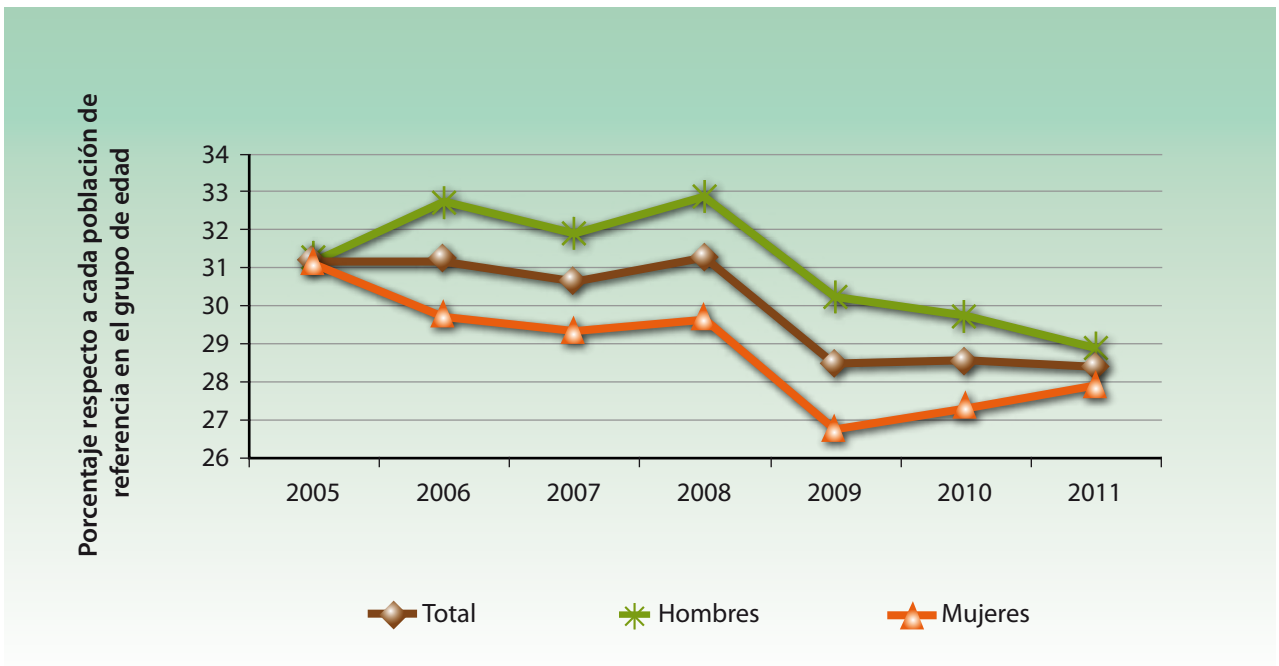
Evolución de la población de 15 a 17 años que no asiste a la escuela, con el concepto de *NiNis* depurado por el enfoque de derechos



Fuentes: INEGI. *ENOE*. Segundos trimestres del 2005 al 2011.

Gráfica 14

Evolución de la población de 15 a 17 años que no asiste a la escuela



Fuentes: INEGI. *ENOE*. Segundos trimestres del 2005 al 2011.

en el hogar.[22] Una manera de tratar de resolverlo era incluyendo en la cuenta a quienes no habían concluido el nivel escolar al que por ley tienen derecho. Este enfoque cobra fuerza con el tramo de población más joven, pudiéndose tornar uno absoluto como lo hemos visto en la sección anterior, pero conforme se avanza en edad es un criterio que tiene que relativizarse porque ya está de por medio una decisión adulta de cuáles son las prioridades en la vida. En este punto cobra importancia un matiz conceptual adicional que introduce la ENOE al distinguir entre la población no disponible que declara tener impedimentos para integrarse al mercado de trabajo de aquella otra que no considera esa opción por quedar fuera de su esfera de interés.[23] Entre los impedimentos que capta la ENOE destaca el no poder encargar a nadie más el cuidado de niños, ancianos o enfermos; no tener estudios suficientes para solicitar un trabajo o, incluso, la oposición de la pareja para poder integrarse al mercado laboral (ver tabla 4). De manera razonable se pudiera pensar que, al menos alguno de estos mismos impedimentos se ha atravesado en el camino de la persona para poder culminar hasta el nivel educativo al que tiene derecho.[24]

Así, de la cuenta total de *NiNis* bajo enfoque de derechos que correspondería al tramo adulto de la población joven (18-24 años), y que asciende en el 2011 a 3.1 millones, deja de incluirse el componente que no declara este tipo de impedimentos al priorizar el rol en el hogar, concediendo un margen de libre decisión o de preferencia revelada al hacerlo, salvo que el analista considere que sabe mejor qué es lo que más le importa y conviene a la persona en cuestión.[25] Este monto de *no disponibles* que priorizan el hogar sin acusar impedimentos o restricciones y que cabría interpretar como de libre decisión son 1.3 millones, de modo que la cuenta *NiNi* a la que se llega, una vez que se dejan fuera, queda en 1.8 millones para el grupo de edad (0.75 millones de hombres y 1.1 millones de mujeres). Por lo demás, no deja de ser muy interesante observar que la distribución por sexo de esta categoría de *NiNis* de 18 a 24 años —en la que, del componente de no disponibles dedicados al hogar sólo permanecen quienes declaran impedimentos para hacer otra cosa— tiende más al equilibrio en el periodo que comienza a cubrir la ENOE a partir del 2005 (ver gráfica 15).

Antes de continuar, conviene hacer un alto, de modo que se tenga presente la composición de las dos categorías de *NiNis* que se están comparando para clarificar cómo se construyen desde el cuestionario temático de la ENOE y en qué bloque estriba la diferencia (ver tabla 4).

Un aspecto de contraste a destacar de esta forma alternativa de identificar *NiNis* en el grupo de edad con respecto al de enfoque de derechos, es que muestra cierta sensibilidad con respecto al *shock* económico del 2009, de modo que mientras entre

22 Se debe recordar que los componentes de una cuenta NiNi son: 1) Desocupados que no estudian, 2) Disponibles para trabajar que no estudian (la primera una categoría de mercado de trabajo y la segunda una relativamente cercana al mismo), 3) La población no disponible que no asiste a la escuela centrada en quehaceres del hogar y 4) Población no disponible sin rol identificable alguno (los otros). En el presente apartado se centra la atención en una distinción específica que la ENOE permite al interior del punto 3 antes de sumarse a los restantes componentes y que será, por ende, el factor que marque la diferencia con respecto al agregado del enfoque de derechos.

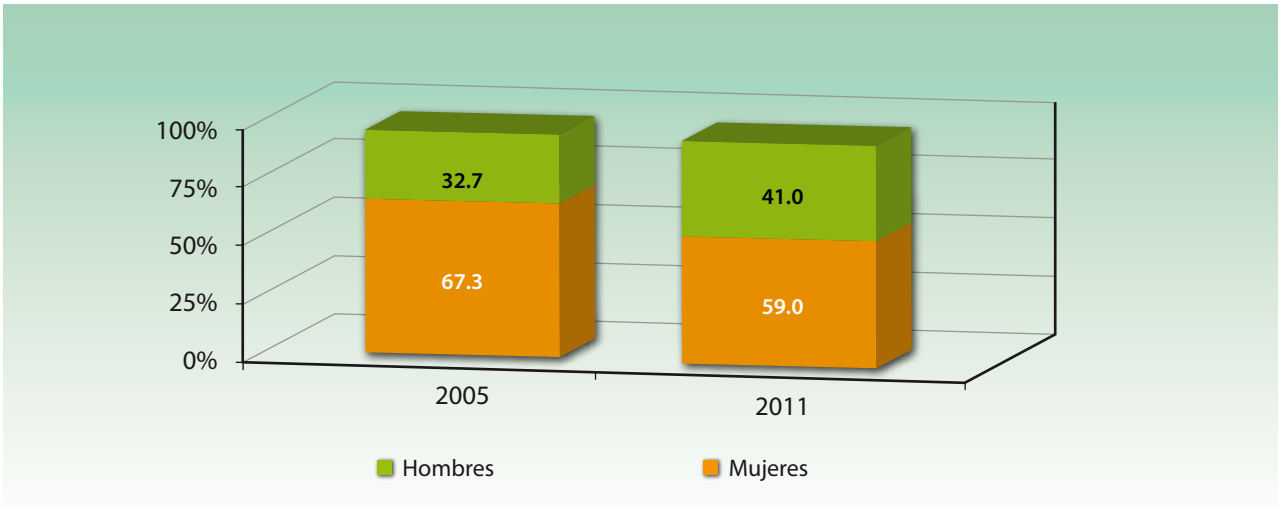
23 Esta terminología la puede ver el usuario de los datos trimestrales de la ENOE en la salida denominada indicadores estratégicos (IE), en el desglose que ahí se hace de la población no económicamente activa (segmento 8). Ver sitio www.inegi.org.mx/sistemas/tabuladosbasicos/tabtema.aspx?s=est&c=28822; debe advertirse que los conceptos en los IE aplican a toda la población mayor de 14 años y no a un tramo de edad específico y que, además, no asiste a la escuela, como el que aquí se está discutiendo.

24 *Cfr.* nota 18.

25 Podría aducirse la objeción de que, sobre todo la población femenina que se estaría dejando fuera de la cuenta, sólo hace suyos roles de subordinación aunque no reconozca de manera consciente impedimentos propiamente dichos. Ésta se vuelve una tesis infalsable en el sentido popperiano porque, sencillamente, no deja margen alguno para concebir bajo qué condiciones sería refutable: al situarse más allá de lo que pudiera clarificar la evidencia empírica, ésta no deja de ser una posición doctrinal. Fuera de ella pudiera optarse por default la perspectiva de preferencia revelada: en ausencia de impedimentos declarados no está fuera de lugar el pensar que la gente termina haciendo lo que maximiza su función de utilidad, aun cuando a ésta no la podamos medir de forma directa. La alternativa entre un enfoque feminista radical y uno de preferencia revelada sería adoptar, como ya se mencionó en el apartado II, la perspectiva del bienestar subjetivo que, a diferencia de la mencionada, concibe que lo que termina eligiendo la gente (utilidad esperada) termina por no coincidir con la utilidad experimentada (Frey, 2008) y que la mejor manera para saberlo es preguntarle directamente a los individuos por su satisfacción actual con la vida y/o con las tareas que desempeña. Las estrategias de captación estadística en las que se centra esta aproximación son prometedoras, pero aún tentativas (OCDE, 2012), y cabe reiterar que el INEGI ya las ha iniciado de manera experimental (cfr. nota 16). Por todo ello, se adopta aquí la posición por default de que un individuo adulto, cuando prioriza el hogar sin ninguna otra restricción o impedimento manifiesto, sabe lo que está haciendo, con un margen de libertad en su decisión. En la ENOE, a través de la pregunta 2e (¿Es usted…?) se detecta cuando la persona define su identidad en términos de quehaceres del hogar; en la 2f (Actualmente ¿tiene necesidad de trabajar?) si el trabajo de mercado se encuentra o no dentro de su esfera de interés y en la 2g (¿Hay alguna otra razón por la que no esté buscando trabajo?), donde se identifica en concreto si hay impedimentos que pesan sobre la persona para integrarse al mercado laboral (ver tabla 4).

Gráfica 15

Composición porcentual por sexo de la población *NiNi* de 18 a 24 años excluyendo a los que se les concede libre decisión para priorizar el hogar



Fuente: INEGI. *ENOE. II trimestre del 2011.*

Tabla 4

Continúa

Comparativo de la composición de las categorías de *NiNis* bajo enfoque de derechos y la que toma en cuenta la decisión de los no disponibles centrados en el hogar: ambas categorías para población joven adulta (18-24 años)

Composición	Categoría	
	NiNis bajo enfoque de derechos	*NiNis* excluyendo a los de libre decisión
1) Desocupados (desempleados abiertos) que no estudian	Buscadores activos de trabajo Pregunta 2 (formas de búsqueda de empleo) Pregunta 2b = 1 (en donde se determina si la búsqueda ha sido reciente o remota en el tiempo)	Buscadores activos de trabajo Pregunta 2 (formas de búsqueda de empleo) Pregunta 2b = 1 (en donde se determina si la búsqueda ha sido reciente o remota en el tiempo)
2) Disponibles para trabajar que no estudian	Personas o que: a) dejaron de buscar trabajo (p2b = 2 ó 3) estando aún disponibles para trabajar (p2c = 1) o b) no buscan pero que en la pregunta 2f declaran que tienen… b.1) deseos de trabajar de darse una oportunidad (2f = 2) o b.2) necesidad de trabajo, pero sin aducir motivo alguno para no estar buscando el trabajo que dicen necesitar (2f = 1 y 2g = 2,9)	Personas o que: a) dejaron de buscar trabajo (p2b = 2 ó 3) estando aún disponibles para trabajar (p2c = 1) o b) no buscan pero que en la pregunta 2f declaran que tienen… b.1) deseos de trabajar de darse una oportunidad (2f = 2) o b.2) necesidad de trabajo, pero sin aducir motivo alguno para no estar buscando el trabajo que dicen necesitar (2f = 1 y 2g = 2,9)

Tabla 4 Concluye

Comparativo de la composición de las categorías de *NiNis* bajo enfoque de derechos y la que toma en cuenta la decisión de los no disponibles centrados en el hogar: ambas categorías para población joven adulta (18-24 años)

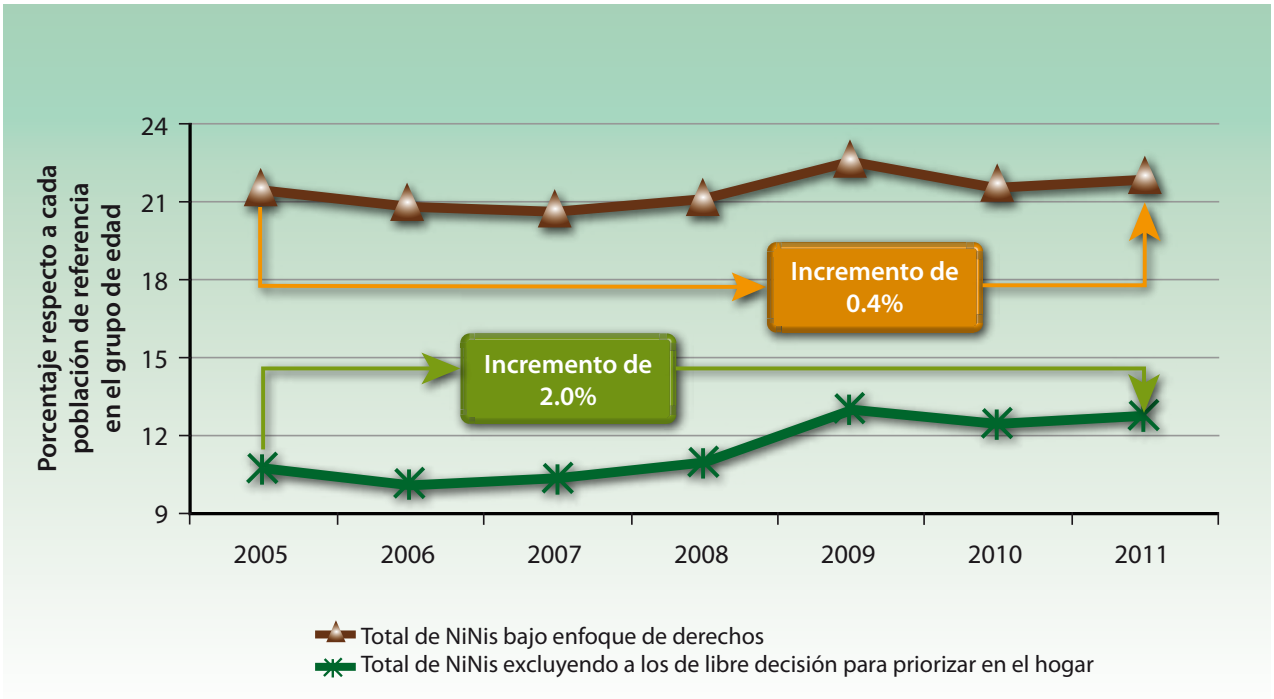
Composición	Categoría	
	NiNis bajo enfoque de derechos	*NiNis* excluyendo a los de libre decisión
3) No disponibles centrados en quehaceres del hogar que no estudian	18 años: sin tener un solo año cursado de bachillerato. 19-24 años: sin tener el bachillerato completo. Ambos casos sin tomar en cuenta su declaración de si tienen o no deseos o necesidad de trabajar en la pregunta 2f. Incluye tres secuencias en el cuestionario ENOE: 1) 2e = 4 (quehaceres del hogar); 2f = 1 (tiene necesidad de trabajar) y 2g = 1 (hay impedimentos para trabajar) 2) 2e = 4 (quehaceres del hogar); 2f = 2 (tiene deseos de trabajar) y 2g = 1 (impedimentos) 3) 2e = 4 (quehaceres del hogar); 2f = 3 (no tiene necesidad ni deseos de trabajar)	De quienes responden 2e = 4, se excluyen los no disponibles en quehaceres domésticos que en la pregunta 2f declaran la opción 3 (no tiene necesidad ni deseos de trabajar), se incluyen quienes declaran en 2f que tienen ya sea necesidad o deseos de trabajar (opciones 1 ó 2), pero que, pese a esa necesidad, no buscan trabajo por una serie de impedimentos (pregunta 2g); entre los aducidos destacan: a) no contar con la escolaridad o con papeles que acrediten ésta o una experiencia laboral; b) estar embarazada; c) no tener quien le cuide hijos pequeños, ancianos o enfermos; d) no la deja un familiar. Cabe reiterar que si alguien en la pregunta 2f declara la opción 1 (tiene necesidad de trabajar) o la opción 2 (tiene deseos de trabajar) sin aducir en 2g cuál es la razón por la que, teniendo la necesidad, no se busca trabajo (2g = 2 ó 9) se le considera parte de la población disponible.
4) No disponibles sin rol identificable en el hogar	En el cuestionario de la ENOE contestan las opciones 6 y 9 de la pregunta 2e, lo que deja en claro que descartan opciones tales como: 1) estar ausente de manera temporal del trabajo 2) vivir de algún tipo de pensión o indemnización 3) ser estudiante o 4) dedicarse a quehaceres del hogar y que, además, a la pregunta 2f contestan que no tienen necesidad ni deseos de trabajar (2f = 3) o sencillamente eluden responderla (2f = 9)	En el cuestionario de la ENOE contestan las opciones 6 y 9 de la pregunta 2e, lo que deja en claro que descartan opciones tales como: 1) estar ausente de manera temporal del trabajo 2) vivir de algún tipo de pensión o indemnización 3) ser estudiante o 4) dedicarse a quehaceres del hogar y que, además, a la pregunta 2f contestan que no tienen necesidad ni deseos de trabajar (2f = 3) o sencillamente eluden responderla (2f = 9)

el 2005-2008 significaba 10 u 11% de la población total de 18 a 24 años, en el 2009 se aproximaba a 13% y en el 2011, a 12.7% de dicha población. Cierto que es una magnitud inferior a la cuenta de *NiNis* bajo enfoque de derechos a la que se había llegado en el apartado III.5 (con respecto a la cual todo es igual salvo en el manejo de los *no disponibles en quehaceres del hogar*) y que para el grupo de edad en el 2011 se aproximaba a 22%, pero aquí lo importante no es que baje la proporción con respecto al grupo de edad, sino que una vez que el factor electivo entra en juego, se evidencia más el vínculo con el ciclo económico o la reacción frente a él se torna más palpable (ver gráfica 16).

Dicho de otra forma, esta diferencia de sensibilidad frente a la problemática laboral parece ser en sí misma indicativa que el segmento excluido en esta nueva propuesta no tiene preferencia por el mercado de trabajo y que, mientras estaba presente no

Gráfica 16

Comparativo de *NiNis* de 18 a 24 años bajo un enfoque de derechos con criterio alternativo que excluye a los que se les concede libre decisión para priorizar el hogar



Fuentes: INEGI. *ENOE*. Segundos trimestres del 2005 al 2011.

permitía visibilizar del todo bien la reacción frente a la coyuntura económica del resto de casos que no asiste a la escuela (*desocupados*, *disponibles*, *no disponibles que priorizan el hogar bajo el peso de impedimentos* y *no disponibles sin rol alguno*). El uso aquí pues del término preferencia no es en modo alguno arbitrario, y sólo separando el grupo de jóvenes adultos de los no adultos puede realmente introducirse en la discusión.

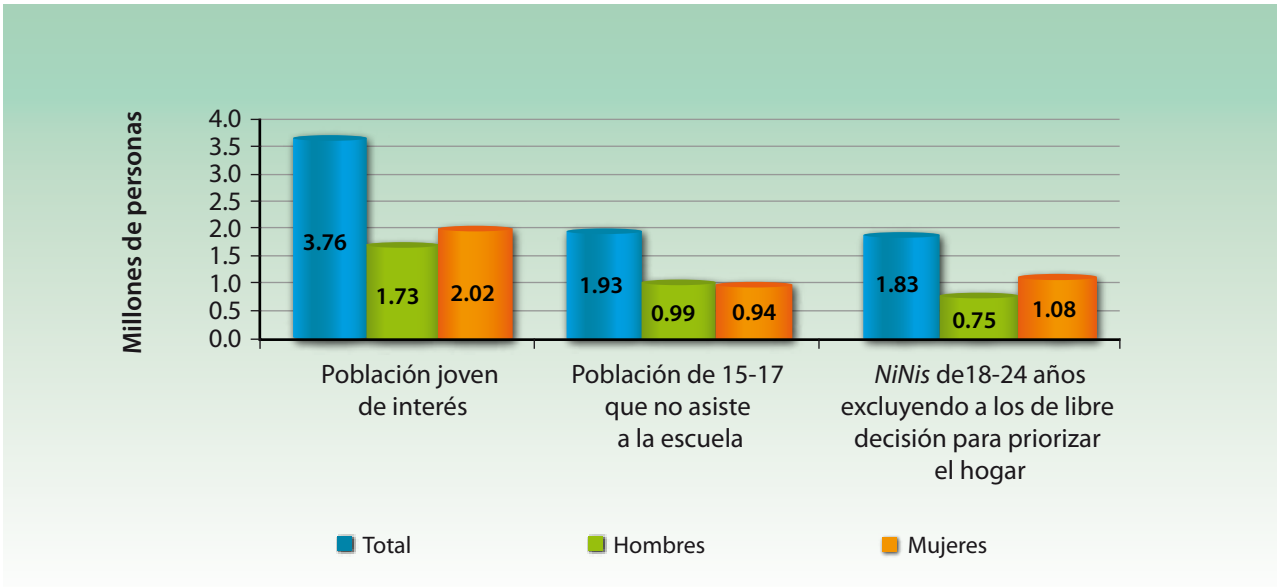
V.3 Integración final: hacia una contabilización que tenga sentido de la población joven que cabría retener en el sistema educativo o incorporar al ámbito del trabajo de mercado

En el desarrollo de este apartado V se ha adoptado un enfoque donde se separan los grupos de edad jóvenes no adultos (15-17 años) de los adultos jóvenes (18-24 años) para abordar a cada uno con el criterio más pertinente según estén o no facultados para tomar decisiones. Ahora, cabría visualizar qué se obtiene al conjuntar ambos. La suma nos da 3.8 millones y lo que aporta cada grupo de edad según el criterio que aplica en cada uno son magnitudes aproximadamente similares (1.93 millones de jóvenes que han dejado el sistema educativo y 1.83 millones de *NiNis* de 18 a 24 años bajo un enfoque que distingue, entre los *no disponibles* que priorizan el hogar, si hay o no preferencia o libre elección) (ver gráfica 17).

Desde el punto de vista de la composición por sexo si bien siguen predominando las mujeres (2 millones frente a 1.7 millones de hombres) se alcanza el mayor equilibrio que en cualquier otra aproximación por efectos compensatorios de lo que se identifica en uno y otro grupo de edad (ver gráfica 18).

Gráfica 17

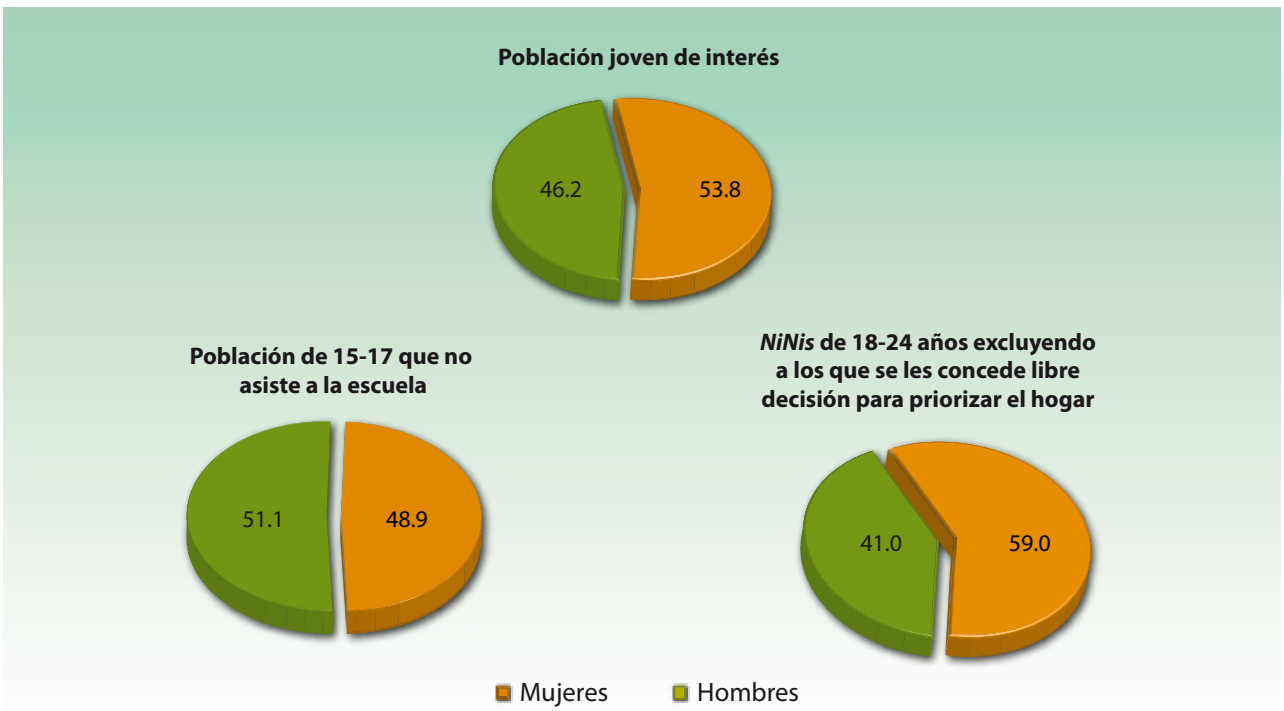
Población joven que cabría retener en el sistema educativo o incorporar al ámbito de trabajo



Fuente: INEGI. *ENOE. II trimestre del 2011.*

Gráfica 18

Estructura por sexo de la población joven que cabría retener en el sistema educativo o incorporar al ámbito del trabajo



Fuente: INEGI. *ENOE. II trimestre del 2011.*

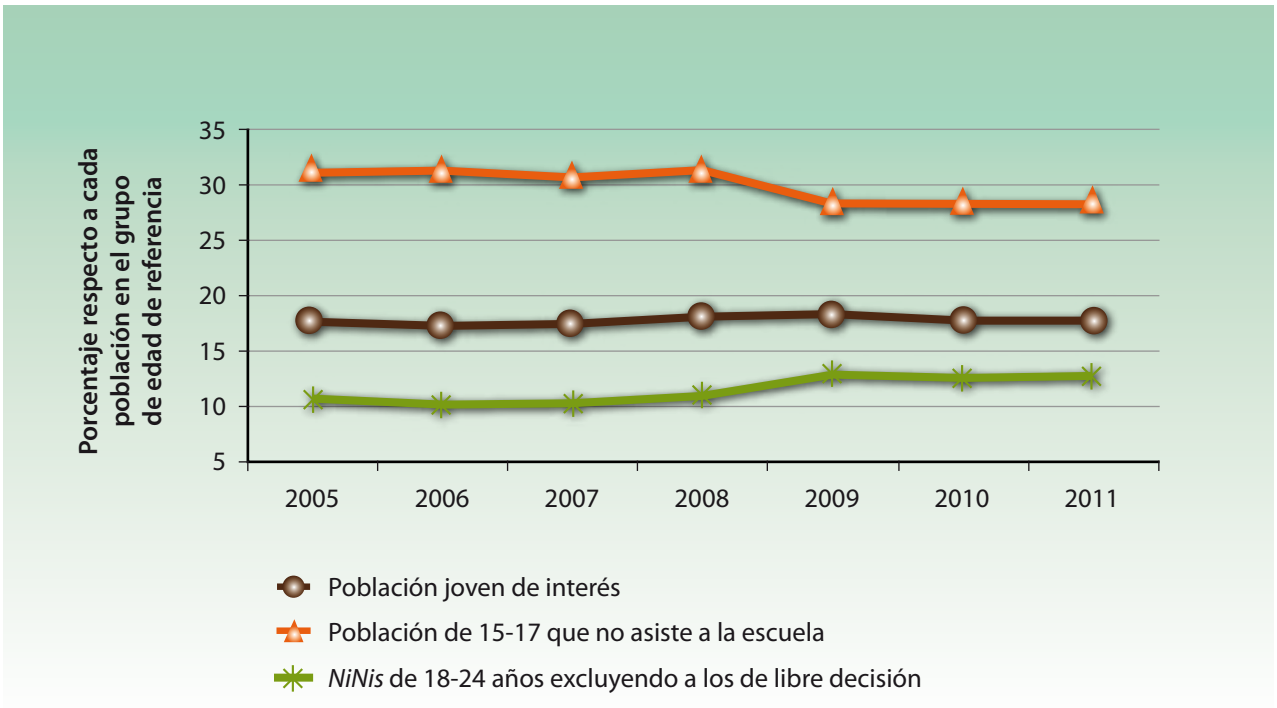
Visto el conjunto bajo una perspectiva intertemporal 2005-2011, también se dan efectos compensatorios: mientras el porcentaje de población de 15 a 17 años que ha abandonado el sistema escolar desciende, la población de *NiNis* de 18 a 24 años (donde se excluye de los *no disponibles* a quienes ejercen una preferencia o libre decisión al priorizar el hogar) sufre un envión a raíz del *shock* del 2009. El resultado es que la población de interés que va desde los 15 hasta los 24 años se mantiene ligeramente por debajo de 18% de todo el grupo de edad entre el 2005 y el 2011: 17.6 y 17.8%, respectivamente, diferencias que, es probable, no sean siquiera estadísticamente significativas (ver gráfica 19).[26]

Es claro, por lo demás, que aunque se les vea de una manera agregada, las políticas públicas y sus énfasis serán necesariamente diferentes para los dos subgrupos de edad que aquí se están identificando: retención en el sistema escolar de los jóvenes de 15 a 17 años (tomando en cuenta el costo de oportunidad de regresar a las aulas de aquellos que ya están trabajando) y una política de mayor énfasis en lo laboral respecto al grupo de 18 a 24 años acompañado con más infraestructura social (guarderías y atención a adultos mayores, por ejemplo) para permitir la inserción en el mercado de trabajo, en especial de mujeres jóvenes con esa carga o que, al menos, aumenten su margen de libertad a la hora de identificar sus prioridades en la vida. La moraleja de esto es que bien pudiéramos estar hablando de dos indicadores y no de uno solo que, en tándem, resultarían mejores guías de la política pública: algo que al menos en un plano psicológico rema contra la corriente, dada la tendencia a esperar

26 No hay que perder de vista que los datos de la ENOE provienen de una encuesta probabilística de modo que, cuando se comparan datos en dos momentos distintos, la diferencia entre ellos no necesariamente implica que son diferencias del dato poblacional que se está estimando, sino que también pueden obedecer a que dos muestras (una en el periodo t y la otra en el t+n) difieren entre sí por razones aleatorias que se ven reflejadas en sus respectivas estimaciones. Cuando las diferencias son muy pequeñas, lo más factible es que provengan de esta aleatoriedad y no del fenómeno en sí que se está midiendo; se dice entonces que éstas no son estadísticamente significativas.

Gráfica 19

Evolución del total de población joven (15-24 años) que cabría retener en el sistema educativo o incorporar al ámbito del trabajo



Fuentes: INEGI. *ENOE*. Segundos trimestres del 2005 al 2011.

que un solo concepto lo resuelva y diga todo en el debate mediático en México.[27]

Conclusiones

Tras la idea de los *NiNis* subyace no sólo una descripción sino, asimismo, una prescripción: pareciera que los roles sociales aceptables para la población joven en edad de trabajar son únicamente los estudios o el mercado laboral.

Quienes hacen uso del término, lo mismo que los generadores de información, tienen que entender mejor cómo toman decisiones las personas. La ENOE es un avance en este sentido y también lo son las encuestas de uso del tiempo; sin embargo, probablemente se necesita incursionar más allá, complementando con aproximaciones novedosas (como el enfoque de bienestar subjetivo) para no especular sobre la satisfacción/frustración de grupos poblacionales tanto con respecto a su inserción laboral como educativa.[28]

Lo que no deja de ser algo básico es que las personas *no disponibles para trabajar dedicadas a los quehaceres del hogar* bajo ninguna circunstancia deben ser incluidas de forma sumaria en una cuenta de *NiNis*, lo que de entrada descarta como dato de referencia a la cifra de 7 millones.

Un enfoque de derechos ayuda a establecer distinciones al interior de quienes priorizan su rol en el hogar, pero aun así, el tema de las responsabilidades que se tienen en cuanto a cuidados a terceros hace extremadamente controversial la clasificación como *NiNis* de población no disponible en el grupo de 25 a 29 años y lo siguen siendo en general para quienes ya tienen la mayoría de edad. Lo conducente, entonces, es ceñirse a la definición de población joven de la ONU, que es de 15 a 24 años. Por esta vía se llega a un máximo de 4 millones de casos que no trabajan ni tampoco han hecho efectivos sus derechos educativos. No menos crucial es cuantificar al interior de este monto al grupo que no desempeña ningún rol identificable en el hogar y que es, en su mayoría, masculino. Hay que hacerlo para que esta magnitud, que representaría algo más de 10% de esos 4 millones, deje de convertirse en el rostro emblemático del *NiNi* una vez que se le dimensiona.

La edad importa, y mucho, en esta discusión. Una alternativa quizá más orientada a la política pública no debe perder de vista cuándo una persona está legalmente facultada para tomar decisiones y cuándo no, entender que pueden ser más pertinentes criterios diferenciados según se haya alcanzado o no la edad adulta. Esta distinción permite darle más fuerza al enfoque de derechos sobre el grupo joven no adulto (15-17 años) que ha dejado de asistir a la escuela, en tanto que concede un mayor margen de decisión al de 18 a 24 años, en particular cuando se trata de población no disponible que prioriza las labores del hogar. A este respecto, la ENOE proporciona indicios de cuándo puede haber libre decisión y cuándo no o, si se quiere, cuándo a un individuo se le impone su contexto y cuándo tiene un margen de decisión frente a él. Combinando criterios diferenciados, si bien se llega a una cifra similar (3.8 millones) a la aproximación por enfoque de derechos aplicado a todo el grupo de 15 a 24 años (4 millones), tanto la composición por sexo como la sensibilidad con respecto a los *shocks* económicos resultan distintas. Los autores nos inclinamos por la aproximación diferenciada según la edad y consideramos, en realidad, no sólo irrelevante sino como un distractor el que el término como tal de *NiNis*

27 La obsesión por cargarle a un solo indicador todo el significado de lo que sucede ha sido en particular nociva en México (por ejemplo, en el debate sobre los mercados laborales), llegando al punto de que ha impedido una cabal comprensión de lo que sucede en ellos, cuáles han sido sus mecanismos de ajuste y los fenómenos que de ahí derivan. Para quien quiera adentrarse en este otro ejemplo de cómo dicha obsesión es un paradigma con el que hay que romper, ver Negrete, R., cfr. nota 12.

28 Aun con todas sus ventajas, es importante reconocer que la ENOE no resuelve todas las preguntas necesarias para encuadrar de manera exhaustiva los problemas de exclusión voluntaria o involuntaria de las actividades educativas o laborales que inciden sobre los distintos grupos de población joven. Así, por ejemplo, no nos permite distinguir si la no participación en actividades educativas de personas entre 25 y 30 años es o no una decisión tomada de forma libre a partir de las preferencias de los individuos. Sin embargo, como se ha mostrado a lo largo de este documento, una aproximación al tema de los *NiNis* en México que tenga sentido deberá tomar en consideración la información ofrecida por la ENOE.

se aplique al grupo de 15 a 17, ya que el abandono del sistema educativo es una prioridad por arriba de si jóvenes no adultos se encuentran trabajando o no. En el límite, lo que importa es identificar a los grupos de población joven que requieren intervención de la política pública y si ello precisa de más de un concepto que no se agote en el de *NiNi*, que así sea, pues éste debe ser una herramienta para resolver ciertos problemas y no convertirse en un lecho de Procusto. Hay que tener en claro tanto su alcance como sus limitaciones.

Por último, en la definición de *NiNis* (cualquiera que se adopte) no hay que perder de vista la problemática de permanencia frente al de transitoriedad: ¿cuál es el periodo de observación que confirma que alguien que parece *NiNi* efectivamente lo es?

Así, y mientras no se hayan tomado en cuenta todo este tipo de consideraciones, los datos que se quieran proporcionar sólo competirán por posicionarse en los medios con base en su cruda magnitud, sin tener *Ni* consistencia *Ni* sentido.

Referencias

Arceo Gómez, Eva O. "Quiénes son los *NiNis* en México", en: *Serie Documentos de Trabajo*. Núm. VIII. Centro de Estudios Económicos, El Colegio de México AC, agosto del 2011.

Cárdenas, Mauricio; Rafael de Hoyos y Miguel Székely. "Idle Youth in Latin America: A Persistent Problem in a Decade of Prosperity", en: *Latin American Initiative*. Brookings Institution, August 2011.

Clifton, Jim. "The Coming Job Wars", en: *Gallup Press*. Nueva York, 2011.

Durán Hera, María Ángeles; Inmaculada Serra Yoldi y Rebeca Torada. *Mujer y trabajo, problemática actual*. Valencia, Ed. Germanía, 2001.

"Narro pide centrar políticas en jóvenes", en: *El Universal*, 12 de agosto de 2010.

"Exige el arzobispado opciones para ninis", en: *El Universal*, 24 de julio de 2011.

"Sólo cinco estados con programas para ninis", en: *El Universal*, 24 de julio de 2011.

Frey, Bruno S. "Happiness: a Revolution in Economics", en: *Munich Lectures in Economics*. Cambridge, Massachusetts-London, England, The MIT Press, 2008.

García, Brígida y Orlandina de Oliveira. *Trabajo femenino y vida familiar en México*. El Colegio de México, 1994.

_____*Trabajo extradoméstico y relaciones de género: una nueva mirada*. El Colegio de México, 2007.

Giovannini, E.; Jon Hall; Adolfo Morrone y Giulia Ranuzzi. *A Framework to Measure The Progress of Societies. Draft OECD Working Paper*. Paris, September 2009.

INEGI. *Sistema de Cuentas Nacionales de México. Cuenta satélite del trabajo no remunerado de los hogares de México 2003-2009*. México, INEGI, 2011, pp. 398-416.

_____*Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo (ENOE). Microdatos, segundo trimestre del 2011*. Disponible en: www.inegi.org.mx/sistemas/microdatos2/encuestas.aspx?c=27614&s=est

Metzgar, Jack. "Are the Poor Part of the Working Class or in a Class by Themselves", en: *Labour Studies Journal*. Vol. 35, num. 3. September 2010.

"Existen siete millones de *ninis* en México, insiste Narro Robles", en: *Milenio*, 23 de agosto de 2010.

ONU. "The World Programme of Action for Youth to the Year 2000 and Beyond: Strengthening United Nations Commitment to Youth", en: *United Nations Economic and Social Council (ECOSOC)*. NY, UN, 2000.

Navarrete, Emma Liliana. *Jóvenes que no estudian ni trabajan en la primera década del siglo XXI en México*. XI Reunión Nacional de Investigación Demográfica en México, Aguascalientes, 30 de mayo a 1 de julio de 2012.

Negrete, Rodrigo. "El Indicador de la polémica recurrente: la tasa de desocupación y el mercado laboral en México", en: *Realidad, Datos y Espacio. Revista Internacional de Estadística y Geografía*. Vol. 2, núm. 1, enero-abril del 2011, pp. 145-168.

_____"El concepto estadístico de informalidad y su integración bajo el esquema del Grupo de Delhi", en: *Realidad, Datos y Espacio. Revista Internacional de Estadística y Geografía*. Vol. 2, núm. 3, septiembre-diciembre del 2011, pp. 76-95.

OCDE. *Statistics from A to Z*. Disponible en: www.oecd.org/document/39/0,3746,en_2649_201185_46462759_1_1_1_1,00.html

_____*StatExtracts*. Disponible en: http://stats.oecd.org/Index.aspx

_____*Education at Glance 2010*. Disponible en: www.oecd.org/document/52/0,3746,en_2649_39263238_45897844_1_1_1_1,00.html

_____"Gender Equality: Education-Employment-Entrepreneurship" en: *Genderintiative*. APEC, 2011. Disponible en: www.state.gov/documents/organization/171239.pdf

Measuring Subjective Well-Being: Concept and Validity. Draft paper 1. París, febrero del 2012.

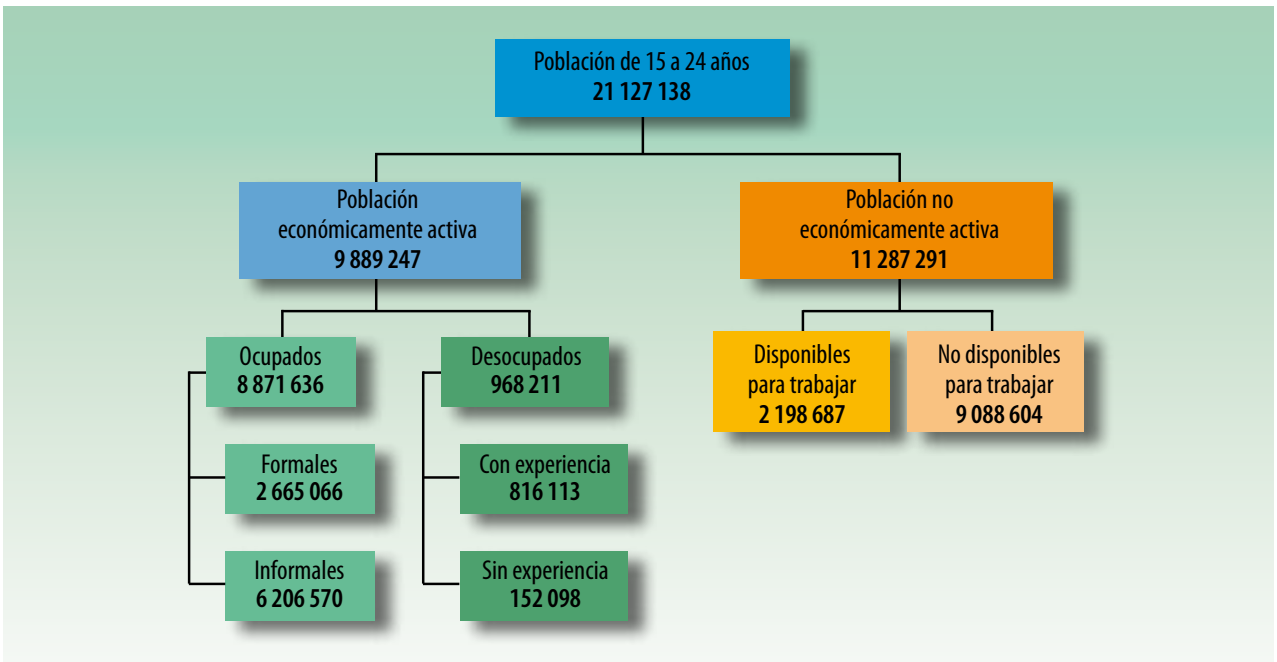
Robson, Karen. "The Afterlife of NEETs", en: Attewell, Paul; Katherine S. Newman (eds.). *Growing Gaps. Educational Inequality Around the World*. Oxford University Press, 2010, p. 181.

Yates, Scott y Malcolm Payne. "Not so NEET? A Critique of the Use of 'NEET' in setting targets for interventions with Young People", en: *Journal of Youth Studies*. UK, July 2006, pp. 329-344.

Anexos

Anexo 1

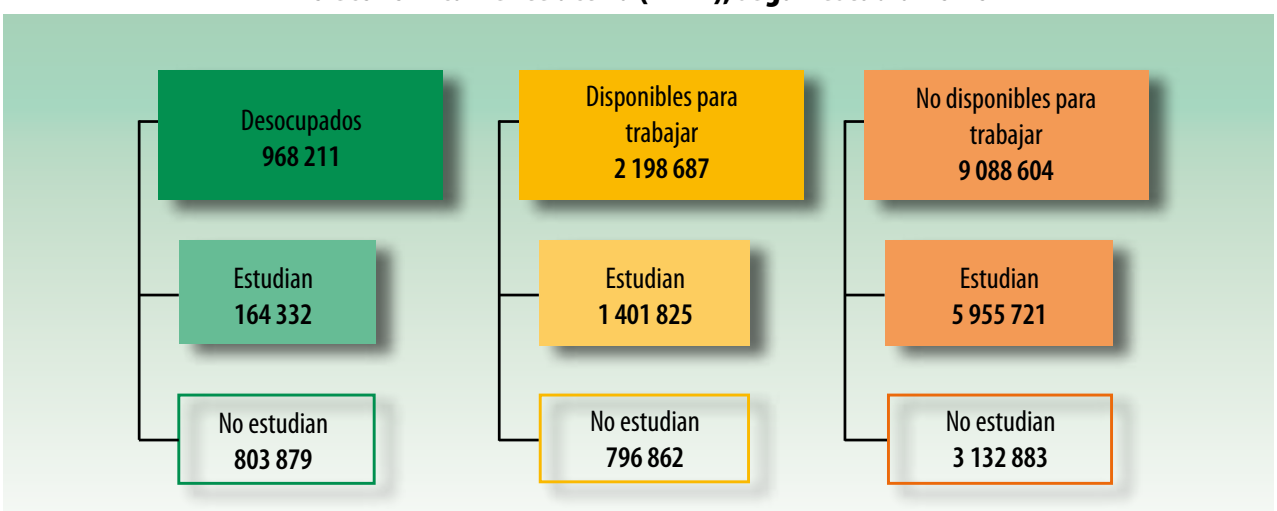
Esquemas de la población de 15 a 24 años de edad



Fuente: INEGI. ENOE. *II trimestre del 2011.*

Anexo 2

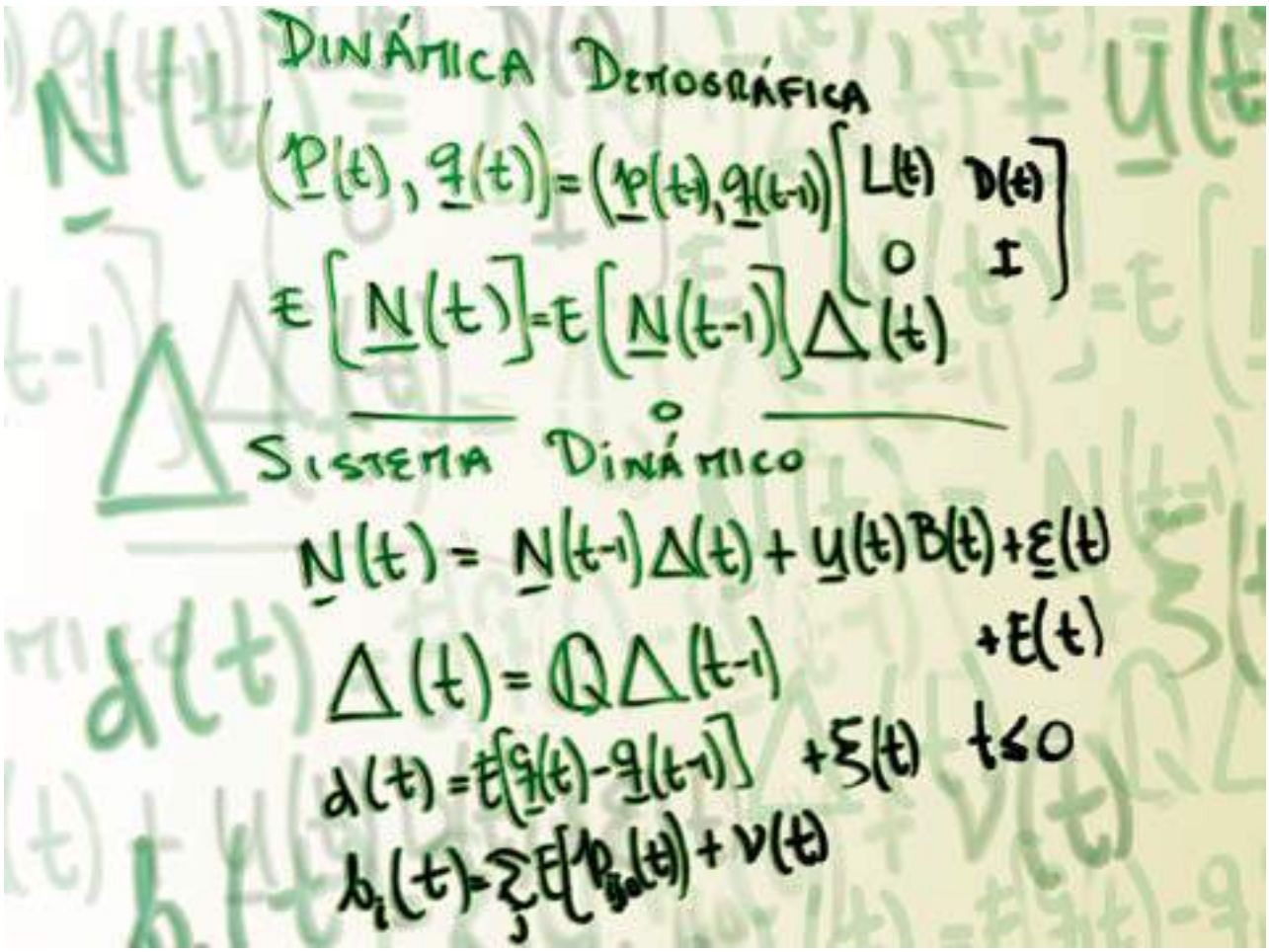
Distribución de población de 15 a 24 años en categorías de desocupados y de población no económicamente activa (PNEA), según estudian o no



Fuente: INEGI. *ENOE. II trimestre del 2011.*

Estimación markoviana del tamaño y de las estructuras de una población

Alfredo Bustos



El conocimiento del tamaño presente y futuro de la población de un país, así como de su estructura y distribución por edad, sexo y entidad federativa, es central para la planeación, presupuestación e instrumentación de diversas actividades públicas y privadas. Se reconoce que, en ausencia de registros oportunos y confiables, es imposible conocer dicho tamaño con precisión suficiente salvo tal vez para el momento a que se refiere un resultado censal. La mejor alternativa para cualquier otro periodo está en la estimación de la evolución de dicho tamaño a través de la consideración simultánea de las tasas de fecundidad, mortalidad y migración que afectarán a la población bajo estudio durante el periodo de estimación. Las matrices de transición, estructuras imprescindibles en el estudio de las denominadas Cadenas de Markov, se prestan de manera casi natural al estudio de la mencionada evolución, aunque requieren ajustes que permitan el cambio en el tamaño de la población de un periodo al siguiente. Su aplicación directa permite seguir la evolución del valor promedio del tamaño poblacional, como consecuencia de las tasas asumidas, para cada uno de los periodos futuros bajo consideración. Adicionalmente, dichas estructuras permiten determinar los tamaños probables de las variaciones alrededor de los promedios estimados a través de la simulación estocástica de la evolución de éstos un gran número de veces. En este trabajo, partiendo de las semejanzas entre algunas estructuras básicas de la demografía y las de las Cadenas de Markov, se presentan extensiones y precisiones a algunas propuestas en la literatura. Se mostrarán, también, algunas aplicaciones de los anteriores resultados al caso mexicano para la década 2000-2010 y se los compara con las estimaciones obtenidas por CONAPO. Se concluye que las estimaciones obtenidas a través de las extensiones presentadas corrigen deficiencias de los procedimientos utilizados hasta el momento con el mismo fin.

Palabras clave: dinámica poblacional, mortalidad, fecundidad, migración, Cadena de Markov.

Knowledge of current and future sizes of the population of a country, and its structure and distribution by age, sex and state, is central to the planning, budgeting and implementation of various public and private activities. It is recognized that in the absence of timely and reliable records, it is impossible to know such size with sufficient precision except perhaps for census years. The best choice for any other period is the estimation of the evolution of the size through the simultaneous consideration of fertility,[1] mortality and migration rates that will affect the population under study during the estimation period. Transition matrices, indispensable structures in the study of Markov chains, lend themselves almost naturally to the study of these developments, although adjustments are required to allow for the change in population size from one period to the next. Their direct application allows us to follow the evolution of the population-size averages as a result of the assumed rates, for each and every one of the future periods under consideration. Additionally, such structures allow determining likely variations around estimated size averages through stochastic simulation of these developments a large number of times. In this paper, after making explicit the similarities between some basic structures of demography and Markov chains, we present some extensions and clarifications to proposals found in the literature. We will also show some applications of the above results to the Mexican case for the decade 2000-2010 and compare them with the estimates obtained by CONAPO. It is concluded that the estimates obtained through the presented extensions correct limitations of the procedures currently in use with the same end.

Key words: Population Dynamics, Mortality, Fertility, Migration, Markov Chain.

1 "A menudo se confunden 'fertilidad' y 'fecundidad' como resultado de una mala traducción del inglés. En el ámbito anglosajón su significado es exactamente el opuesto, de modo que 'fertility' equivale a 'fecundidad' en castellano, y 'fecundity' a 'fertilidad'. Así, el indicador transversal de fecundidad (ISF), se llama en inglés 'Total Fertility Rate' (TFR). Como buena parte de la literatura especializada y de las agencias de noticias usan el inglés, la traducción literal y, por lo tanto, errónea, resulta sumamente frecuente.", consultado en: http://apuntesdedemografia.wordpress.com/2010/07/04/fecundidad-y-fertilidad/

1. Introducción

1.1 Usos comunes para las cifras recientes del tamaño de una población

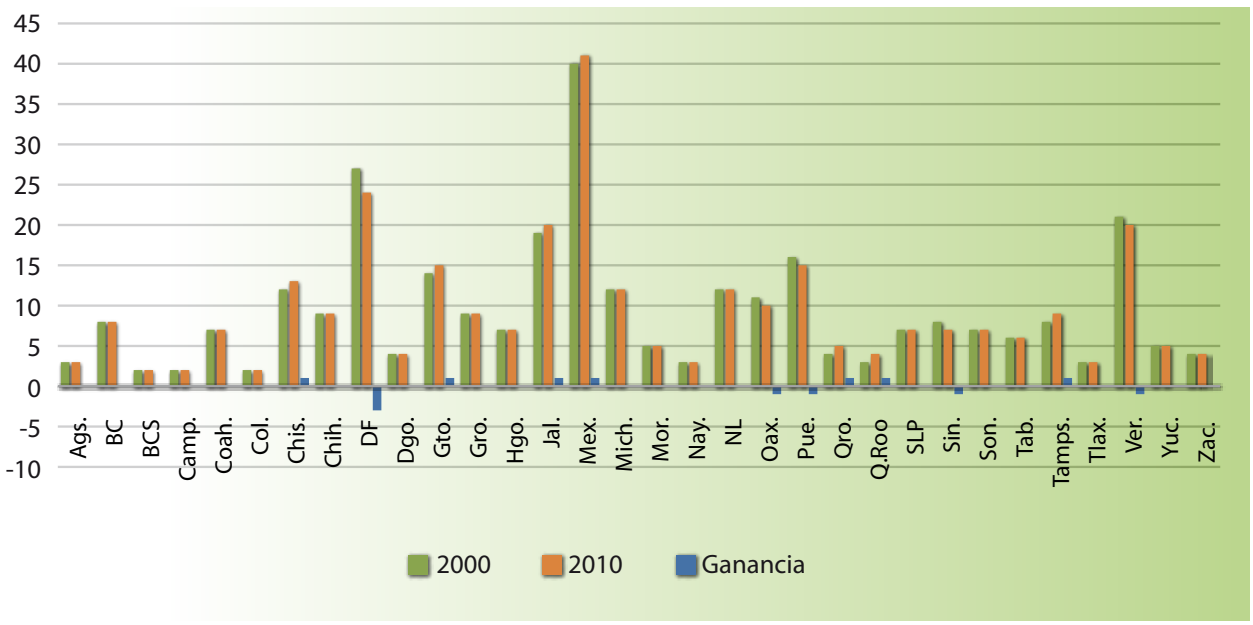
La información reciente relativa al tamaño de la población tanto de un país como de subpoblaciones relevantes, y que resulta de los censos de población, es contemplada en México y en otros países por diversos preceptos legales para apoyar en ella la toma de variadas decisiones. En general, destacan los usos que se hacen de ésta para acercarse a la proporcionalidad en la representación popular y los que se refieren a la asignación de recursos fiscales a las administraciones locales.

El propósito en el primero de estos usos es el de conseguir que cada uno de los representantes populares, en particular los integrantes de los poderes legislativos, representen a un número similar de ciudadanos. Sin embargo, ya que entre un censo y el siguiente su distribución espacial puede sufrir modificaciones importantes, el equilibrio entre los distritos electorales alcanzado después de un primer momento censal se verá alterado de maneras más o menos importantes en el siguiente. En consecuencia, se recurre a los resultados del censo más reciente para trazar nuevas fronteras entre distritos que permitan considerar que se ha restablecido el buscado equilibrio. Lo anterior puede conducir, en el caso de confederaciones de estados, a que alguno de ellos vea reducido el número de representantes que se le había asignado en el pasado reciente, en favor de alguno otro. Ésta es, sin duda, una de las consecuencias más importantes de los censos de población levantados en el 2010 en México (ver figura 1) y en otros países, la cual parece ser una de las razones más importantes por las que los recuentos poblacionales deben ser precisos y no exhibir sesgos de ningún carácter. Una consideración semejante parece haber conducido a la Suprema Corte de los Estados Unidos de América (EE.UU.) a dictaminar que su oficina de censos no podía llevar a cabo sus planes de reemplazar su censo decenal por una gran encuesta con diseño rotatorio.

Por lo que toca al segundo de los usos mencionados, se está frente a una de las situaciones aparentemente mejor definidas en cuanto al uso de esta información estadística. Por ejemplo, en

Figura 1

Distribución de 300 curules de mayoría relativa entre las entidades federativas mexicanas de acuerdo con los censos de los años 2000 y 2010



México la Ley de Coordinación Fiscal vigente[2] establece en su artículo segundo que el "Fondo General de Participaciones se constituirá con el 20% de la recaudación federal participable que obtenga la federación en un ejercicio (...) El Fondo General de Participaciones se distribuirá conforme a la fórmula siguiente:

$$P_{i,t} = P_{i,07} + \quad FGP_{07,t}\left(0.6C1_{i,t} + 0.3C2_{i,t} + 0.1C3_{i,t}\right) \tag{1.1}$$

$$C1_{i,t} = \frac{\left(PIB_{i,t-1}/PIB_{i,t-2}\right)n_i}{\sum_i \left(PIB_{i,t-1}/PIB_{i,t-2}\right)n_i} \tag{1.2}$$

$$C2_{i,t} = \frac{\Delta IE_{i,t}n_i}{\sum_i \Delta\, IE_{i,t}n_i} \text{ con } \Delta IE_{i,t} = \frac{1}{3}\sum_{j=1}^{3}\frac{IE_{i,t-j}}{IE_{i,t-j-1}} \tag{1.3}$$

$$C3_{i,t} = \frac{IE_{i,t-1}n_i}{\sum_i I\,E_{i,t-1}n_i} \tag{1.4}$$

donde: $C1_{i,t}$, $C2_{i,t}$, y $C3_{i,t}$ son los coeficientes de distribución del Fondo General de Participaciones de la entidad i en el año en que se efectúa el cálculo".

A lo anterior sigue una definición precisa de cada uno de los elementos involucrados y que se refieren a la actividad económica (PIB), a la recaudación (IE) y al tamaño poblacional en cada entidad y en un momento dado. Destacamos la siguiente: "n_i es la última información oficial de población que hubiere dado a conocer el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática [*Sic*.] para la entidad i". Por supuesto, ésta es de nuevo una situación potencialmente conflictiva, pues la percepción de que un conteo censal a cargo del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) de México pudiese resultar en un decremento en el número de pobladores para alguna de las entidades, trae aparejada la certeza de que ello será causa de la recepción de una menor cantidad de recursos para las administraciones locales.

2 http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lcf.htm

1.2 Necesidad de actualización constante de las cifras

El hecho de que las cifras poblacionales se actualicen a través de censos solamente cada cinco o 10 años tiene algunas implicaciones que podrían ser consideradas desfavorables por algunos. Entre las entidades federativas, las tasas de fecundidad y de mortalidad muestran diferencias que pueden llegar a ser grandes; asimismo, los movimientos migratorios que se dan entre ellas suelen favorecer a unas a costa de otras; por lo anterior, se tiene que los ritmos de crecimiento que muestran serán también diferentes. En consecuencia, si se decide mantener fijas las estructuras que reflejan la distribución espacial de la población en el territorio nacional a lo largo de todo un intervalo intercensal, aquellas entidades cuya población crece más rápidamente estarán recibiendo recursos inferiores que los que les corresponderían en razón al tamaño relativo de su población al paso de apenas uno o dos años. La evolución diferenciada de la distribución espacial al paso del tiempo hace necesaria una más frecuente actualización de dichas cifras para cada una de las entidades federativas que la que permiten los ejercicios censales en vista, por ejemplo, de que la distribución de recursos fiscales tiene lugar año con año.

La estrategia seguida por el INEGI en la publicación de cifras poblacionales absolutas para las encuestas que elabora entre censo y censo ha consistido en aprovechar estimaciones de los tamaños futuros de las subpoblaciones relevantes. Cabe señalar que dichas cifras han sido consideradas "la última información oficial de población" que hubiere dado a conocer el INEGI y, en consecuencia, usadas en la distribución de recursos fiscales a las entidades federativas. En particular, tales cifras se han basado, a su vez, en los ejercicios de proyección elaborados por el Consejo Nacional de Población (CONAPO) que, partiendo de los resultados históricos censales y muestrales, así como de la estadística (registros y encuestas) sobre hechos vitales, buscan producir las mejores aproximaciones del comportamiento que exhibirán los tamaños de las subpoblaciones durante el periodo intercensal inmediato y más

allá. Tales estimaciones también son actualizadas cada cinco o 10 años, pero tienen la ventaja de presentar resultados para cada uno de los años de proyección.

Sin lugar a dudas, el supuesto más importante detrás de los ejercicios tradicionales de estimación consiste en que las tendencias de las tasas que explican la dinámica poblacional, así como sus proyecciones futuras, mostrarán un comportamiento suave. En general, la aplicación de los valores extrapolados de estas tasas a una población base dará lugar a una aproximación del comportamiento promedio que se observaría bajo esas condiciones. Ya que es claro que es difícil que una predicción coincida exactamente con el valor que será observado eventualmente, se plantean además comportamientos alternativos para las tasas futuras, a los que se denominan escenarios, y a partir de los cuales se obtienen estimaciones complementarias del comportamiento promedio. Es de esperarse que, salvo por la ocurrencia de eventos extraordinarios que modifiquen las tendencias observadas, los tamaños poblacionales futuros se encontrarán entre los promedios determinados por los escenarios más extremos. Por esta vía, sin embargo, resulta imposible hacer afirmaciones válidas sobre la precisión de las estimaciones obtenidas.

Peor aún, cuando tienen lugar eventos extraordinarios con efecto en la evolución de la población, pero que no pudieron ser previstos ni incorporados en las proyecciones, uno o más de los supuestos en que éstas se basaron no serán satisfechos. Ejemplo de estos eventos pueden ser las crisis bancarias iniciadas en México en 1995 o en los EE.UU. en el 2008, y cuyo impacto en las cifras de migración internacional entre ambos países es innegable aunque no se conozca de manera precisa. Es de esperarse que, bajo estas condiciones, el resultado de las proyecciones de población se aleje aún más del comportamiento que será observado, por ejemplo, a través de los censos de población.

En resumen, es necesario enfrentar el hecho de que, a pesar de la importancia de los usos administrativos y estadísticos de la información sobre el tamaño poblacional, los métodos propuestos y en uso para aproximar adecuadamente dicho tamaño muestran deficiencias que no resulta fácil corregir. En consecuencia, se hace necesario buscar alternativas para elaborar mejores aproximaciones para los tamaños futuros de la población.

1.3 Evolución reciente del tamaño de la población mexicana según los censos y las proyecciones elaboradas a partir de ellos

A lo largo de las dos décadas más recientes, México ha recolectado información con relación al tamaño de su población y la de cada una de las entidades federativas en cinco ocasiones haciendo uso de la técnica censal. Los cuadros 1 y 2, así como la figura 2, resumen esta experiencia para la población total del país. Entre 1990 y 1995, la población del país creció al ritmo de una tasa media anual de 2.06 por ciento. El censo levantado en el 2000 mostró que el ritmo de crecimiento medio anual para el quinquenio anterior se redujo a sólo 1.58 por ciento. Esta tendencia decreciente pareció encontrar confirmación con el resultado del conteo poblacional del 2005, cuyo resultado dio lugar a un crecimiento medio anual para el quinquenio inmediato anterior de sólo 1.02 por ciento. Ante el comportamiento anteriormente descrito se hace comprensible la sorpresa a que dio lugar el que, de acuerdo con el censo levantado en el 2010, la población del país haya crecido a un ritmo anual promedio de 1.85%, ritmo significativamente mayor que el inmediato anterior y también más grande que el experimentado entre 1995 y el 2000.

Es, asimismo, comprensible que las proyecciones poblacionales elaboradas por el CONAPO al final de cada uno de los quinquenios considerados muestren comportamientos futuros diferentes para el tamaño de la misma población. Así, de acuerdo con la figura 2, el ejercicio de proyección elaborado en 1995 extrapoló casi de manera natural la tendencia reciente de crecimiento, atenuándola paulatinamente hacia el mediano y largo plazos. A pesar del menor ritmo de crecimiento exhibido

Cuadro 1

Tamaño de la población mexicana según censos y conteos recientes y sus tasas medias anuales de crecimiento

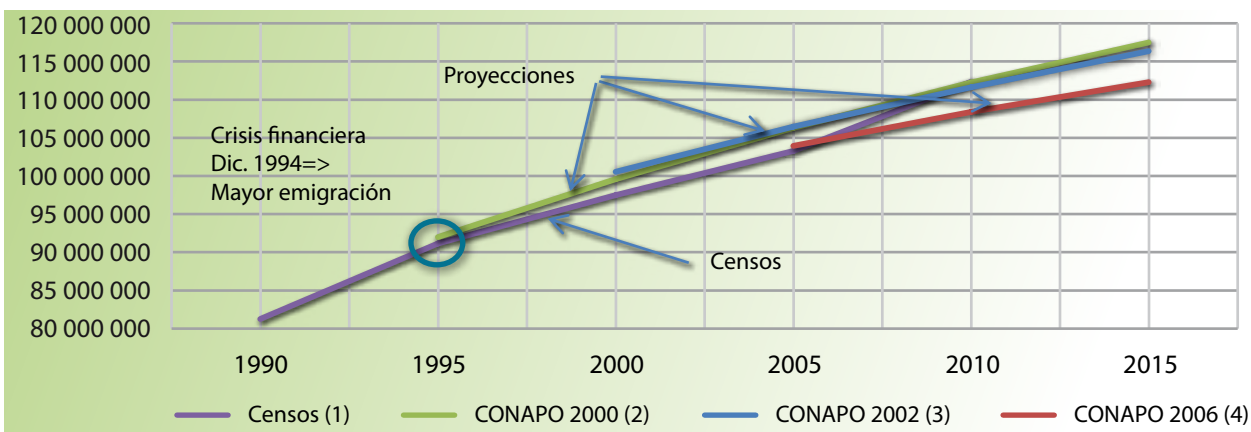
Evento	Censo 1990	Conteo 1995	Censo 2000	Conteo 2005	Censo 2010
Fecha censal	03/12	11/05	02/14	10/17	06/12
Población	81 249 645	91 158 290	97 483 412	103 263 388	112 322 757
Tasas medias anuales (quinquenio)		2.06%	1.58%	1.02%	1.82%

por el censo del 2000, el siguiente ejercicio de proyección parte de un valor poblacional más cercano al valor de la proyección elaborada cinco años antes que al exhibido por el mencionado censo; sin embargo, la proyección hacia el futuro consideró un crecimiento más lento que el contemplado en 1995. Aparentemente, la evidencia aportada por el conteo del 2005 dio lugar a una reconsideración importante sobre el punto inicial para la proyección poblacional elaborada inmediatamente después. Estoy seguro de que el resultado del censo llevado a cabo en el 2010 dio lugar también a una sorpresa importante en el CONAPO. Está claro que la tarea de elaborar proyecciones de población presenta retos importantes que las metodologías desarrolladas con ese fin no han podido resolver.

Cabe, por supuesto, preguntarse sobre lo que pudo haber causado un comportamiento como el observado: crecimiento acelerado-recesión-crecimiento acelerado. Por supuesto, el descenso en los valores de la tasa de fecundidad, consecuencia de políticas de población instrumentadas en las décadas inmediatas anteriores, ayuda a explicar, así sea parcialmente, la relación entre las primeras dos fases de crecimiento y de recesión. Cabe añadir, sin embargo, que durante el mismo periodo se alcanzan también reducciones en las tasas de mortalidad en el país, lo que atenuará el impacto de una menor fecundidad. Todo parece indicar que el comportamiento observado en el crecimiento de la población de México puede también ser parcialmente explicado por dos eventos semejantes, pero sepa-

Figura 2

Población mexicana, contada y estimada, 1995-2010



Fuentes: (1) INEGI, http://www.inegi.org.mx/lib/olap/consulta/general_ver4/MDXQueryDatos.asp?proy=sh_pty5ds, consultada el 11 de noviembre de 2010.
(2) CONAPO. *Situación demográfica de México.* 2000.
(3) CONAPO. *Proyecciones de la población de México 2000-2050.* 2003.
(4) CONAPO. *Proyecciones de la población de México 2005-2050.* 2006.

rados por casi un decenio y por la geografía. El conteo de 1995 fue levantado a casi un año de haberse iniciado una crisis financiera importante en el país. El sistema financiero nacional estuvo a punto de colapsar trayendo consecuencias sobre el resto de la economía y golpeando con particular importancia a la producción y al empleo. Es sabido que entre las consecuencias económicas y sociales de eventos catastróficos se encuentra la emigración hacia regiones o países que son percibidos como con mayor bienestar relativo. En general, los emigrantes se encuentran en el grupo de edades con capacidad para trabajar el cual, en muy buena medida, coincide con el que agrupa las edades reproductivas. En otras palabras, la población crecerá más lentamente no sólo a causa de la pérdida migratoria, sino de los nacimientos que no ocurrirán en el país a causa de la misma emigración. Algo semejante sucederá con las defunciones que no se registrarán en el país por haber ocurrido en otros lugares.

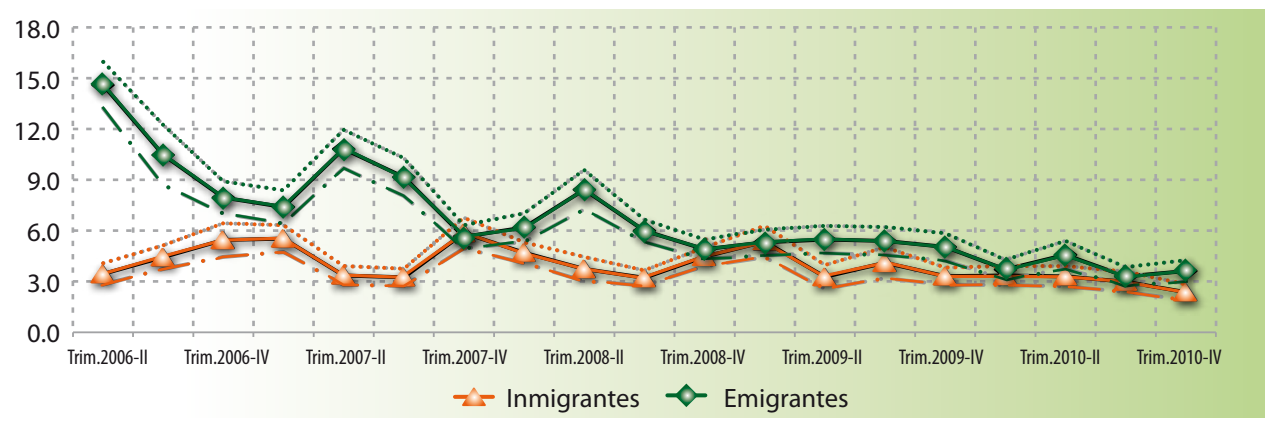
Es de esperarse que, al paso de la cresta de la crisis, una parte de los migrantes regrese a su lugar de origen, lo que atemperará la menor tasa de crecimiento de la población. Sin embargo, y en contraposición, los que hayan logrado establecerse en sus lugares de destino buscarán que sus familias emigren para reunírseles y, asimismo, procurarán compartir su buena fortuna atrayendo a hermanos, primos y sobrinos; nuevamente, nacimientos y defunciones en el sitio de origen serán menores a los esperados. Lo anterior, además, postergará la etapa de recuperación del crecimiento poblacional, la cual, cuando se dé, ocurrirá a un ritmo menor durante un periodo más o menos largo.

En ausencia de información precisa, podemos suponer que los mecanismos descritos en el párrafo anterior estuvieron en operación por algún tiempo durante la década 1995-2005. A partir de la información obtenida trimestralmente a través de la Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo (ENOE), misma que empezó a recopilarse sólo a partir del 2006 y que se refiere a la modificación de la composición de los hogares en el país, se observa que la emigración desde México sufre una importante caída durante los primeros años de observación, para casi estabilizarse durante el periodo 2009-2011. Esta caída coincide en el tiempo con la mostrada por la tasa de crecimiento del número de puestos de trabajo en sectores en los que encuentran ocupación los migrantes mexicanos en los Estados Unidos de América, como es el de los recursos naturales, la minería y la construcción en ese país de acuerdo con el promedio elaborado a partir de la información para algunas áreas metropolitanas por Pittsburgh Today[3] con datos de la Oficina de Esta-

3 http://www.pittsburghtoday.org/view_economy_job_growth_years_change.html, consultado el 3 agosto de 2011.

Figura 3

Tasas trimestrales de inmigración y de emigración por cada mil habitantes en México y sus intervalos de confianza a 95%, 2006-2010



Fuente: INEGI. Estimaciones basadas en ENOE, 2006-2010.

Figura 4

Tasa anual de crecimiento del índice del número de puestos de trabajo en los sectores de recursos naturales, minería y construcción en áreas metropolitanas seleccionadas de los EE.UU., 2001-2010

dísticas del Trabajo (BLS, por sus siglas en inglés) de ese país, según se muestra en la figura 4. Para casi todos los otros sectores, la crisis financiera sólo se dejó sentir hacia el 2008. En vista de lo anterior, se invierte la situación descrita párrafos arriba: la menor reducción en el número de personas en edades reproductivas da lugar a un número mayor de nacimientos aun cuando las tasas de fecundidad sigan descendiendo o se mantengan estables; el efecto sobre la mortalidad registrada es menor, ya que ésas son, precisamente, las edades en las que las tasas de mortalidad son relativamente pequeñas. De todo lo anterior se desprende una posible explicación para el mayor crecimiento del tamaño poblacional en México durante la década 2000-2010.

1.4 Aprovechamiento de las cifras futuras del tamaño de una población

En consecuencia, el INEGI debe ser doblemente cauto con la expansión de los resultados muestrales en los periodos intercensales. En particular, en lo que toca a la periodicidad, necesidades específicas del INEGI le llevan a producir estimaciones trimestrales a partir de los datos del CONAPO a través de rutinas de interpolación. Hasta ahora, eso es lo reportado al Congreso de la Unión y lo usado por la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) en las expresiones (1.2), (1.3) y (1.4), en cumplimiento de la Ley de Coordinación Fiscal. A nuestro juicio, lo anterior requiere ser revisado para incorporar la consideración de migraciones cíclicas intranuales, consecuencia de la realización de diversas actividades estacionales, tanto para los fines presupuestales expuestos como para otros propios del INEGI.[4]

1.5 Organización del trabajo

De la discusión anterior se desprende la importancia para las administraciones públicas y para la sociedad en su conjunto de disponer de estimaciones y proyecciones poblacionales de corto plazo de la mayor precisión posible. En la literatura es posible encontrar aplicaciones que, con este fin, recurren al uso de estructuras matriciales de diversa naturaleza y que consideran sólo de manera parcial las influencias más importantes de la dinámica demográfica. Una de las primeras referencias importantes en el tema puede ser encontrada en los trabajos pioneros de Leslie (1945) en los que se consideran exclusivamente la supervivencia y la fecundidad de las hembras de una población arbitraria, enfoque que sigue encontrando aplicación en trabajos recientemente publicados en revistas de

4 Por ejemplo, para la estimación trimestral de tasas de desocupación abierta en las entidades federativas ya que algunos numeradores muestran un comportamiento estacional y su estimación ha de considerar este hecho.

Ecología. Andrei Rogers (1966) define matrices de crecimiento interregionales que incorporan a la migración neta, con lo que no se hace explícita la región de origen o la de destino de los migrantes, así como a las otras influencias principales de la dinámica demográfica, a partir de la adición de matrices más simples que modelan cada una de ellas, pero sin hacer distinción entre las poblaciones masculina y femenina. En México es posible encontrar también ejemplos de la aplicación de un enfoque markoviano a la evolución de poblaciones diversas, entre los que destacan los elaborados por Virgilio Partida (1989), los cuales, sin embargo —como en los casos anteriores—, ignoran una o más de las características importantes en las poblaciones humanas.

En el presente trabajo, partiendo de las semejanzas entre algunas estructuras básicas de la demografía y las de las Cadenas de Markov, se busca superar las limitaciones señaladas para las anteriores propuestas. Para ello, y con el fin de lograr una contabilidad demográfica precisa, desde la forma más básica del modelo se hace el planteamiento completo de la matriz que modela a la dinámica demográfica al incluir explícitamente a aquellos estados identificados con el fallecimiento a una edad determinada. En general, esta submatriz es irrelevante para la proyección hacia el futuro de las estructuras por edad, sexo y región de una población; sin embargo, para aplicaciones como la retroproyección de poblaciones entre, digamos, dos censos sucesivos como parte de un ejercicio amplio de conciliación demográfica es necesario establecerla en su totalidad. Con el fin de evitar un doble conteo de individuos que, por ejemplo, emigran y fallecen en el mismo periodo, el modelo que se presenta combina las matrices de influencias demográficas a través de los productos adecuados de las matrices que se asocian a cada una de ellas en lugar de su mera adición, como ocurre en la propuesta de Rogers (1966). El modelo propuesto hace, además, una consideración explícita de ambos sexos y de todas las edades desplegadas en las poblaciones de cada una de las regiones consideradas en el estudio, en contraposición a los enfoques de Rogers (1966) y Partida (1989). Asimismo, la versión final considerada en este trabajo incluye, para cada región considerada y para cada sexo, submatrices de tasas anuales de emigración hacia cada uno de los destinos lo que hace posible determinar los saldos migratorios para cada par de regiones. Al contribuir con ello a la ya aludida precisión en la contabilidad demográfica, se sigue de mejor manera la evolución de los tamaños relativos de las poblaciones de las regiones consideradas, permitiendo con esto cumplir también de mejor manera los principios de equidad detrás de los planteamientos de, por ejemplo, la Ley de Coordinación Fiscal mexicana.

Este enfoque general permite, además, la imposición de restricciones sobre los comportamientos esperados de modo que sus resultados las tomen en cuenta. Lo anterior se ejemplifica de manera numérica en este trabajo aplicando el modelo propuesto e imponiendo un número relativamente pequeño de restricciones sobre la evolución de la población de México en la década 2000-2010, que se refieren a la coincidencia entre los resultados anuales del modelo y los cuatro totales nacionales (sin distinción ni de sexo, ni de edad, ni de entidad federativa) que año con año publica el INEGI para los nacimientos y las defunciones, así como las estimaciones del número de emigrantes y del de inmigrantes obtenidos de diversas fuentes. En total, para cada uno de los años de proyección, el modelo estima el tamaño de las subpoblaciones definidas por cada una de las combinaciones de entidad federativa, sexo y grupo quinquenal de edad, totalizando alrededor de 1 280 valores. Para ello, se parte de las estructuras poblacionales determinadas para el año anterior, de las matrices de tasas por hecho, edad, sexo y región, así como mediante la imposición de las cuatro (4) restricciones señaladas. En otras palabras, y aunque fue necesario realizar algunas extrapolaciones para los últimos años del periodo, algo parecido a una rudimentaria conciliación continua tuvo lugar para llegar a las estimaciones markovianas; rudimentaria, porque no se hizo uso de toda la información estadística publicada para esta década por entidad federativa, sexo y edad. Tales estimaciones son comparadas con las obtenidas mediante métodos de proyección usados por el CONAPO a partir del 2000 y para cada uno de

los años del periodo, así como las que resultan del censo levantado por el INEGI en el 2010. Para este último año, en términos de los tamaños absolutos de cada una de las subpoblaciones disponibles, se alcanzó una importante coincidencia entre las estimaciones censales y markovianas. Bajo el supuesto de que la consideración de los tamaños relativos de cada una de dichas subpoblaciones acercaría las estimaciones elaboradas por el CONAPO se realizó una nueva comparación, pero con resultados semejantes a los anteriores.

Lo anterior nos lleva a concluir que las proyecciones del CONAPO fallan no sólo en lo que toca a los tamaños poblacionales absolutos, discrepancias causadas tal vez por efectos exógenos, como crisis económicas en los países de origen o destino de los migrantes y que son difíciles de incorporar a cualquier ejercicio de proyección, sino también en una consideración adecuada de los impactos migratorios interestatales e internacionales por lo que las estructuras relativas que ellas reflejan dejan pronto de tener vigencia.

El trabajo está organizado de la siguiente manera. En la sección *Aplicación a la demografía*, después de comentar las estructuras primigenias de la demografía denominadas tablas de vida, se establecerá su representación como matrices de transición.[5] Del mismo modo, las estructuras por edad de una población serán rescritas en términos de las probabilidades absolutas de las Cadenas de Markov. La primera aproximación a la evolución de una población por efecto de la mortalidad será gradualmente complementada para incluir la consideración de los efectos de la migración tanto interna como internacional. Se mostrará cómo la modelación lograda hasta ese momento puede ser extendida a la consideración de estructuras por edad y sexo. De este modo se estará en condiciones de incluir en el modelo los efectos de la fecundidad.

La sección *Aplicación a la demografía* puede ser considerada muy técnica por algunos lectores por lo que, en ese caso, sugiero que procedan directamente a la sección *Prueba de estrés del modelo* en la que, a manera de ejemplificación, se muestra la aplicación del modelo a las cifras censales mexicanas, partiendo de la cifra poblacional del 2000, con base en la estadística obtenida de los registros de nacimientos y defunciones para el decenio, así como en diversas encuestas levantadas en México y en los EE.UU. en el mismo decenio, se llega a la estimación del tamaño de la población mexicana y el de cada una de sus entidades para febrero del 2010.

2. Aplicación a la demografía

En la exposición subsecuente se seguirá un enfoque incremental con el propósito de explicitar la relación entre las más importantes influencias de la dinámica poblacional con las estructuras de las Cadenas de Markov. En primer lugar se tratará la mortalidad por ser la sobrevivencia el fenómeno demográfico más claramente markoviano.[6] Se modelará inicialmente la evolución de una cohorte para después proceder a considerar la evolución simultánea de varias cohortes. Posteriormente, la modelación de la migración permitirá considerar tanto ingresos al grupo a distintas edades, por inmigración, como salidas del mismo por razones diferentes a la mortalidad. En el estudio de la migración se considerarán la interestatal y la de carácter internacional. Enseguida, se

5 El apéndice A contiene un breve recuento de los resultados más relevantes a nuestros fines de la teoría de las Cadenas de Markov.

6 En efecto, entre las características más importantes de los procesos markovianos está la propiedad de Markov que, en esencia, dice que la distribución de probabilidad para futuras transiciones condicionada al presente y al pasado depende sólo del estado que actualmente ocupa la partícula y no en la secuencia de transiciones previas que lo llevó hasta ahí. Un proceso con esta característica se denomina un proceso markoviano; para el caso de una Cadena de Markov se dice que si $Pr[X_{t+r}=j|X_t=i_0, \ldots, X_{t-s}=i_s]= Pr[X_{t+r}=j|X_t=i_0]$, el proceso $\{X_t, t \in \Re\}$ es markoviano. La edad alcanzada por una persona es, para nuestros fines, el resumen completo de la única trayectoria que conduce desde el nacimiento hasta esa edad; es decir, resume perfectamente la historia de supervivencia del individuo a lo largo de todas las edades anteriores. Por ello, para determinar la probabilidad de supervivencia futura hasta una edad posterior desde la actual, no es necesario hacer referencia a edades anteriores. Por lo anterior es posible decir que para la supervivencia se cumple estrictamente la propiedad de Markov. Por su parte, las historias migratorias individuales pueden ser mucho más diversas lo que podría determinar diferentes probabilidades de migrar para individuos con la misma edad. Sin embargo, la estadística sobre el tema rara vez hace alusión a tales historias y, en general, se refiere sólo al número de emigrantes a lo largo de un periodo, tal vez relacionado con los originalmente expuestos al riesgo de hacerlo. Bajo estas condiciones, el supuesto markoviano representa una adecuada hipótesis de trabajo simplificadora.

añadirá la consideración de las posibles diferencias entre los sexos tanto por lo que se refiere a la mortalidad como a la migración. Por último, se incorporarán los ingresos a cada una de las subpoblaciones por fecundidad por supuesto distinguiéndolos por sexo del recién nacido.

2.1 Tablas de vida y su expresión como matrices de transición

El modelo detrás de la construcción de una tabla de vida, también conocida como de mortalidad, supone el seguimiento de un grupo numeroso de individuos nacidos simultáneamente, denominado *cohorte*. Se modela la evolución anual del tamaño del grupo hasta su extinción ya que no se consideran nuevos ingresos al mismo por ninguna vía. De este modo l_0 denota al tamaño inicial de la población, conocido como *rádix*. Similarmente, l_x denota a los que alcanzan vivos la edad x y d_x a los que, habiendo llegado vivos a la edad x, fallecen antes de su siguiente cumpleaños. Así, debe tenerse que de entre los que alcanzaron vivos la edad x algunos sobrevivirán hasta la edad $x+1$ y el resto fallecerá antes de que esto ocurra; más precisamente, debe tenerse que $l_x = l_{x+1} + d_x$. Se denotará por ω a la primera edad tal que $l_x = 0$; es decir, a la menor edad que ninguno de los miembros de la cohorte alcanza vivo.

$$\begin{pmatrix} l_0 & d_0 & p_0 & q_0 & e_0^o \\ l_1 & d_1 & p_1 & q_1 & e_1^o \\ l_2 & d_2 & p_2 & q_2 & e_2^o \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ l_{\omega-1} & d_{\omega-1} = l_{\omega-1} & 0 & 1 & e_{\omega-1}^o \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & \cdots \end{pmatrix} \tag{2.1}$$

Las columnas p y q presentan las probabilidades de sobrevivencia a la siguiente edad y de fallecimiento en el momento de cumplir la edad x, respectivamente. Sus valores se definen como en (2.2) y en (2.3).

$$p_x = \frac{l_{x+1}}{l_x} \tag{2.2}$$

$$q_x = \frac{d_x}{l_x} \tag{2.3}$$

La columna e^0 presenta al número promedio de años que le quedan por vivir a una persona de edad x; se conoce como la "esperanza de vida a edad x". Sus entradas se calculan como en (2.4).

$$e_x^o = \frac{l_{x+1} + \cdots + l_\omega}{l_x} + 1/2 \tag{2.4}$$

La probabilidad p_x se interpreta como una probabilidad de transición (ver A.1[7]) entre el estado "vivo a la edad x " y el estado "vivo a la edad $x+1$"; en tanto que su complemento q_x se refiere a la transición entre el estado "vivo a la edad x" y "muerto antes de cumplir la edad $x+1$". De este modo,

$$p_x = Pr(\text{llegue vivo a la edad } x+1 | \text{llega vivo a la edad } x) = p_{x,x+1} \tag{2.5}$$

y

$$q_x = Pr(\text{muera antes de alcanzar la edad } x+1 | \text{llega vivo a la edad } x) \tag{2.6}$$

De otro modo, si T denota a la variable aleatoria "tiempo hasta el fallecimiento" para una persona seleccionada al azar de la población, debe tenerse que:

$$Px = Pr(T \geq x+1 | T \geq x) \tag{2.7}$$

Debe señalarse que existe una diferencia conceptual, sin embargo, entre estas probabilidades al instante en el que cumplen la edad x y las que han sido definidas para ser usadas en el contexto markoviano, al inicio de un periodo o al instante t. Los cumpleaños ocurren a lo largo de todo el año por lo que afirmaciones tales como "vivos de edad x en el instante t" se refieren a quienes alcanzaron esa edad recientemente, dejando fuera a quienes

7 En el apéndice A.

la alcanzarán a lo largo del periodo $(t, t+1]$. A pesar de ello, y en vista de las semejanzas señaladas y de que numéricamente no hay grandes diferencias, con fines de exposición y de cálculo de las ejemplificaciones las usaremos como probabilidades de transición al instante t. Por supuesto, el lector podrá decidir usar otras definiciones, por ejemplo, la tasa media o central de mortalidad si sólo le interesa el punto central del año. Ello, sin embargo, no cambiará en modo alguno la exposición subsecuente.

En consecuencia, se rescribirá lo anterior en notación markoviana. Para la supervivencia, se tiene un primer conjunto de estados, los designados por una "l", que equivalen a las edades que los individuos pueden alcanzar en vida; en este caso, dicho conjunto queda representado por $\boldsymbol{E} = \{l_0, l_1, \cdots, l_{\omega-1}\}$. Por su parte, el conjunto $\boldsymbol{D} = \{d_0, d_1, \cdots, d_{\omega-1}\}$ identifica a los estados relacionados con el fallecimiento a una edad determinada, los cuales se ubican tanto en la segunda mitad de los renglones como en la de las columnas. Éstos son estados diferentes de los demás ya que cuando el proceso entra a uno de ellos, con probabilidad igual a 1 (i.e., con certeza) ya no lo abandona. Por esta razón, en la terminología de las Cadenas de Markov, se les denomina **absorbentes**.

De este modo, en (2.8) se presenta la matriz de transiciones (ver A.2) que será denotada por $\boldsymbol{M}$ y cuya dimensión es $(2\omega) \times (2\omega)$.

$$\boldsymbol{M} = \begin{array}{c} \textit{Estados} \\ l_0 \\ l_1 \\ \vdots \\ l_{\omega-2} \\ l_{\omega-1} \\ - \\ d_0 \\ d_1 \\ \vdots \\ d_{\omega-1} \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{ccccc|cccc} l_0 & l_1 & l_2 & \cdots & l_{\omega-1} & d_0 & d_1 & \cdots & d_{\omega-1} \end{array} \\ \begin{pmatrix} 0 & p_0 & 0 & \cdots & 0 & q_0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & p_1 & \cdots & 0 & 0 & q_1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & p_{\omega-2} & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 & \cdots & 1 \\ - & - & - & - & - & - & - & - & - \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 & 1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 & \cdots & 1 \end{pmatrix} \end{array} \tag{2.8}$$

Para estudiar la supervivencia, conviene escribir a la matriz $\boldsymbol{M}$ definida en (2.8) en bloques matriciales y notación obvia como:

$$\boldsymbol{M} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{L}_{\omega\times\omega} & \boldsymbol{D}_{\omega\times\omega} \\ \boldsymbol{0}_{\omega\times\omega} & \boldsymbol{I}_{\omega\times\omega} \end{bmatrix} \tag{2.9}$$

En vista de que la suma de los valores en los renglones de la matriz $\boldsymbol{M}$ es igual a 1, se tiene que las submatrices $\boldsymbol{L}$ y $\boldsymbol{D}$, que son diagonales, están relacionadas como se indica en (2.10).

$$\boldsymbol{L} = (\boldsymbol{I} - \boldsymbol{D})\boldsymbol{J}, \tag{2.10}$$

donde las entradas de la matriz $\boldsymbol{J}$ son todas iguales a cero excepto por las de la primera diagonal superior, que toman el valor 1. El efecto de posmultiplicar una matriz diagonal por $\boldsymbol{J}$ es el de trasladar los valores en la diagonal principal un lugar a la derecha hasta la primera diagonal superior. En el presente contexto, esa operación aritmética coloca las tasas anuales de supervivencia para cada edad en la posición correcta para modelar transiciones desde la x hasta la $x + 1$.

De este modo es fácil ver que, en concordancia con las expresiones (A.5) y (A.6) y bajo el supuesto de estacionariedad, las probabilidades de que un individuo que llegó vivo a la edad x sobreviva dos o más periodos o fallezca antes del transcurso de los mismos, no son otra cosa que las entradas en el renglón x de la potencia correspondiente de la anterior matriz, como se muestra a continuación:

$$\begin{aligned} \boldsymbol{M}^2 &= \begin{bmatrix} \boldsymbol{L}^2 & \boldsymbol{LD} + \boldsymbol{D} \\ \boldsymbol{0} & \boldsymbol{I} \end{bmatrix} \\ \boldsymbol{M}^3 &= \begin{bmatrix} \boldsymbol{L}^3 & (\boldsymbol{L}^2 + \boldsymbol{L} + \boldsymbol{I})\boldsymbol{D} \\ \boldsymbol{0} & \boldsymbol{I} \end{bmatrix} \\ &\vdots \\ \boldsymbol{M}^{\omega} &= \begin{bmatrix} \boldsymbol{0} & (\boldsymbol{L}^{\omega-1} + \cdots + \boldsymbol{L}^2 + \boldsymbol{L} + \boldsymbol{I})\boldsymbol{D} \\ \boldsymbol{0} & \boldsymbol{I} \end{bmatrix} = \boldsymbol{M}^{\omega+1} = \boldsymbol{M}^{\omega+2} = \cdots \end{aligned}$$

El bloque superior derecho en cada una de las anteriores matrices resume las probabilidades de fallecer antes de que transcurran dos, tres u ω años, respectivamente. Más aún, para un grupo cerrado, como el que ha sido considerado hasta ahora, la extinción está garantizada como puede verse a partir de los valores que toman las submatrices superiores izquierdas, todas cuyas entradas eventualmente toman el valor cero; es decir, la probabilidad de

sobrevivir más allá de la edad ω es idénticamente cero, tal como estaba previsto.

Aun en presencia de probabilidades de muerte que cambian con el paso del tiempo, se tendría un comportamiento semejante. En otras palabras, el grupo acabaría por extinguirse y las probabilidades de no sobrevivir uno, dos, tres o más periodos quedarían dadas por las matrices superiores derechas de las anteriores expresiones. En efecto, considere la sucesión $\{\boldsymbol{M}_{t+j}, j \geq 0\}$ definida según la expresión (2.11),

$$\boldsymbol{M}_{t+j} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{L}_{t+j} & \boldsymbol{D}_{t+j} \\ \boldsymbol{0} & \boldsymbol{I} \end{bmatrix}, j = 0, , \omega - 1, \tag{2.11}$$

donde $\boldsymbol{L}_i$ modela la supervivencia en el año i y t es el primer año del periodo bajo consideración. La mortalidad es entonces modelada por productos de matrices sucesivas en la secuencia (2.11) en lugar de las potencias de la versión estacionaria. En efecto, los productos de la forma $\boldsymbol{L}^j \boldsymbol{D}$ serían remplazados por productos de la forma $\prod_{i=0}^{j-1} \boldsymbol{L}_{t+i} \boldsymbol{D}_{t+j}$. En general, se tiene entonces que los productos de las matrices $\{\boldsymbol{M}_{t+j}\}$ toman la forma:

$$\prod_{j=0}^{1} \boldsymbol{M}_{t+j} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{L}_t \boldsymbol{L}_{t+1} & \boldsymbol{D}_t + \boldsymbol{L}_t \boldsymbol{D}_{t+1} \\ \boldsymbol{0} & \boldsymbol{I} \end{bmatrix}$$

$$\vdots$$

$$\prod_{j=0}^{k} \boldsymbol{M}_{t+j} = \begin{bmatrix} \prod_{i=0}^{k} \boldsymbol{L}_{t+i} & \boldsymbol{D}_t + \sum_{j=1}^{k} \left(\prod_{i=0}^{j-1} \boldsymbol{L}_{t+i} \right) \boldsymbol{D}_{t+j} \\ \boldsymbol{0} & \boldsymbol{I} \end{bmatrix}$$

$$\vdots$$

$$\prod_{j=0}^{\omega-1} \boldsymbol{M}_{t+j} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{0} & \boldsymbol{D}_t + \sum_{j=1}^{\omega-1} \left(\prod_{i=0}^{j-1} \boldsymbol{L}_{t+i} \right) \boldsymbol{D}_{t+j} \\ \boldsymbol{0} & \boldsymbol{I} \end{bmatrix} = \prod_{j=0}^{\omega+k} \boldsymbol{M}_{t+j}, k \geq 0$$

en una directa generalización de las versiones estacionarias.[8]

8 En lo que sigue, con el fin de mantener la notación simple, las expresiones mostrarán la versión estacionaria, salvo cuando se indique lo contrario.

2.2 Estructuras por edad

Para una cohorte no tiene mucho sentido preguntarse por las estructuras por edad ya que, al final de cada año, todos los individuos que permanecen en la población tienen la misma edad. En la práctica se tiene que al inicio de nuestra observación hay individuos de todas las edades. Si denotamos por $N_x^{(r)}$ al número de personas de edad $x = 0, , \omega - 1$ en la población en el periodo r, cada una de ellas puede ser conceptualizada como una realización independiente del proceso, sujeta a idénticas condiciones de sobrevivencia. En cada fecha censal, estos números serán conocidos con razonable precisión y se encuentran, junto con el tamaño total de la población $N = \sum_{x=0}^{\omega-1} N_x^{(0)}$, entre la información más importante en la cual basar una buena parte de la planeación y seguimiento de políticas públicas de educación, empleo, pensiones o salud, por mencionar sólo algunos ejemplos.

Con base en dichos tamaños podemos definir la proporción en que están presentes en la población los individuos de cada grupo de edad y que está dada por (2.12).

$$p_x^{(0)} = \frac{N_x^{(0)}}{\sum_{y=0}^{\omega-1} N_y^{(0)}}, x = 0, \ldots, \omega - 1. \tag{2.12}$$

Por lo anterior, (2.12) puede interpretarse como la probabilidad de que la edad de una persona, elegida al azar de entre los integrantes de la población en el momento censal, sea igual a x; en otras palabras, que $Pr(X_0 = x), x = 0,..., \omega - 1$.

En los periodos intercensales, en ausencia de un registro preciso de los pobladores de un país o región, dichas proporciones habrán de ser estimadas por otra vía. Es fácil ver que sus proyecciones para el primero de los periodos futuros pueden ser obtenidas como se muestra en (2.13).

$$p_x^{(1)} = \sum_{y=0}^{\omega-1} p_y^{(0)} p_{y,x} = p_{x-1}^{(0)} p_{x-1}, \; x = 1, \ldots, \omega - 1 \tag{2.13}$$

La segunda igualdad es obvia ya que en el transcurso de un periodo sólo es posible alcanzar la edad x desde la $x-1$. Por supuesto, en ausencia de hipótesis sobre la fecundidad a ser tratada más adelante, debe tenerse que para la edad $x=0$, $p_0^{(1)}=0$. En general, estas expresiones pueden mostrarse de manera resumida en notación matricial como en (2.14), donde $\underline{p}^{(1)t}$ es el vector columna de dimensión ω cuyas entradas son las probabilidades $p_x^{(1)}$ para las edades $x=0,1,\ldots,\omega-1$.

$$\underline{p}^{(1)t}=\underline{p}^{(0)t}\boldsymbol{L} \tag{2.14}$$

La semejanza entre (2.14) con (4.10) debe ser destacada. En general, debe tenerse que:

$$\begin{aligned}\underline{p}^{(r)t} &= \underline{p}^{(r-1)t}\boldsymbol{L}\\ &= \left(\underline{p}^{(r-2)t}\boldsymbol{L}\right)\boldsymbol{L}\\ &= \underline{p}^{(r-2)t}\boldsymbol{L}^2\\ &\vdots\\ &= \underline{p}^{(0)t}\boldsymbol{L}^r\end{aligned} \tag{2.15}$$

Cabe señalar que el tamaño de cada grupo de edad al final de cada periodo puede ser estimado como $N_x^{(r)}=Np_x^{(r)}$. A causa de las defunciones ocurridas a lo largo del tiempo debe tenerse que el tamaño actual de la población debe ser menor que el original; es decir, que $\sum_{x=0}^{\omega-1}N_x^{(r)}<N$, lo que se explica a su vez porque $\sum_{x=0}^{\omega-1}p_x^{(r)}<1$. Lo anterior se debe a que el vector de probabilidades absolutas $\underline{p}^{(1)t}$ no considera a todos los estados de la cadena, incluidos los absorbentes. Es decir, hace falta un segundo vector que lo complemente, al cual puede denotarse por $\underline{q}^{(r)}$, cuya función dentro de iteraciones como (2.15) en las que se hace uso de la matriz completa de transiciones $\boldsymbol{M}$ es la de llevar contabilidad del número acumulado de defunciones ocurridas en cada edad a lo largo de varios periodos: $N\,\underline{q}^{(r)t}=N\underline{p}^{(r-1)t}\boldsymbol{D}+N\underline{q}^{(r-1)t}$; en otras palabras, las muertes recientes más las ocurridas en el pasado.

En general, y en vista de la presión que ejercen sobre todo tipo de recursos, la planeación del desarrollo hace un mayor énfasis en el tamaño presente y futuro de los sobrevivientes por lo que en adelante concentraremos nuestra atención en el vector $\underline{p}^{(r)}$, salvo indicación en contrario. Por supuesto, bajo las actuales circunstancias, debe tenerse que el grupo irá extinguiéndose ya que $p_x^{(r)}=0$ para las edades $x=0,\ldots,r-1$ siempre que $r\geq 1$. Ello se debe a que para modelar la evolución del grupo no se han incorporado supuestos ni de fecundidad ni de migración.

2.3 Migración

Para fijar ideas, considere una situación birregional. La emigración desde la región i hacia la j puede ser incorporada al modelo considerando una nueva matriz diagonal de tasas anuales de emigración por edad, la cual será denotada por $\boldsymbol{E}_{ij}$. De este modo, la permanencia en la región i hasta la siguiente edad será modelada por matrices $\boldsymbol{L}_{ii}^*$ dadas por (2.16), que indica que sólo quienes ni emigran ni fallecen alcanzan su siguiente cumpleaños como residentes en dicha región.

$$\boldsymbol{L}_{ii}^*=\left(\boldsymbol{I}-\boldsymbol{E}_{ij}\right)(\boldsymbol{I}-\boldsymbol{D}_i)\boldsymbol{J},\ i=1,2. \tag{2.16}$$

Por su lado, una segunda parte de los residentes originales en i alcanzará también vivo la siguiente edad, pero lo hará en la región j; en este caso, las tasas correspondientes se organizan en una matriz como la que aparece en (2.17). Correspondientemente, habrá individuos provenientes de j que se añaden a los residentes en i y que sobreviven hasta su siguiente cumpleaños; las tasas que denotan este hecho se encuentran en la matriz $\boldsymbol{L}_{ji}^*$ también definida por (2.17).

$$\boldsymbol{L}_{ij}^*=\boldsymbol{E}_{ij}(\boldsymbol{I}-\boldsymbol{D}_i)\boldsymbol{J},\ i,j=1,2,\ i\neq j. \tag{2.17}$$

Por último, se tendrá a quienes fallecen antes de cumplir un año más de edad. En este caso, se presentan dos posibilidades: están quienes fallecen sin haber emigrado, lo que se registra en (2.18); también, quienes fallecen después de haber inmigrado o emigrado por lo que su deceso ocurre en

un lugar diferente del que se encontraban al inicio del periodo, y en el que se registra el hecho. Esta posibilidad queda dada por la matriz incluida en (2.19).

$$\boldsymbol{Q}_{ii} = \left(\boldsymbol{I} - \boldsymbol{E}_{ij}\right)\boldsymbol{D}_i, i = 1{,}2. \tag{2.18}$$

$$\boldsymbol{Q}_{ij} = \boldsymbol{E}_{ij}\boldsymbol{D}_i, i, j = 1{,}2, i \neq j. \tag{2.19}$$

Con base en lo anterior, es posible redefinir a la matriz $\boldsymbol{M}$, de dimensión $(4\omega) \times (4\omega)$, que modela tanto la supervivencia como la migración entre dos regiones, como en (2.20).

$$\boldsymbol{M}_{4\omega\times 4\omega} = \begin{pmatrix} \boldsymbol{L}_{11}^{*} & \boldsymbol{L}_{12}^{*} & \boldsymbol{Q}_{11} & \boldsymbol{Q}_{12} \\ \boldsymbol{L}_{21}^{*} & \boldsymbol{L}_{22}^{*} & \boldsymbol{Q}_{21} & \boldsymbol{Q}_{22} \\ \boldsymbol{0} & \boldsymbol{0} & \boldsymbol{I} & \boldsymbol{0} \\ \boldsymbol{0} & \boldsymbol{0} & \boldsymbol{0} & \boldsymbol{I} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \boldsymbol{L} & \boldsymbol{D} \\ \boldsymbol{0} & \boldsymbol{I} \end{pmatrix}, \tag{2.20}$$

redefiniendo las matrices $\boldsymbol{L}$ y $\boldsymbol{D}$. Los renglones de $\boldsymbol{M}$ vuelven a sumar a 1, ya que se enumera a la totalidad de los eventos posibles que puede enfrentar un individuo de la población ampliada a lo largo de un año. Una vez ocurrido un cambio de residencia a otra región, el modelo markoviano *olvida* este hecho y, para periodos subsecuentes, trata a los inmigrantes como a cualquier individuo nacido en la región de destino. En otras palabras, les aplica las mismas tasas de mortalidad, fecundidad, etcétera.

La extensión de (2.20) al caso en que se consideran tres o más regiones es inmediata. Por ejemplo, al considerar 32 entidades federativas y un estado adicional identificado como el *resto del mundo* (R), la gran matriz de transiciones $\boldsymbol{M}$, ahora de dimensión $(2 * 33 * \omega \times 2 * 33 * \omega)$, queda redefinida en (2.21), donde se le presenta en bloques matriciales.

$$\boldsymbol{M} = \begin{pmatrix} \boldsymbol{L}_{11}^{*} & \cdots & \boldsymbol{L}_{1,32}^{*} & \boldsymbol{L}_{1R}^{*} & \boldsymbol{Q}_{11} & \cdots & \boldsymbol{Q}_{1,32} & \boldsymbol{Q}_{1R} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \boldsymbol{L}_{32,1}^{*} & \cdots & \boldsymbol{L}_{32,32}^{*} & \boldsymbol{L}_{32,R}^{*} & \boldsymbol{Q}_{32,1} & \cdots & \boldsymbol{Q}_{32,32} & \boldsymbol{Q}_{32,R} \\ \boldsymbol{L}_{R1}^{*} & \cdots & \boldsymbol{L}_{R,32}^{*} & \boldsymbol{L}_{R,R}^{*} & \boldsymbol{Q}_{R1} & \cdots & \boldsymbol{Q}_{R,32} & \boldsymbol{Q}_{RR} \\ \boldsymbol{0} & \cdots & \boldsymbol{0} & \boldsymbol{0} & \boldsymbol{I} & \cdots & \boldsymbol{0} & \boldsymbol{0} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \boldsymbol{0} & \cdots & \boldsymbol{0} & \boldsymbol{0} & \boldsymbol{0} & \cdots & \boldsymbol{I} & \boldsymbol{0} \\ \boldsymbol{0} & \cdots & \boldsymbol{0} & \boldsymbol{0} & \boldsymbol{0} & \cdots & \boldsymbol{0} & \boldsymbol{I} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \boldsymbol{L} & \boldsymbol{D} \\ \boldsymbol{0} & \boldsymbol{I} \end{pmatrix} \tag{2.21}$$

donde las matrices $\boldsymbol{L}$ y $\boldsymbol{D}$ han sido redefinidas nuevamente de manera obvia.

Una consecuencia importante de la expresión (2.21), que será demostrada más adelante (ver sección *Ecuación compensadora*, adelante), es que los saldos migratorios internos se saldan a nivel nacional. En otras palabras, el crecimiento de la población total de un país por desplazamientos de personas dentro de su territorio es cero, como es de esperarse. Ahora bien, aunque la matriz $\boldsymbol{M}$ definida en la expresión (2.21) tiene como fin principal modelar la evolución del tamaño y de las estructuras por edad y por regiones o estados de la población de un país conformado por un cierto número de divisiones políticas (32 entidades federativas en el ejemplo), la consideración del flujo de migrantes internacionales desde y hacia el país obligaría estrictamente a considerar asimismo la modelación de la evolución del tamaño y de la estructura por edades de la región R (*resto del mundo*), lo que puede resultar complicado. De forma alternativa, es posible considerar la adición de sobretasas (posiblemente negativas) por migración neta internacional " desde i hacia el éter, o viceversa" en las matrices $\boldsymbol{E}$ que modelan la migración interna; su expresión podría ser del tipo "tantos emigrantes internacionales por cada emigrante interno". Ello cancela la necesidad de considerar una región adicional, pero impide la identificación de la procedencia o destino de los migrantes internacionales lo que, en consecuencia, conduce a un saldo migratorio no nulo a nivel de país. Bajo las anteriores condiciones, la suma de los elementos en cada renglón de la matriz $\boldsymbol{M}$ puede ser diferente de 1. En algunos casos, el valor de esta suma es menor a 1 y el tamaño de la población decrece por exhibir un saldo migratorio negativo, lo que aceleraría su extinción; cuando el valor de dicha suma excede a 1, el tamaño poblacional crecería a costa del de otras entidades federativas o por inmigración internacional.

Aun en caso de considerar a todos los países o regiones del planeta, de acuerdo con el modelo, la población ampliada sigue siendo cerrada, por lo que de nuevo su extinción se dará con certeza, lo cual ya no resulta tan obvio. Sólo la consideración de la fe-

cundidad evitará ese destino, ya que (aún) no existe registro de migración desde y hacia la Tierra.

2.4 Estructura por edad y sexo

Los elementos y las expresiones presentadas hasta ahora son susceptibles de ser extendidas para considerar comportamientos diferentes entre sexos en cuanto a mortalidad y a migración. Para este fin, se modelará la evolución diferencial por edad y sexo reordenando y agrupando, según sea necesario, a las submatrices que forman parte de las específicas de transición para cada sexo. En efecto, sean $\boldsymbol{M}_F$ y $\boldsymbol{M}_M$ las matrices que modelan la dinámica demográfica de las cohortes femeninas y masculinas que conviven en un momento dado, respectivamente, y cuya estructura es idéntica a (2.21) distinguiéndose tan sólo por los valores de las tasas anuales de mortalidad y de migración para mujeres y hombres. La expresión (2.22) redefine a la matriz $\boldsymbol{M}$, el número de cuyos renglones y columnas alcanza ahora $2 \times R \times \omega \times 2$ (= Sexos × Regiones × Edades × Permanencia o no), que resume la modelación del comportamiento de las dos influencias anteriores.

$$\boldsymbol{M} = \begin{pmatrix} \boldsymbol{L}_F & \boldsymbol{0} & \boldsymbol{D}_F & \boldsymbol{0} \\ \boldsymbol{0} & \boldsymbol{L}_M & \boldsymbol{0} & \boldsymbol{D}_M \\ \boldsymbol{0} & \boldsymbol{0} & \boldsymbol{I} & \boldsymbol{0} \\ \boldsymbol{0} & \boldsymbol{0} & \boldsymbol{0} & \boldsymbol{I} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \boldsymbol{L} & \boldsymbol{D} \\ \boldsymbol{0} & \boldsymbol{I} \end{pmatrix}. \tag{2.22}$$

Por su parte, la distribución inicial por edades puede también presentarse en su versión por sexo y por región. Para ello, primero, se conjuntan las distribuciones iniciales femeninas por edad y región, así como las correspondientes masculinas, según (2.23) y (2.24), respectivamente.

$$\underline{p}_F^{(0)t} = \left(\underline{p}_{F,1}^{(0)t}, \dots, \underline{p}_{F,R}^{(0)t}\right). \tag{2.23}$$

$$\underline{p}_M^{(0)t} = \left(\underline{p}_{F,1}^{(0)t}, \dots, \underline{p}_{F,R}^{(0)t}\right). \tag{2.24}$$

Éstas, al ser consideradas de manera agregada, llevan a la distribución inicial por edad, sexo y entidad federativa $\underline{p}^{(0)}$ definida como se muestra en (2.25).

$$\underline{p}^{(0)t} = \left(\underline{p}_F^{(0)t}, \underline{p}_M^{(0)t}\right). \tag{2.25}$$

A partir de las definiciones anteriores se arriba a la proyección de las estructuras por edad y sexo, un periodo adelante:

$$\underline{p}^{(1)t} = \left(\underline{p}_F^{(1)t}, \underline{p}_M^{(1)t}\right) = \left(\underline{p}_F^{(0)t}\boldsymbol{L}_F, \underline{p}_M^{(0)t}\boldsymbol{L}_M\right) = \underline{p}^{(0)t}\boldsymbol{L} \tag{2.26}$$

y, en general, *r* periodos adelante según (2.27).

$$\underline{p}^{(r)t} = \left(\underline{p}_F^{(r-1)t}\boldsymbol{L}_F, \underline{p}_M^{(r-1)t}\boldsymbol{L}_M\right) = \underline{p}^{(r-1)t}\boldsymbol{L} = \cdots = \underline{p}^{(0)t}(\boldsymbol{L})^r \tag{2.27}$$

Aunque (2.27) hace explícito que se está considerando la proyección de la población de cada sexo por separado (lo que podría conducir a la generalización a tres o más *sexos*), hace también evidente que las formas recursivas básicas (2.14) o (2.15) para el cálculo de proyecciones se extienden naturalmente a este caso, con la misma aparente simplicidad a pesar de tratarse ahora de la modelación de una situación considerablemente más compleja que la considerada en aquéllas.

2.5 Fertilidad

A partir de tasas anuales de fertilidad específicas por edad de la madre $\underline{f}^{(r)*}$, es posible añadir a nuestro modelo el ingreso de nuevos individuos. En una primera aproximación, para el primer periodo de observación y para una región i cualquiera, el número de recién nacidos al final del mismo periodo podría calcularse como se indica en (2.28).[9]

$$p_{0,i}^{(r)} = \underline{p}_{F,i}^{(r-1)t}\underline{f}_{\underline{i}}^{(r)*}, i = 1,2,\cdots,K. \tag{2.28}$$

9 En esta expresión se considera que las tasas específicas por edad de la madre pueden cambiar a lo largo del tiempo.

Sin embargo, (2.28) puede conducir a una sobrestimación del número de nacimientos pues considera que todas las mujeres en edad fértil presentes en una región determinada al inicio de un periodo, incluidas las que fallecerán o emigrarán a lo largo del mismo, estarán expuestas al riesgo de dar a luz durante su total duración y en la misma región. En algunos casos reportados en la literatura se ha intentado incorporar en (2.28) el efecto de la mortalidad, pero no conozco ninguno en que se haga algo similar para el de la migración. Por otro lado, de manera natural, tanto los alumbramientos como los decesos y las migraciones tienen lugar de manera continua y simultánea a lo largo de cada uno de los periodos. El modelo que hemos seguido hasta ahora, sin embargo, fija nuestra atención sólo en los instantes inicial y final de cada periodo. Es por ello que, con el fin de mantenernos en este contexto, será necesario llevar a cabo adaptaciones adicionales. Así, tanto para corregir la fertilidad por mortalidad y migración de las mujeres en edad fértil como para adaptarlos al modelo, será preciso hacer algunos supuestos simplificadores que nos permitan su modelado de manera simple, pero precisa.

La base del enfoque a seguir requiere que se simplifique la manera en que se modela la ocurrencia de los distintos eventos a lo largo del tiempo. Para ello, se supondrá que todos los alumbramientos tienen lugar simultáneamente en el instante central del periodo de modo que las mujeres expuestas al riesgo de parto en una región serán las que estén presentes en ese lugar en el mismo instante. Para la determinación de ese número, se recurrirá al supuesto de que defunciones y migraciones se distribuyen de manera uniforme a lo largo del periodo. En consecuencia, la frase "presentes en el instante central" incluye a aquellas presentes en la región al principio del periodo que en el instante central del mismo ni han muerto ni han emigrado. Incluye, asimismo, a las que habiendo inmigrado hasta ese momento no han fallecido. Por supuesto, excluye a las que hasta ese momento han emigrado y a las que ya fallecieron.

De este modo, la desagregación de la totalidad de las mujeres al inicio del periodo en cuatro categorías puede ser resumida como se muestra en el cuadro 2. La matriz $(\boldsymbol{I} - \frac{1}{2}\boldsymbol{E})(\boldsymbol{I} - \frac{1}{2}\boldsymbol{D})$ aporta las tasas para el cálculo de aquellas que, estando presentes al principio del periodo, ni han emigrado ni han fallecido a mitad del mismo. Por su parte, $\frac{1}{2}\boldsymbol{E}\ (\boldsymbol{I} - \frac{1}{2}\boldsymbol{D})$ lleva al cálculo de aquellas que, habiendo emigrado, no han fallecido. El segundo renglón muestra las matrices de tasas asociadas con las mujeres que han fallecido, tanto si emigraron, $(\boldsymbol{I} - \frac{1}{2}\boldsymbol{E})\frac{1}{2}\boldsymbol{D}$, como si no, $\frac{1}{2}\boldsymbol{E}\frac{1}{2}\boldsymbol{D}$. La suma de las dos matrices en el primer renglón debe llevar a la de tasas de sobrevivencia a mitad del periodo, $(\boldsymbol{I} - \frac{1}{2}\boldsymbol{D})$; la de las del segundo renglón es igual a $\frac{1}{2}\boldsymbol{D}$ y la de ambos totales es igual a $\boldsymbol{I}$, es decir, al total de mujeres presentes al principio del periodo. Cuando la suma tiene lugar a lo largo de cada una de las dos columnas se tiene el mismo caso. En otras palabras, la población inicial es dividida en cuatro grupos exhaustivos y excluyentes. Por supuesto, bajo las condiciones establecidas sólo las mujeres sobrevivientes están en condiciones de reproducirse. Las que no han emigrado y dan a luz lo harán en su lugar de origen, en tanto que aquellas que tienen un parto de entre las que emigraron, lo harán en su lugar de destino.

Por lo que toca a las tasas de fertilidad aplicables se supondrá para las mujeres migrantes, por lo me-

Cuadro 2

Matrices de tasas a mitad del periodo

		Migración		
		No emigra	Emigra	Total
Defunción	No muere	$(\boldsymbol{I} - \frac{1}{2}\boldsymbol{E})(\boldsymbol{I} - \frac{1}{2}\boldsymbol{D})$	$\frac{1}{2}\boldsymbol{E}(\boldsymbol{I} - \frac{1}{2}\boldsymbol{D})$	$(\boldsymbol{I} - \frac{1}{2}\boldsymbol{D})$
	Fallece	$(\boldsymbol{I} - \frac{1}{2}\boldsymbol{E})\frac{1}{2}\boldsymbol{D}$	$\frac{1}{2}\boldsymbol{E}\frac{1}{2}\boldsymbol{D}$	$\frac{1}{2}\boldsymbol{D}$
	Total	$(\boldsymbol{I} - \frac{1}{2}\boldsymbol{E})$	$\frac{1}{2}\boldsymbol{E}$	$\boldsymbol{I}$

nos durante el periodo inmediato posterior al de su migración, que se les aplican las de su entidad de origen. De este modo, y con base en los supuestos anteriores, se debe tener que la fertilidad $\underline{f}_{ij}^{(r)}$, corregida por mortalidad y por migración a la entidad j desde la i, queda dada según la expresión (2.29).

$$\underline{f}_{ij}^{(r)} = \left(\boldsymbol{I} - \frac{1}{2}\boldsymbol{D}_i\right)\frac{1}{2}\boldsymbol{E}_{ij}\underline{f}_{\underline{i}}^{(r)*} \tag{2.29}$$

Por su parte, la fertilidad en la región i, $\underline{f}_{ii}^{(r)}$, corregida por mortalidad y migración, queda definida según (2.30).

$$\underline{f}_{ii}^{(r)} = \left(\boldsymbol{I} - \frac{1}{2}\boldsymbol{D}_i\right)\left(\boldsymbol{I} - \frac{1}{2}\sum_{j\neq i}^{R}\boldsymbol{E}_{ij}\right)\underline{f}_{\underline{i}}^{(r)*} \tag{2.30}$$

Estas tasas corregidas son tales que, para la región i,

$$\sum_{i=1}^{R}\underline{f}_{ij}^{(r)} = \left(\boldsymbol{I} - \frac{1}{2}\sum_{j\neq i}^{R}\boldsymbol{E}_{F,ij}\right)\left(\boldsymbol{I} - \frac{1}{2}\boldsymbol{D}_{F,i}\right)\underline{f}_{\underline{i}}^{(r)*} + \frac{1}{2}\sum_{j\neq i}^{R}\boldsymbol{E}_{F,ij}\left(\boldsymbol{I} - \frac{1}{2}\boldsymbol{D}_{F,i}\right)\underline{f}_{\underline{i}}^{(r)*}$$
$$= \left(\boldsymbol{I} - \frac{1}{2}\boldsymbol{D}_{F,i}\right)\underline{f}_{\underline{i}}^{(r)*};$$

es decir, cuando se ignora la migración lo que aplica son tasas de fertilidad sólo corregidas por mortalidad.

Finalmente, se tiene que el número de recién nacidos en la i-ésima región al final del r-ésimo periodo puede ser expresado como se muestra en (2.31).

$$p_{0,i}^{(r)} = \sum_{j=1}^{R}\left[\underline{p}_{F,j}^{(r)t}\,\underline{f}_{ji}^{(r)}\right] \tag{2.31}$$

Debe ser claro que la expresión (2.31) no es otra cosa que el producto del vector $\underline{p}_{F,j}^{(r)t}$, definido en (2.27), con el formado por la yuxtaposición de los de las tasas de fertilidad regionales, corregidas por mortalidad y migración. De este modo, cuando no interesa distinguir el sexo de los nacimientos, podemos modificar a cada una de las matrices $\boldsymbol{L}_{ji}^{*}$, definidas en (2.16), (2.17), (2.18) y (2.19), remplazando su primera columna por (2.29) o (2.30), según corresponda.

En general, por supuesto es útil distinguir el sexo de los recién nacidos. Para ello, se definen nuevas matrices $\boldsymbol{L}_{M,ij} = \boldsymbol{L}_{M,ij}^{*}$ y $\boldsymbol{L}_{F,ij}$ dada por (2.32), cuya semejanza con una matriz de Leslie es sólo aparente, pues la nueva matriz contempla además de la mortalidad a la emigración en $\boldsymbol{L}_{F,ij}^{*}$. El segundo sumando en esa expresión es una matriz que tiene todas sus entradas iguales a cero excepto por las de su primer columna, la cual contiene al vector de tasas específicas de fertilidad por edad de la madre, corregidas por mortalidad y migración según (2.29) y (2.30); por su parte, el coeficiente α representa a la proporción de nacimientos femeninos.

$$\boldsymbol{L}_{F,ij} = \boldsymbol{L}_{F,ij}^{*} + \left(\alpha\underline{f}_{ij}^{(r)} \quad \vdots \quad \boldsymbol{0}\right), \tag{2.32}$$

Del mismo modo se define la matriz $\boldsymbol{B}_{ij}$, relacionada con los alumbramientos masculinos, según (2.33).

$$\boldsymbol{B}_{ij} = \left((1-\alpha)\underline{f}_{ij}^{(r)} \quad \vdots \quad \boldsymbol{0}\right) \tag{2.33}$$

Por último, la versión completa del modelo markoviano estacionario, que considera mortalidad, fertilidad y migración para cada combinación de edad, sexo y región, quedaría dada nuevamente por (2.34).

$$\boldsymbol{M} = \begin{pmatrix}\boldsymbol{L}_T & \boldsymbol{D}\\ \boldsymbol{0} & \boldsymbol{I}\end{pmatrix}, \tag{2.34}$$

donde la matriz $\boldsymbol{L}_T$ tiene la forma (2.35), para el caso en que se consideran R regiones.

$$\boldsymbol{L}_T = \begin{pmatrix}
\boldsymbol{L}_{F,11} & \boldsymbol{L}_{F,12} & \cdots & \boldsymbol{L}_{F,1R} & \boldsymbol{B}_{11} & \boldsymbol{B}_{12} & \cdots & \boldsymbol{B}_{1R}\\
\boldsymbol{L}_{F,21} & \boldsymbol{L}_{F,22} & \cdots & \boldsymbol{L}_{F,2R} & \boldsymbol{B}_{21} & \boldsymbol{B}_{22} & \cdots & \boldsymbol{B}_{2R}\\
\vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots\\
\boldsymbol{L}_{F,R1} & \boldsymbol{L}_{F,R2} & \cdots & \boldsymbol{L}_{F,RR} & \boldsymbol{B}_{R1} & \boldsymbol{B}_{R2} & \cdots & \boldsymbol{B}_{RR}\\
\boldsymbol{0} & \boldsymbol{0} & \cdots & \boldsymbol{0} & \boldsymbol{L}_{M,11} & \boldsymbol{L}_{M,12} & \cdots & \boldsymbol{L}_{M,1R}\\
\boldsymbol{0} & \boldsymbol{0} & \cdots & \boldsymbol{0} & \boldsymbol{L}_{M,21} & \boldsymbol{L}_{M,22} & \cdots & \boldsymbol{L}_{M,2R}\\
\vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots\\
\boldsymbol{0} & \boldsymbol{0} & \cdots & \boldsymbol{0} & \boldsymbol{L}_{M,R1} & \boldsymbol{L}_{M,R2} & \cdots & \boldsymbol{L}_{M,RR}
\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}\boldsymbol{L}_F & \boldsymbol{B}\\ \boldsymbol{0} & \boldsymbol{L}_M\end{pmatrix} \tag{2.35}$$

en notación obvia.

Destacamos que, bajo estas condiciones, se introduce una causa adicional por la que los renglones de la matriz (2.35) pueden no sumar a 1. Ello conducirá a cambios en el tamaño de la población usualmente aludidos como "crecimiento natural", que no es sino la diferencia entre nacimientos y defunciones.

La forma de la expresión para actualizar las estructuras poblacionales por región, edad y sexo no se verá afectada a pesar de la incorporación del efecto por fertilidad. En su versión estacionaria aparece en (2.36).

$$\underline{p}^{(r)t} = \underline{p}^{(r-1)t}\boldsymbol{L}_T. \tag{2.36}$$

La versión no estacionaria se muestra en (2.37).

$$\underline{p}^{(r)t} = \underline{p}^{(r-1)t}\boldsymbol{L}_T^{(r)}. \tag{2.37}$$

2.6 Ecuación compensadora

Explicitando el álgebra que resumen tanto (2.36) como (2.37), y denotando por $\underline{1}$ a un vector columna de dimensión ω cuyas componentes son todas iguales a 1, se tiene que, para la entidad i al final del periodo $t+1$, el tamaño poblacional $P_i^{(t+1)}$ es calculado como en (2.38).

$$\begin{aligned}
P_i^{(t+1)} &= \underline{p}_i^{(t+1)'}\underline{1} = \left(\sum_j^R \underline{p}_j^{(t)'}\boldsymbol{L}_{ji}\right)\underline{1} = \left(\underline{p}_i^{(t)'}\boldsymbol{L}_{ii} + \sum_{j\neq i}^R \underline{p}_j^{(t)'}\boldsymbol{L}_{ji}\right)\underline{1} \\
&= \underline{p}_i^{(t)'}\left[(\boldsymbol{I}-\boldsymbol{D}_i)\left(\boldsymbol{I}-\sum_{j\neq i}^R \boldsymbol{E}_{ij}\right)\boldsymbol{J} + \left(\underline{f}_{ii}^{(t+1)} \;\vdots\; \boldsymbol{0}\right)\right]\underline{1} + \\
&\quad \sum_{j\neq i}^R \underline{p}_j^{(t)'}\left[\left(\underline{f}_{ji}^{(t+1)} \;\vdots\; \boldsymbol{0}\right) + (\boldsymbol{I}-\boldsymbol{D}_j)\boldsymbol{E}_{ji}\boldsymbol{J}\right]\underline{1} \\
&= \left\{\underline{p}_i^{(t)'}\boldsymbol{J}\underline{1}\right\} + \left\{\left[\underline{p}_i^{(t)'}\left(\underline{f}_{ii}^{(t+1)} \;\vdots\; \boldsymbol{0}\right) + \sum_{j\neq i}^R \underline{p}_j^{(t)'}\left(\underline{f}_{ji}^{(t+1)} \vdots\; \boldsymbol{0}\right)\right]\underline{1}\right\} - \\
&\quad \left\{\left[\underline{p}_i^{(t)'}\boldsymbol{D}_i\left(\boldsymbol{I}-\sum_{j\neq i}^R \boldsymbol{E}_{ij}\right) + \sum_{j\neq i}^R \underline{p}_j^{(t)'}\boldsymbol{D}_j\boldsymbol{E}_{ji}\right]\boldsymbol{J}\underline{1}\right\} + \\
&\quad \left\{\left[\sum_{j\neq i}^R \underline{p}_j^{(t)'}\boldsymbol{E}_{ji} - \underline{p}_i^{(t)'}\sum_{j\neq i}^R \boldsymbol{E}_{ij}\right]\boldsymbol{J}\underline{1}\right\}.
\end{aligned} \tag{2.38}$$

Abusando un poco de la notación, ya que la fertilidad está relacionada sólo con las estructuras femeninas por edad. En (2.38) bastará con suponer que los valores de las tasas de fecundidad en la porción correspondiente a la población masculina, en las versiones extendidas de cada uno de los vectores $\underline{f}_{ij}^{(t+1)}$, son idénticamente iguales a cero.

Los términos de la expresión en (2.38) han sido ordenados para hacerlos coincidir con la forma acostumbrada de escribir la denominada "ecuación compensadora" en (2.39). Sin embargo, debe hacerse notar que término a término no se da la igualdad que se da entre estas expresiones, pues la población de todas las regiones que al inicio del periodo contaba con edad $\omega - 1$ ha sido excluida de (2.38). Ello se debe a que se ha supuesto que habrán desaparecido con certeza al final del periodo y por ello no contribuyen al total poblacional para el inicio del siguiente. Su presencia al principio del periodo y su posterior desaparición a lo largo del mismo se compensan, por lo que no es necesario añadirlos; es decir, su efecto sólo es apreciado en la mortalidad y, para esa edad, ésta se expresa en las secciones de la matriz de transiciones que han sido excluidas.

$$P_i^{(t+1)} = P_i^{(t)} + B_i^{(t+1)} - D_i^{(t+1)} + S_i^{(t+1)}. \tag{2.39}$$

donde $B_i^{(t+1)}$ representa al número de nacimientos ocurridos a lo largo del periodo; $D_i^{(t+1)}$, al de fallecimientos; finalmente, $S_i^{(t+1)}$ al saldo migratorio correspondiente.

A partir de (2.38), la "ecuación compensadora" puede ser entonces re-escrita como se muestra en (2.40), para el modelo markoviano.

$$P_i^{(t+1)} = P_i^{(t)} + B_i^{(t+1)} - D_i^{(t+1)} + \sum_{j\neq i}^{R-1} I_{ji}^{(t+1)} - \sum_{j\neq i}^{R-1} I_{ij}^{(t+1)} + SI_i^{(t+1)}, i = 1, \ldots, R, \tag{2.40}$$

donde ahora $I_{ij}^{(t+1)}$ es el número de migrantes internos desde i a j a lo largo del periodo $t+1$; en consecuencia, $\sum_{j\neq i}^{R-1} I_{ji}^{(t+1)} - \sum_{j\neq i}^{R-1} I_{ij}^{(t+1)}$ es el saldo migratorio interno; y $SI_i^{(t+1)}$, el saldo migratorio internacional.

Varios métodos convencionales, una vez proyectados los comportamientos que se espera tenga cada una de las componentes a partir de las hipótesis correspondientes, calculan las proyecciones del tamaño poblacional mediante (2.39). En particular, las hipótesis sobre la manera en que se modela el comportamiento del saldo migratorio interno son determinantes para lograr una adecuada distribución espacial de la población proyectada. Cuando cada uno de los saldos de las entidades federativas es proyectado de manera independiente (es decir, sin considerar los saldos de las otras), no es difícil imaginar situaciones en las que la distribución espacial sufre distorsiones importantes al paso del tiempo. En contraste, es de esperarse que el modelo presentado, ya que permite que la migración interna sea obtenida a partir de una matriz de orígenes y destinos, permita mejorar los resultados de las proyecciones al compensar exactamente entradas y salidas para cada entidad federativa por migración interna. En particular, se tiene que en el modelo markoviano el saldo nacional para migración interna cumple con

$$\sum_{i=1}^{R}\left(\sum_{j\neq i}^{R} I_{ji}^{(t)} - \sum_{j\neq i}^{R} I_{ij}^{(t)}\right) = 0, \forall t;$$

es decir que, como es deseable, la suma de los saldos migratorios internos se anula sin necesidad de recurrir a procedimientos que lograrán que aún saldos disparatados, de esos que distorsionarán de manera importante la estructura por entidad federativa, también sumen a cero.

2.7 Aplicaciones

En esta sección serán discutidas de manera breve algunas de las aplicaciones del modelo descrito en secciones anteriores. Algunas de ellas son evidentes, pero otras representan novedades pues se alejan del camino tradicionalmente seguido por autores que han trabajado con formas más simples de modelos semejantes. Iniciaremos estableciendo las condiciones bajo las cuales el modelo puede ser utilizado para realizar proyecciones de población y las ventajas que su uso puede representar sobre métodos más tradicionales. Inmediatamente después el uso de "proyecciones restringidas" que, además de las tasas tradicionales, incorporan en la estimación a la estadística demográfica reciente y, con ella, a los efectos de influencias exógenas de corto plazo; de este modo, producen estimaciones en las que la experiencia estadística contribuye a dar forma a la evolución de los tamaños de las subpoblaciones involucradas. La experiencia relativa a algunos ejercicios censales fallidos o deficientes, así como la necesidad de contar con series quinquenales o decenales completas, hace pensar en la posibilidad de partir tanto de un censo anterior como de uno posterior para obtener una estimación alternativa de la situación que el censo intentó describir. Bajo el supuesto de que las estadísticas demográficas mejoran su calidad al paso del tiempo, la segunda opción, la de la retroproyección, parece ser más deseable que la primera, por lo que la comentaremos en tercer lugar. Por último, y ya que el modelo abre la posibilidad de realizar estimaciones de corto plazo, se plantea la posibilidad de hacer uso de estimaciones de tasas trimestrales obtenidas a partir de la ENOE para la incorporación de patrones estacionales, principalmente debidos a fenómenos migratorios de corta duración, en la estimación de la evolución poblacional.

Proyecciones

La forma recursiva que asumen las ecuaciones que se utilizan en la actualización de las estructuras por edad, sexo y región sugiere que en tanto se cuente con todas las tasas involucradas para cada uno de los años considerados, la estimación del comportamiento futuro promedio de dichas estructuras podrá ser llevada tan lejos como se desee. Por supuesto, la literatura especializada da cuenta de una variada colección de metodologías cuyo fin es el de elaborar proyecciones de los tamaños y estructuras poblacionales de una región, de un país y de sus divisiones administrativas. Sin embargo, es nuestro parecer que el modelo planteado en el presente trabajo puede competir favorablemente tanto si se presentan las condiciones ideales como si no.

En presencia de condiciones ideales, identificamos al menos dos circunstancias favorables. En primer lugar se tiene la consideración simultánea de las influencias demográficas, así como la de sus interacciones, caso que queda mejor ilustrado cuando algunos valores de las tasas sufren modificaciones, lo que trae consecuencias sobre la evolución de las otras componentes demográficas; por ejemplo, es claro que una reducción en la emigración tiene como inmediata consecuencia aumentos tanto en el número de muertes ocurridas en la región como en el de nacimientos, pues la población expuesta al riesgo será mayor que la contemplada por la proyección. La segunda circunstancia favorable a la que nos referiremos tiene que ver con el hecho de que las proyecciones, sea cual sea el método que se utilice para su elaboración, tienen que ver sólo con un comportamiento promedio, tal vez apelando a alguna ley de grandes números. Sin embargo, la consideración de diversas subpoblaciones trae aparejada la consideración de números cada vez menores y, en consecuencia, una mayor incertidumbre alrededor de tales comportamientos promedio. El enfoque markoviano se presta de manera especialmente natural a la evaluación de las mencionadas precisiones por la vía de ejercicios de simulación. En general, cuando no se considera la fecundidad, la suma de las probabilidades de transición presentes en cada renglón debe ser igual a 1, con lo que se determina una distribución multinomial sobre la población que se encuentra en el estado correspondiente al inicio de cada periodo. A través de repetidas proyecciones simuladas será posible determinar un rango de valores entre los que, con alta probabilidad, se encontrará el tamaño futuro de las subpoblaciones. Es de esperarse que la acumulación de las desviaciones con respecto al promedio al paso del tiempo dé lugar a precisiones cada vez peores, mismas que, en algunos casos, pueden conducir a proyecciones cuya utilidad será, en el mejor de los casos, dudosa. Sin embargo, algunas mediciones relacionadas, como los montos necesarios para cubrir las pensiones de los adultos mayores o su atención médica —los que también variarán con cada simulación—, podrán también ser delimitadas con razonable precisión en estudios sobre las consecuencias del envejecimiento poblacional.

Cuando las condiciones no son ideales, esto es, cuando no se dispone de conjuntos completos de tasas de fecundidad, mortalidad o de migración, la ya mencionada consideración de los efectos principales de las componentes demográficas y de sus interacciones ayudarán a paliar las deficiencias en la información disponible.

Conciliación demográfica

Por este término entendemos obtención de estimaciones poblacionales aún para periodos en el pasado reciente para obtener una serie más frecuente de lo que permiten los ejercicios censales y añadiendo a los recursos anteriores la estadística de registros administrativos y/o encuestas demográficas para actualizar las mencionadas estimaciones, lo que puede llevar hasta la corrección de los resultados censales. En términos del modelo presentado, equivale a imponer la restricción de que el resultado de la aplicación del modelo debe ser igual a lo observado, en su caso, lo que a su vez tiene influencia en los resultados subsecuentes a manera de valuación de las consecuencias. Sirve, asimismo, para revisar la coherencia entre hipótesis pasadas sobre comportamientos futuros o estimaciones muestrales de tasas demográficas y los hechos registrados.

Retroproyecciones

Significa realizar la misma actividad que en el punto anterior, pero desplazándose hacia el pasado y partiendo de la acumulación de los registros de defunción para un periodo con duración de un quinquenio o de una década. Una aplicación como ésta sería relevante para revisar, por ejemplo, algún resultado censal sobre el que pueda existir alguna duda, como puede ser el caso del censo mexicano levantado en 1980 bajo condiciones particularmente difíciles o algún otro. Ello permitiría complementar la secuencia de resulta-

dos poblacionales para un número importante de países. También, servirá para calibrar supuestos y estimaciones muestrales.

Si todas las submatrices involucradas lo permitieran, las retroproyecciones se obtendrían usando la matriz inversa que se muestra en (2.41).

$$\boldsymbol{M}^{-1} = \begin{pmatrix} \boldsymbol{L}_T^{-1} & -\boldsymbol{L}_T^{-1}\boldsymbol{D} \\ \boldsymbol{0} & \boldsymbol{I} \end{pmatrix}, \tag{2.41}$$

Sin embargo, algunas de estas submatrices resultan ser singulares por lo que sería necesario imponer un número suficientemente grande de restricciones para encontrar una solución única. La parte del vector solución correspondiente a las defunciones aporta una gran cantidad de tales restricciones que son suficientes para encontrar soluciones únicas para cada periodo contemplado en el ejercicio de retroproyección.

Estacionalidad

A lo largo de la exposición se ha considerado que el periodo básico de proyección tiene una duración de un año. No obstante, es concebible que periodos con una duración diferente resulten relevantes. Por ejemplo, la ENOE produce estimaciones trimestrales de tasas de desocupación abierta, nacionales y por entidad federativa, entre otras. Sin embargo, tales tasas no toman en cuenta la posibilidad de migraciones estacionales y, en consecuencia, el efecto de éstas sobre las mencionadas estimaciones. La figura 3 exhibe que, bajo ciertas circunstancias, los flujos migratorios internaciones desde y hacia México presentan un comportamiento estacional; es de esperarse que los flujos internos muestren comportamientos similares.

En otras palabras, cabe preguntar si a través del modelo es posible producir estimaciones mensuales o trimestrales para los tamaños poblacionales. La respuesta, por supuesto, es que sí es posible siempre que las edades puedan ser medidas en meses o trimestres y que las tasas trimestrales estén disponibles. Para el caso trimestral, la estacionalidad de la migración podría ser incorporada como sigue:

$$\boldsymbol{L}_T = \begin{pmatrix} \boldsymbol{0} & \boldsymbol{L}_{I,II} & \boldsymbol{0} & \boldsymbol{0} \\ \boldsymbol{0} & \boldsymbol{0} & \boldsymbol{L}_{II,III} & \boldsymbol{0} \\ \boldsymbol{0} & \boldsymbol{0} & \boldsymbol{0} & \boldsymbol{L}_{III,IV} \\ \boldsymbol{L}_{IV,I} & \boldsymbol{0} & \boldsymbol{0} & \boldsymbol{0} \end{pmatrix}$$

donde ahora se requeriría de un vector de estructuras que además de edad, sexo y región considere al trimestre, y donde $\boldsymbol{L}_{i,j}$ modela las modificaciones en las estructuras espaciales al paso del trimestre i al siguiente. Con la puesta en operación de un modelo como el anterior, sería posible evaluar el efecto de las oscilaciones estacionales sobre las estimaciones trimestrales producidas por INEGI, así como sobre las asignaciones presupuestales de recursos fiscales a las entidades. La disponibilidad de tasas trimestrales por edad, sexo y entidad federativa no está lejana. Se trabaja en la explotación simultánea de resultados censales y de los producidos por la hoja de datos sociodemográficos que la ENOE incluye desde hace ya algunos años.

2.8 Resumen

Se ha presentado la construcción de un modelo útil para elaborar proyecciones de población de corto, mediano y largo plazos. Para su exacta aplicación, además del tamaño inicial de la población por cada edad, sexo y estado, se requiere, para cada uno de los años del periodo de proyección y para cada sexo, edad y estado, información acerca de tasas anuales de fertilidad, mortalidad y emigración por estado o país de destino que reflejen las hipótesis sobre el comportamiento futuro de cada componente.

Se ha presentado, asimismo, la forma en que el modelo puede ser usado para calcular recursivamente los tamaños de la población tanto a nivel nacional como para cada una de las entidades federativas.

3. Prueba de estrés del modelo

Según se mencionó, el modelo puede ser utilizado para la elaboración de proyecciones de población cuando los valores de las tasas por edad, sexo y región que resultan de las hipótesis sobre el comportamiento futuro de las componentes demográficas principales son usados en la definición de las matrices de transición para cada periodo y cuando se parte de una estructura poblacional censal corregida por posibles subenumeraciones. Por supuesto, bajo estas condiciones es de esperarse que los resultados obtenidos sean semejantes a los que resultarían de la aplicación de otros procedimientos que hacen un uso eficiente de la información disponible. Es concebible, en consecuencia, que cualesquiera discrepancias que resulten entre los valores proyectados y los observados se deberán al cumplimiento o no de las mencionadas hipótesis demográficas.

Por otro lado, cuando no se dispone de toda la información requerida se presentarán discrepancias mayores entre procedimientos aún en caso de que las hipótesis sigan siendo válidas. Es nuestra opinión que bajo estas condiciones se harán más evidentes las ventajas de disponer de un modelo que, además de los efectos demográficos principales, incorpora las interacciones entre éstos. Sostenemos que el uso de la experiencia estadística y registral a medida que se hace disponible, mediante la imposición de restricciones al comportamiento modelado, subsanarán parcialmente las deficiencias exhibidas por la información disponible al inicio del ejercicio. Para los periodos futuros para los cuales esa información no esté disponible será necesario recurrir a hipótesis sobre la evolución futura de las componentes demográficas, posiblemente aquellas en que se basaron las proyecciones más recientes de población o ajustes de éstas a la luz de evidencia estadística reciente. En otras palabras, el modelo permite la producción de estimaciones híbridas resultado de incorporar de manera paulatina el producto de ejercicios limitados de conciliación demográfica, por un lado, y los de ejercicios tradicionales de proyección, por el otro.

El anterior es el contexto bajo el cual ejemplificaremos la aplicación del modelo descrito en secciones anteriores en la estimación de las estructuras por edad, sexo y región para el 2010 en el 2009, partiendo de una selección de la información recolectada por el censo del 2000. La información censal referida fue complementada con la paulatina incorporación de las estadísticas vitales para los años subsecuentes, así como por información proveniente de encuestas por muestreo periódicas en hogares. Esta información, junto con sus alcances y limitaciones, será descrita en los párrafos subsecuentes. Enfatizamos que para todos los hechos demográficos y todos los años del periodo de estimación sólo se recurrió a los totales poblacionales provenientes de las fuentes utilizadas, a pesar de que en muchos de estos casos se produce una mucho mayor riqueza de resultados precisos a los que se pudo haber recurrido. Los hechos, las fuentes y los valores poblacionales anuales utilizados se muestran en el cuadro 3.

Por lo que toca a la información censal del 2000, se utilizó la de los tamaños de la población censal por grupo quinquenal de edad, por sexo y por entidad federativa. Se incluyó la estimación realizada por el INEGI para las denominadas viviendas sin información de ocupantes, población que fue distribuida proporcionalmente entre los grupos de edad. De esta manera, el tamaño de la población total ascendió a casi 97.48 millones, pero la pirámide de edades, expresada en términos relativos, coincidió con la publicada. De manera alternativa, pudo haberse partido de la población que resultó del ejercicio de conciliación demográfica, asociado a ese censo.

La decisión de hacer uso de información para grupos quinquenales de edad para todo el ejercicio en lugar de la correspondiente a las edades individuales se tomó debido a la forma en que se publicó la del tema migración. El tabulado del que se partió, denominado *Población de 5 años y más por estado de residencia actual, sexo y grupos quinquenales de edad, y su distribución según condición migratoria municipal, estatal e internacional (migración por lugar de residencia en enero de 1995)*, iden-

Cuadro 3

Estadística intercensal, resumen nacional, 2001-2010

Hecho	Fuente	2001	2002	2003	2004	2005
Nacimientos	Registro	2 798 339	2 767 610	2 699 084	2 655 894	2 625 056
	Reconstrucción	2 432 453	2 358 893	2 346 076	2 302 259	2 291 146
Defunciones	Registro	437 667	443 127	459 687	472 140	473 417
Migración neta	ACS/ENOE	-381 683	-357 578	-451 507	-450 069	-342 526
Hecho	**Fuente**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**
Nacimientos	Registro	2 567 906	2 505 939	2 655 083	2 636 110	N.D.
	Reconstrucción	2 215 110	2 151 182	2 096 489	N.D.	N.D.
Defunciones	Registro	495 240	494 471	514 420	539 530	564 673
Migración neta	ACS/ENOE	-277 180	-254 660	-177 078	N.D.	N.D.

N.D.: no disponible.

tificado como *MIGRACIÓN 4*,[10] muestra la información precisamente en términos de esos grupos. De hecho, toda la información sobre este tema puede ser obtenida en el mismo sitio del INEGI por edad desplegada a partir de las utilerías de consulta dinámica que esa institución ha hecho disponibles. A pesar de lo anterior, se mantuvo la decisión de trabajar sólo con grupos quinquenales. Por supuesto, queda claro que dicha decisión tiene un efecto adverso en términos de la precisión de las estimaciones, pero por ello nos permite evaluar la bondad del modelo presentado.

La modelación de la migración interna se basó, además, en información sobre cambios de residencia (transiciones) entre una entidad y otra durante el periodo 1995-2000, contenida en el tabulado denominado *Población de 5 años y más por entidad federativa de residencia actual y lugar de residencia en enero de 1995, y su distribución según sexo (migración por lugar de residencia en enero de 1995)*, identificado como *MIGRACIÓN 3*. En ausencia de información precisa sobre cambios significativos de las tasas derivadas de estos tabulados entre el 2000 y 2010, la estructura se mantuvo fija durante el ejercicio de estimación. La situación es un tanto diferente para la migración internacional ya que al ser determinada a nivel de país puede ser estimada con mayor precisión. De este modo, la situación observada en el 2000 pudo ser modificada a partir de estimaciones aportadas por la American Community Survey (ACS), para 2000-2006, y de las tasas anuales producidas por la ENOE, para 2006-2008. La drástica reducción del saldo migratorio, que tuvo entre sus causas más importantes la contracción sufrida por la economía de los EE.UU. a partir del 2008 (del 2005 para el sector de la construcción, importante empleador de mano de obra mexicana), pudo de este modo ser incorporada en las estimaciones poblacionales para el periodo, contraste importante con el ejercicio de proyección poblacional realizado por el CONAPO y publicado en el 2006, antes de que se hicieran evidentes consecuencias más drásticas de la crisis. La entidad federativa de origen de los emigrantes internacionales, al igual que su edad y sexo, fue asignada proporcionalmente de acuerdo con la emigración interna.

Con respecto a la fecundidad, para el cálculo de tasas por entidad federativa y grupo quinquenal de edad de la madre para 1999, se partió del tabulado denominado *Población femenina de 12 a 55 años, último hijo nacido vivo entre enero de 1999 y febrero de 2000 por entidad federativa y grupos de edad de la mujer, y su distribución según fecha de nacimiento del hijo* (*FECUNDIDAD 4*). En ausencia de información adicional, las relaciones que guardan entre sí las mencionadas tasas para diferentes grupos etarios fueron mantenidas constantes a lo largo del decenio 2000-2010. En todo caso, se recurrió, además, a la reconstrucción del número total de nacimientos por año en México, que resulta del análisis de

10 http://www.inegi.org.mx/sistemas/TabuladosBasicos/Default.aspx?c=16852&s=est, consultado el 31 de enero de 2012.

la estadística de registros de nacimiento, pero que requiere del conocimiento de dicho registro para varios años posteriores, por lo que las cifras resultado de la mencionada reconstrucción sólo llegaron al 2008; las cifras para el 2009 y 2010 tuvieron que ser estimadas, lo cual se realizó extrapolando la tendencia que mostraba la reconstrucción. Estos totales nacionales se combinaron con las tasas para 1999 y con los tamaños estimados de los grupos quinquenales de edad femeninos al inicio de cada año del periodo de estimación dando lugar a tasas para cada uno de esos años. Nuevamente, la información proveniente de registros administrativos muestra un despliegue mucho más amplio que el utilizado por nosotros, por lo que podría haber contribuido a mejorar nuestra estimación. Sin embargo, se decidió no hacer uso de dichos desgloses durante esta prueba de estrés del modelo.

Por lo que toca a la mortalidad, también se hizo uso de dos fuentes de información. La primera consistió en un conjunto de tablas de mortalidad calculadas por el INEGI con base en cifras de las proyecciones del CONAPO 2005-2050 usando el paquete MORTPACK. La tabla disponible para cada uno de los años del periodo de estimación no hacía distinción ni por sexo ni por entidad federativa lo que, por supuesto, afecta negativamente la precisión de las estimaciones. Como en los casos anteriores, la segunda fuente informativa usada para dar seguimiento a la mortalidad consistió en la estadística registral publicada por el INEGI. Cabe destacar que sólo fueron usados los totales nacionales por año; es decir, no se aprovecharon los desgloses por sexo, por edad ni por entidad federativa. De nuevo encontramos aquí una fuente de error que pudo haber sido controlado y reducido al aprovechar de manera más eficiente la información disponible.

Bajo las anteriores circunstancias, el ejercicio numérico que se presenta a continuación no es ni un planteamiento de hipótesis alternativas sobre la evolución futura de las componentes de la dinámica demográfica, ni una revisión a fondo de coincidencias o diferencias con resultados censales o de proyección, ni una propuesta de valores poblacionales a ser usados en la práctica. ¿Por qué? Porque las deficiencias en los insumos informativos harían inútil cualquier ejercicio en alguno de estos sentidos. Lo que se pretende es acercarse al límite de viabilidad del modelo o de las estrategias en las que es posible su aplicación, a distintos niveles de detalle o desagregación.

3.1 Resultados numéricos

Totales nacionales

El cuadro 4 muestra los resultados de la aplicación del modelo restringido a que las estimaciones para cada uno de los hechos coincidan con alguna versión de la estadística demográfica para la década. En el apéndice se hacen explícitos los resultados para cada una de las componentes, así como las discrepancias, en su caso, según el método usado para aproximar la estadística demográfica. Destacamos que para febrero del 2010, la estrategia seguida resultó en una estimación poblacional de casi 111.95 millones de pobladores en México; cuatro meses después, en junio del mismo año, el censo contó 112.36 millones de habitantes. Es, asimismo, destacable que para febrero del 2005, la estimación alcanzó los 104.9 millones de personas; ocho meses después, durante octubre del mismo año, el conteo de población encontró sólo 103.3 millones.

Tal vez los resultados agregados presentados en el cuadro 4 hagan pensar al lector casual que lo mismo pudo haber sido obtenido usando los mismos datos en la aplicación de la *ecuación compensadora* a lo largo de la década. Por ello, es preciso reiterar que fue necesario hacer ajustes a una o más de las cifras iniciales para que las restricciones impuestas fueran cabalmente satisfechas. De este modo, fue preciso ajustar a la baja las probabilidades de defunción para cada uno de los años. En efecto, sólo cuando se hizo uso de un factor equivalente a 95.26% las tasas de mortalidad fueron adecuadas para obtener, cuando se aplican a la población censal y a las subsecuentes estimaciones, cifras de mortalidad tan cercanas a los valores de las estadísticas vitales como para que las discrepancias entre éstos

Cuadro 4

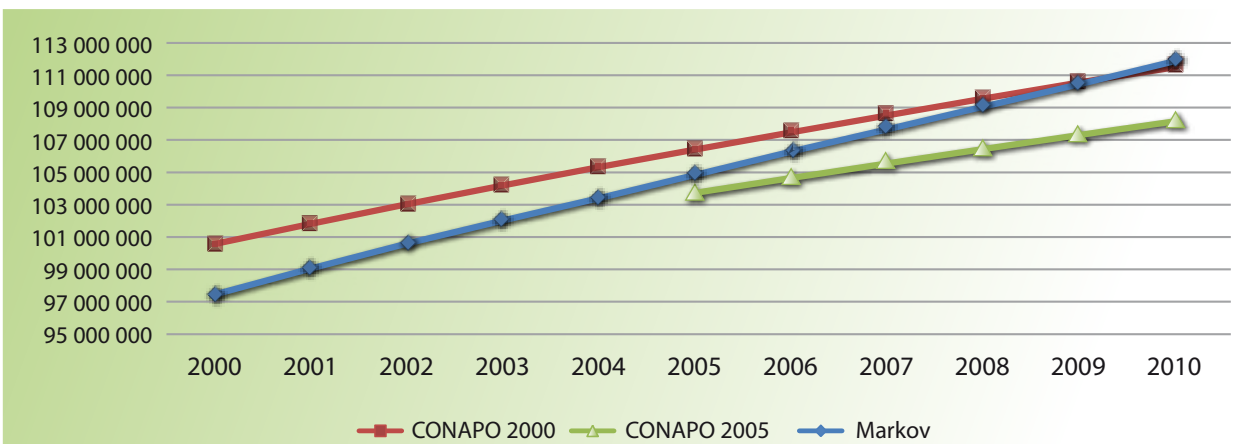
Eventos demográficos, en miles de personas, estimados vía Markov, para el periodo 2000-2010, y su comparación con ejercicios recientes de proyección del CONAPO

	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Nacimientos		2 432	2 359	2 346	2 302	2 291
Defunciones		439	448	458	471	484
Mig. neta		-382	-357	-451	-450	-342
Población	97 483	99 096	100 650	102 087	103 468	104 933
Proyección 2000	**100 569**	**101 826**	**103 040**	**104 214**	**105 350**	**106 452**
Proyección 2005						**103 947**
	2005	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**
Nacimientos	2 291	2 215	2 151	2 096	2 045	1 994
Defunciones	484	495	507	518	531	544
Mig. neta	-342	-277	-255	-177	-117	-67
Población	104 933	106 376	107 766	109 167	110 564	111 948
Proyección 2000	**106 452**	**107 525**	**108 576**	**109 607**	**110 619**	**111 614**
Proyección 2005	**103 947**	**104 874**	**105 791**	**106 683**	**107 551**	**108 396**

y la tendencia resultante de la estimación sumaran a cero para toda la década, según se muestra en el apéndice. Si se hubiera iniciado el proceso de estimación haciendo uso de la población conciliada en el 2000, cuyo total alcanzó un valor de 100.6 millones, superior en casi 3.2 millones al de la población censada, habría sido necesario reducir aún más las tasas de mortalidad para reproducir la estadística demográfica de la década. Por supuesto, bajo estas condiciones, la cifra poblacional conciliada por el modelo para el 2010 habría alcanzado los 115 millones de personas. Circunstancias como las

Figura 5

Estimación markoviana de la población total de México, 2000-2010, y sus proyecciones desde el 2000 y desde el 2005



descritas en este párrafo en las que, o bien las tasas de mortalidad, o bien la población inicial, o ambas, habrían sido sobreestimadas, sugieren la utilidad del modelo como apoyo a los ejercicios de análisis o conciliación demográfica al señalar posibles inconsistencias entre las distintas fuentes de información consideradas.

Ajustes como los señalados en el párrafo anterior fueron también necesarios para el caso de las otras dos componentes demográficas. Algunos de ellos son consecuencia directa de la aplicación del modelo y de la consideración simultánea de las tres componentes. Por ejemplo, cualesquiera que hayan sido las causas, hay acuerdo en que el número de mexicanos que buscaron emigrar durante la segunda mitad de la década exhibió una importante tendencia decreciente. En consecuencia, creció el número de personas expuestas al riesgo de tener un hijo en este país a lo largo del mismo periodo con respecto a lo que habría cabido esperar. No es de extrañar que las cifras disponibles para la reconstrucción de las estadísticas vitales muestren un decremento más lento en el número de nacimientos que, por ejemplo, lo esperado por el CONAPO al elaborar las proyecciones a partir del 2005. En este contexto cabe, por supuesto, preguntarse sobre el crecimiento o no de la tasa global de fecundidad (TGF) a lo largo de la década. En nuestra experiencia (ver apéndice), con el propósito de reproducir a través de la estimación recursiva el comportamiento de la estadística vital de nacimientos, fue siempre necesario ajustar a la baja las tasas de natalidad de 1999 de modo que la TGF pasó de casi 2.8, para el año que concluyó en febrero del 2001, a 2.1 para el 2010. Por supuesto, en este caso no existe ninguna contradicción.

3.2 Estructura quinquenal por edad y sexo

Es posible producir información con un mayor detalle, ya que el modelo fue desarrollado para estimar estructuras por edad, sexo y región o entidad federativa, para todos y cada uno de los años del periodo de estimación. De hecho, la instrumentación que de él se hizo en Excel aporta todos estos resultados que pueden ser solicitados al autor. De cualquier manera, el detalle que para el nivel nacional aporta la distribución por edad y sexo permite crearse una idea del efecto de haber considerado tasas y estadísticas que ignoraron estas características en alguna medida. La figura 6 incluye las estructuras nacionales por edad y sexo para el 2010 tanto en su versión censal como en la estimada por el modelo. Es preciso destacar que con fines de comparación deben ser tomados en cuenta dos diferencias básicas entre una y otra estructura. En primer lugar, la que resulta del modelo hace referencia a un momento que antecede al censal por cuatro meses, por lo que el crecimiento ocurrido a lo largo de dicho periodo, debido principalmente al crecimiento natural, modificaría ligeramente la estructura presentada. Por su parte, la estructura censal no incluye 1.4 millones de personas imputadas y, por ende, con edades no especificadas (ver cuadro 5).

Cuadro 5

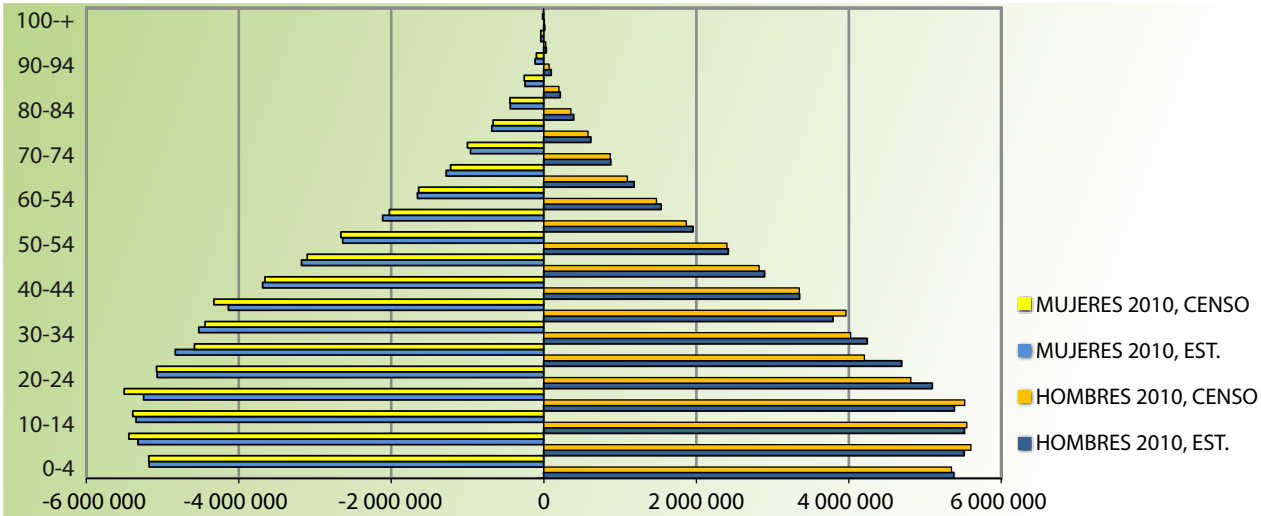
Comparación de totales nacionales por sexo

	Hombres	Mujeres	Total
Markov	55 225 995	56 720 589	111 946 585
Censo	54 855 231	57 481 307	112 336 538
Imputados	700 219	697 187	1 397 406

Entre las edades de 20 y 34, para los hombres se nota una discrepancia importante que, seguramente, se verá reducida de manera importante al asignar edades a los no especificados ya que, como se hizo aparente durante la conciliación censal del 2005, cuando se supone que la estructura por edad y sexo para las viviendas sin información de ocupantes es semejante a la exhibida por aquellas que fue necesario visitar dos o más veces durante el levantamiento censal para lograr la entrevista y la cual se carga principalmente del lado masculino y en edades de trabajar. El resto de las discrepancias entre ambas gráficas no parece ser particularmente grande.

Figura 6

Estructura nacional por edad y sexo, censal y estimada, 2010



3.3 Estructura relativa por entidad federativa

Como ya fue señalado, uno de los usos más importantes de la evolución de los tamaños poblacionales por entidad federativa lo encontramos en la distribución de recursos fiscales de acuerdo con "la última información oficial de población que hubiere dado a conocer el INEGI para la entidad". Esta información ha estado fuertemente influenciada por las proyecciones de población elaboradas por el CONAPO, pues los factores de expansión son corregidos de modo que su suma coincida con las cifras poblacionales proyectadas a diversos niveles de desagregación. Por ello, y a pesar de la limitación en la información de entrada para la realización de este ejercicio, resulta relevante llevar a cabo una comparación entre ejercicios recientes de proyección y las estimaciones obtenidas por el modelo bajo la estrategia discutida en esta sección. El cuadro 6 muestra la forma en la que, de acuerdo con el modelo, evolucionaron los tamaños relativos

Cuadro 6

Continúa

Evolución estimada de la distribución porcentual por entidad

	Ags.	BC	BCS	Camp.	Coah.	Col.	Chis.	Chih.
Censo	**0.97%**	**2.55%**	**0.43%**	**0.71%**	**2.36%**	**0.56%**	**4.02%**	**3.13%**
2001	0.98%	2.59%	0.44%	0.71%	2.36%	0.56%	4.05%	3.13%
2002	0.99%	2.62%	0.45%	0.71%	2.36%	0.56%	4.08%	3.12%
2003	1.00%	2.66%	0.45%	0.71%	2.37%	0.56%	4.11%	3.11%
2004	1.00%	2.69%	0.46%	0.71%	2.37%	0.57%	4.14%	3.10%
2005	1.01%	2.72%	0.47%	0.71%	2.37%	0.57%	4.16%	3.09%
Conteo	**1.03%**	**2.75%**	**0.50%**	**0.73%**	**2.42%**	**0.55%**	**4.16%**	**3.14%**
	0.02%	0.03%	0.03%	0.02%	0.05%	0.02%	0.01%	0.05%
2006	1.02%	2.75%	0.47%	0.71%	2.37%	0.57%	4.19%	3.08%
2007	1.03%	2.78%	0.48%	0.71%	2.37%	0.57%	4.22%	3.08%
2008	1.04%	2.81%	0.48%	0.71%	2.37%	0.57%	4.24%	3.07%
2009	1.04%	2.84%	0.49%	0.71%	2.37%	0.58%	4.26%	3.06%
2010	1.05%	2.87%	0.50%	0.71%	2.37%	0.58%	4.28%	3.06%

Evolución estimada de la distribución porcentual por entidad

	Ags.	BC	BCS	Camp.	Coah.	Col.	Chis.	Chih.
Censo	**1.05%**	**2.81%**	**0.57%**	**0.73%**	**2.45%**	**0.58%**	**4.27%**	**3.03%**
	0.00%	0.07%	0.07%	0.02%	0.07%	0.00%	0.02%	0.03%
	DF	**Dgo.**	**Gto.**	**Gro.**	**Hgo.**	**Jal.**	**Méx.**	**Mich.**
Censo	**8.83%**	**1.49%**	**4.78%**	**3.16%**	**2.29%**	**6.49%**	**13.43%**	**4.09%**
2001	8.73%	1.48%	4.79%	3.15%	2.29%	6.51%	13.46%	4.05%
2002	8.63%	1.48%	4.80%	3.14%	2.29%	6.52%	13.49%	4.02%
2003	8.53%	1.48%	4.81%	3.13%	2.29%	6.55%	13.51%	3.98%
2004	8.43%	1.48%	4.82%	3.12%	2.29%	6.57%	13.53%	3.94%
2005	8.34%	1.48%	4.83%	3.11%	2.29%	6.59%	13.55%	3.91%
Conteo	**8.45%**	**1.46%**	**4.74%**	**3.02%**	**2.27%**	**6.54%**	**13.56%**	**3.84%**
	0.11%	0.02%	0.09%	0.09%	0.02%	0.05%	0.02%	0.07%
2006	8.25%	1.48%	4.84%	3.11%	2.29%	6.60%	13.56%	3.88%
2007	8.17%	1.47%	4.85%	3.10%	2.29%	6.62%	13.57%	3.86%
2008	8.10%	1.47%	4.85%	3.09%	2.29%	6.63%	13.58%	3.83%
2009	8.03%	1.47%	4.86%	3.09%	2.29%	6.65%	13.59%	3.81%
2010	7.96%	1.47%	4.87%	3.08%	2.29%	6.66%	13.60%	3.78%
Censo	**7.90%**	**1.45%**	**4.88%**	**3.02%**	**2.37%**	**6.54%**	**13.51%**	**3.87%**
	0.07%	0.02%	0.02%	0.07%	0.09%	0.11%	0.09%	0.09%
	Mor.	**Nay.**	**NL**	**Oax.**	**Pue.**	**Qro.**	**Q. Roo**	**SLP**
Censo	**1.60%**	**0.94%**	**3.93%**	**3.53%**	**5.21%**	**1.44%**	**0.90%**	**2.36%**
2001	1.60%	0.94%	3.96%	3.51%	5.21%	1.46%	0.92%	2.36%
2002	1.60%	0.94%	3.99%	3.49%	5.21%	1.47%	0.94%	2.35%
2003	1.61%	0.94%	4.01%	3.48%	5.21%	1.48%	0.96%	2.35%
2004	1.61%	0.94%	4.04%	3.46%	5.22%	1.50%	0.98%	2.35%
2005	1.62%	0.94%	4.06%	3.45%	5.22%	1.51%	1.00%	2.35%
Conteo	**1.56%**	**0.92%**	**4.07%**	**3.40%**	**5.21%**	**1.55%**	**1.10%**	**2.33%**
	0.06%	0.02%	0.00%	0.05%	0.01%	0.03%	0.10%	0.02%
2006	1.62%	0.94%	4.08%	3.44%	5.22%	1.53%	1.02%	2.35%
2007	1.63%	0.94%	4.10%	3.43%	5.22%	1.54%	1.04%	2.35%
2008	1.63%	0.94%	4.12%	3.41%	5.23%	1.55%	1.06%	2.35%
2009	1.63%	0.94%	4.13%	3.40%	5.23%	1.57%	1.08%	2.35%
2010	1.64%	0.94%	4.15%	3.39%	5.23%	1.58%	1.10%	2.34%
Censo	**1.58%**	**0.97%**	**4.13%**	**3.38%**	**5.15%**	**1.63%**	**1.18%**	**2.30%**
	0.05%	0.02%	0.01%	0.01%	0.08%	0.05%	0.08%	0.04%
	Sin.	**Son.**	**Tab.**	**Tamps.**	**Tlax.**	**Ver.**	**Yuc.**	**Zac.**
Censo	**2.60%**	**2.27%**	**1.94%**	**2.82%**	**0.99%**	**7.09%**	**1.70%**	**1.39%**
2001	2.58%	2.29%	1.94%	2.84%	0.99%	7.05%	1.70%	1.39%
2002	2.55%	2.30%	1.94%	2.86%	1.00%	7.00%	1.70%	1.39%
2003	2.53%	2.32%	1.94%	2.87%	1.00%	6.97%	1.69%	1.39%
2004	2.50%	2.33%	1.94%	2.88%	1.00%	6.93%	1.69%	1.39%
2005	2.48%	2.34%	1.94%	2.90%	1.01%	6.89%	1.69%	1.39%
Conteo	**2.53%**	**2.32%**	**1.93%**	**2.93%**	**1.03%**	**6.89%**	**1.76%**	**1.32%**
	0.04%	0.02%	0.01%	0.03%	0.03%	0.00%	0.07%	0.07%

Cuadro 6

Concluye

Evolución estimada de la distribución porcentual por entidad

	Sin.	Son	Tab.	Tamps	Tlax.	Ver.	Yuc.	Zac.
2006	2.46%	2.36%	1.94%	2.91%	1.01%	6.85%	1.69%	1.39%
2007	2.44%	2.37%	1.93%	2.92%	1.01%	6.82%	1.69%	1.39%
2008	2.43%	2.38%	1.93%	2.93%	1.02%	6.78%	1.68%	1.39%
2009	2.41%	2.39%	1.93%	2.94%	1.02%	6.75%	1.68%	1.39%
2010	2.40%	2.40%	1.93%	2.95%	1.02%	6.72%	1.68%	1.40%
Censo	**2.46%**	**2.37%**	**1.99%**	**2.91%**	**1.04%**	**6.80%**	**1.74%**	**1.33%**
	0.07%	0.03%	0.06%	0.04%	0.02%	0.08%	0.06%	0.07%

de la población para cada una de las entidades federativas durante la pasada década. Con fines de comparación, se presentan también los datos correspondientes a los censos de los años 2000 y 2010, así como los del conteo de población del 2005. Destacamos, de entrada, que las tendencias, tanto crecientes como decrecientes, recogidas por los tres mencionados eventos censales son reproducidas por los resultados arrojados por el modelo. Más aún, que salvo por el Distrito Federal en el 2005 y Jalisco en el 2010, los tamaños relativos reproducidos por el modelo no discrepan por más de una décima de punto porcentual con los obtenidos en los ejercicios censales.

En vista de que la distribución de recursos fiscales se llevó a cabo con base en las proyecciones, y aun cuando la comparación no es pareja, los cuadros 7, 8 y 9 muestran las discrepancias entre las estructuras identificadas por los ejercicios censales y las que resultan de los de proyección poblacional basados en el censo del 2000 y en el conteo del 2005, para los años 2005 y 2010. En el cuadro 7 es posible identificar que ya para el 2005 eran perceptibles discrepancias superiores a la décima de punto porcentual en cinco de las 32 entidades federativas, destacando los recursos en exceso otorgados al estado de México gracias a una discrepancia superior a dos décimas de punto porcentual.

Cuadro 7

Discrepancias Conteo 2005 *vs.* proyecciones CONAPO 2000

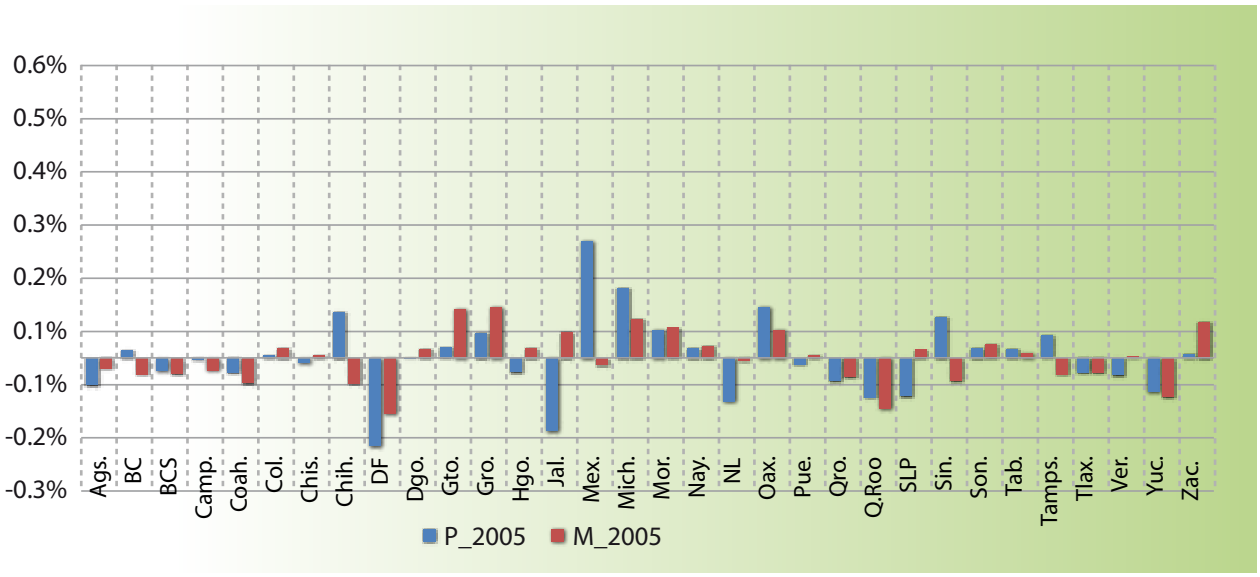
	Ags.	BC	BCS	Camp.	Coah.	Col.	Chis.	Chih.
Proy.	0.98%	2.77%	0.47%	0.73%	2.39%	0.56%	4.15%	3.22%
conteo	**1.03%**	**2.75%**	**0.50%**	**0.73%**	**2.42%**	**0.55%**	**4.16%**	**3.14%**
	0.05%	0.01%	0.02%	0.00%	0.03%	0.01%	0.01%	0.09%
	DF	**Dgo.**	**Gto.**	**Gro.**	**Hgo.**	**Jal.**	**Méx.**	**Mich.**
Proy.	8.28%	1.46%	4.76%	3.06%	2.25%	6.40%	13.78%	3.97%
conteo	**8.45%**	**1.46%**	**4.74%**	**3.02%**	**2.27%**	**6.54%**	**13.56%**	**3.84%**
	0.16%	0.00%	0.02%	0.05%	0.03%	**0.14%**	**0.22%**	**0.13%**
	Mor.	**Nay.**	**NL**	**Oax.**	**Pue.**	**Qro.**	**Q. Roo**	**SLP**
Proy.	1.61%	0.94%	3.99%	3.49%	5.20%	1.50%	1.03%	2.26%
conteo	**1.56%**	**0.92%**	**4.07%**	**3.40%**	**5.21%**	**1.55%**	**1.10%**	**2.33%**
	0.05%	0.02%	0.08%	**0.10%**	0.01%	0.04%	0.07%	0.07%
	Sin.	**Son.**	**Tab.**	**Tamps.**	**Tlax.**	**Ver.**	**Yuc.**	**Zac.**
Proy.	2.60%	2.34%	1.94%	2.97%	1.01%	6.85%	1.70%	1.33%
conteo	**2.53%**	**2.32%**	**1.93%**	**2.93%**	**1.03%**	**6.89%**	**1.76%**	**1.32%**
	0.08%	0.02%	0.02%	0.04%	0.03%	0.03%	0.06%	0.01%

La figura 7 presenta de manera gráfica la comparación de las discrepancias entre los datos censales y tanto los resultados de nuestro modelo como los de las proyecciones elaboradas con base en el censo del 2000 para el 2005. La suma de cuadrados de las discrepancias asociadas a estas últimas alcanza 2.29 veces la primera.

Como sería de esperarse, el cuadro 8 permite realizar la comparación entre las proyecciones elaboradas con base en el censo del 2000 y el levantado en el 2010; muestran ahora discrepancias aún mayores para un número mayor de entidades federativas. En el caso del estado de México, la discrepancia fue superior a medio punto porcentual para ese año. Sin

Figura 7

Errores en estructura estatal, 2005. Proyecciones CONAPO 2000-2050 realizadas con base en el censo, 2000



Cuadro 8

Discrepancias Censo 2010 *vs.* proyecciones CONAPO 2000

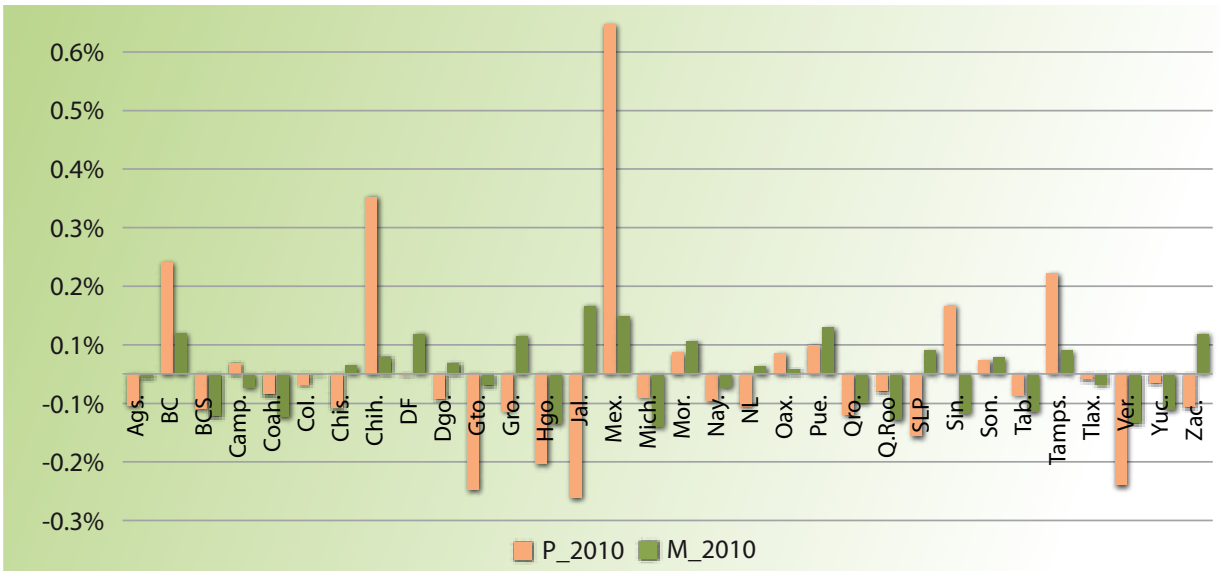
	Ags.	BC	BCS	Camp.	Coah.	Col.	Chis.	Chih.
Proy.	1.00%	3.00%	0.51%	0.75%	2.41%	0.56%	4.21%	3.33%
censo	**1.05%**	**2.81%**	**0.57%**	**0.73%**	**2.45%**	**0.58%**	**4.27%**	**3.03%**
	0.05%	**0.19%**	0.06%	0.02%	0.03%	0.02%	0.06%	**0.30%**
	DF	**Dgo.**	**Gto.**	**Gro.**	**Hgo.**	**Jal.**	**Méx.**	**Mich.**
Proy.	7.90%	1.41%	4.69%	2.95%	2.22%	6.33%	14.11%	3.83%
censo	**7.90%**	**1.45%**	**4.88%**	**3.02%**	**2.37%**	**6.54%**	**13.51%**	**3.87%**
	0.00%	0.04%	**0.20%**	0.06%	**0.15%**	**0.21%**	**0.60%**	0.04%
	Mor.	**Nay.**	**NL**	**Oax.**	**Pue.**	**Qro.**	**Q. Roo**	**SLP**
Proy.	1.62%	0.92%	4.08%	3.42%	5.19%	1.56%	1.15%	2.20%
censo	**1.58%**	**0.97%**	**4.13%**	**3.38%**	**5.15%**	**1.63%**	**1.18%**	**2.30%**
	0.04%	0.05%	0.06%	0.03%	0.05%	0.07%	0.03%	**0.11%**
	Sin.	**Son.**	**Tab.**	**Tamps.**	**Tlax.**	**Ver.**	**Yuc.**	**Zac.**
Proy.	2.58%	2.39%	1.96%	3.08%	1.03%	6.61%	1.72%	1.27%
censo	**2.46%**	**2.37%**	**1.99%**	**2.91%**	**1.04%**	**6.80%**	**1.74%**	**1.33%**
	0.12%	0.02%	0.04%	**0.17%**	0.01%	**0.19%**	0.02%	0.06%

embargo, a Chihuahua se le habrían asignado ingresos en exceso gracias a una discrepancia de casi tres décimas de punto porcentual en tanto que a Guanajuato y a Jalisco, en cambio, se les habrían asignado ingresos inferiores a los que les corresponden gracias a discrepancias entre proyecciones y conteos por casi dos décimas de punto porcentual.

La figura 8 presenta de manera gráfica la comparación de las discrepancias entre los datos censales y tanto los resultados de nuestro modelo como los de las proyecciones elaboradas con base en el censo del 2000 para el 2010. La suma de cuadrados de las discrepancias asociadas a estas últimas alcanza 6.48 veces la primera.

Figura 8

Errores en estructura estatal, 2010. Proyecciones CONAPO 2000-2050 realizadas con base en el censo, 2000



Cuadro 9

Discrepancias Censo 2010 *vs*. proyecciones CONAPO 2005

	Ags.	BC	BCS	Camp.	Coah.	Col.	Chis.	Chih.
Proy.	1.07%	3.00%	0.53%	0.74%	2.45%	0.56%	4.20%	3.16%
censo	**1.05%**	**2.81%**	**0.57%**	**0.73%**	**2.45%**	**0.58%**	**4.27%**	**3.03%**
0.10%	0.01%	**0.19%**	0.03%	0.01%	0.00%	0.02%	0.07%	**0.13%**
	DF	**Dgo.**	**Gto.**	**Gro.**	**Hgo.**	**Jal.**	**Méx.**	**Mich.**
Proy.	8.16%	1.44%	4.67%	2.89%	2.25%	6.52%	13.87%	3.64%
censo	**7.90%**	**1.45%**	**4.88%**	**3.02%**	**2.37%**	**6.54%**	**13.51%**	**3.87%**
0.10%	**0.26%**	0.02%	**0.21%**	**0.12%**	**0.13%**	0.02%	**0.36%**	**0.23%**
	Mor.	**Nay.**	**NL**	**Oax.**	**Pue.**	**Qro.**	**Q. Roo**	**SLP**
Proy.	1.56%	0.90%	4.15%	3.27%	5.26%	1.62%	1.26%	2.30%
censo	**1.58%**	**0.97%**	**4.13%**	**3.38%**	**5.15%**	**1.63%**	**1.18%**	**2.30%**
0.10%	0.03%	0.07%	0.02%	**0.11%**	**0.12%**	0.01%	0.08%	0.00%
	Sin.	**Son.**	**Tab.**	**Tamps.**	**Tlax.**	**Ver.**	**Yuc.**	**Zac.**
Proy.	2.45%	2.34%	1.90%	2.98%	1.06%	6.73%	1.80%	1.27%
censo	**2.46%**	**2.37%**	**1.99%**	**2.91%**	**1.04%**	**6.80%**	**1.74%**	**1.33%**
0.10%	0.01%	0.03%	0.09%	0.07%	0.02%	0.07%	0.06%	0.06%

Para el mismo año 2010, pero ahora basados en las proyecciones elaboradas en el 2005, según se muestra en el cuadro 9 y que se refiere al periodo donde se siente el peso mayor de la crisis, encontramos nuevamente discrepancias importantes para las entidades de Baja California, Chihuahua, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, México, Michoacán de Ocampo, Oaxaca, Puebla y el Distrito Federal, superiores a una décima de punto porcentual; de nuevo, la mayor discrepancia se asigna al estado de México.

La figura 9 presenta de manera gráfica la comparación de las discrepancias entre los datos censales y tanto los resultados de nuestro modelo como los de las proyecciones elaboradas con base en el conteo del 2005 para el 2010. La suma de cuadrados de las discrepancias asociadas a estas últimas alcanza 4.04 veces la primera.

A pesar de las limitaciones informativas tanto al inicio del ejercicio como a lo largo de la década de estimación, la incorporación paulatina de esta tiene evidentes ventajas para fines como los discutidos en este apartado. Cabe esperar que el aprovechamiento eficiente de toda la información que se produce y que se hace disponible al paso del tiempo contribuya a aportar aún mejores resultados.

Referencias

Bartholomew, D. J. *Stochastic models for social processes*. New York, Wiley, 1967.

Cox, D. R., H. D. Miller. *The Theory of Stochastic Processes*. Science Paperbacks. Chapman and Hall/CRC, 1977.

Hoel, P. G., Ch. J. Stone, S. C. Port. *Introduction to stochastic processes*. Waveland Press, 1972.

Keyfitz, N., H. Caswell. *Applied Mathematical Demography*. 3ed. Ed. New York, Springer Science+Business Media, Inc., 2005.

Lee, R. D. "Probabilistic Approaches to Population Forecasting", in: *Population and Development Review*, 24. Supplement: *Frontiers of Population Forecasting*, 1998, pp. 156-190.

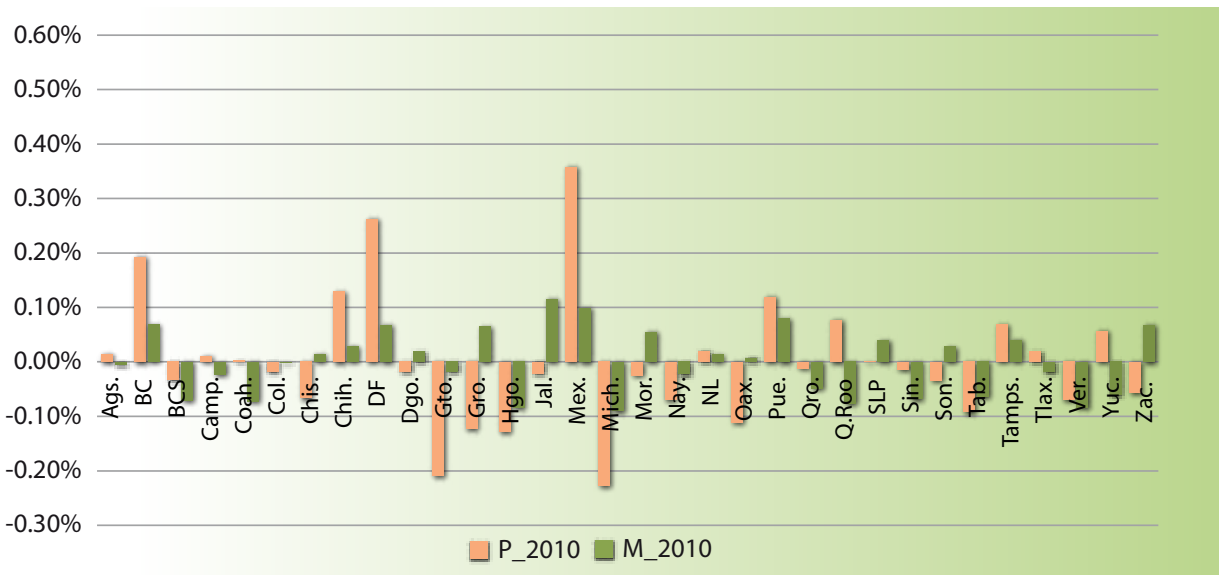
Leslie, P. H. "On the Use of Matrices in Certain Population Mathematics, Biometrika", in: *Biometrika Trust*. Vol. 33, No. 3, Nov., 1945, pp. 183-212.

Partida Bush, V. "Aplicación de cadenas de Markov para proyecciones demográficas en áreas geopolíticas menores", en: *Estudios Demográficos y Urbanos*. Vol. 4, Núm. 3 (12), Sept.-Dic. El Colegio de México, 1989, pp. 549-571.

Rogers, A. *Matrix analysis of interregional population growth and distribution*. XVIII Vienna Congress, Regional Science Association, 1966, pp. 177-196.

Figura 9

Errores en estructura estatal, 2010. Proyecciones CONAPO 2000-2050 realizadas con base en el conteo, 2005



Apéndice A. Elementos de la teoría de las Cadenas de Markov con conjunto finito de estados[11]

La evolución de múltiples procesos que ocurren cotidianamente, pero que son observados sólo para un conjunto discreto de instantes, pueden ser modelados mediante los modelos conocidos como Cadenas de Markov. Ejemplos:

- Ganancias en la ruleta del casino de la Feria de San Marcos.
- Cumplir un año más de edad o fallecer antes.
- Cambios en el estatus laboral de los individuos pasando por ocupación, desocupación e inactividad económica.

Como se desprende de los ejemplos anteriores, en la práctica, el número de situaciones en que puede encontrarse el sistema en un momento dado puede ser grande, pero finito. Para el caso de la ruleta, las utilidades o pérdidas medidas en unidades monetarias pueden ser muy grandes, pero finitas, y son observadas después de cada jugada. Un individuo de edad x sólo puede encontrarse en uno de dos estados después de transcurrido un año: sobrevivir a la edad $x + 1$ o fallecer durante el periodo; aun cuando se consideren todas las edades posibles, el número de estados es finito. En México, sin importar qué tan rápido cambie el estatus laboral de una persona, es observado para una muestra trimestralmente cuando la registra la Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo. Dicho conjunto de circunstancias puede ser representado, en general, por $E = \{1,2, \ldots, j, \ldots, K < \infty\}$ que es un conjunto discreto cuyos elementos representan los estados que un sistema puede ocupar.

El sistema, representado por la secuencia $\{X_t, t = 0,1,2,3,\ldots\}$, se desplaza de un estado a otro al paso de cada unidad de *tiempo t* y donde $t = 0$ representa el momento en que iniciamos la observación, ya que el sistema puede haber estado en evolución durante algún tiempo. Interesa modelar las leyes que regulan la transición desde el estado i, en que se encuentra la partícula al instante t, hasta alguno de los estados j en el que se encontrará la partícula en el instante $t + 1$. Dichas transiciones son tratadas como si fueran aleatorias. Su evolución es modelada a través de las denominadas *probabilidades de transición*:

$$p_{t,i,j} = Pr(X_{t+1} = j | X_t = i) \tag{A.1}$$

Note que para el tercer ejemplo estas probabilidades pueden cambiar rápidamente al transcurrir el tiempo (patrón estacional, recesión económica, etc.); para el segundo pueden cambiar, pero más lentamente. Por último, no cambian para el primero. Cuando las probabilidades de transición no dependen del transcurrir del tiempo se dice que la cadena es **estacionaria**; en este caso, serán denotadas simplemente como p_{ij}.

Las probabilidades de transición pueden ser ordenadas en la denominada *matriz de transición*, que toma la forma (A.2) para una cadena estacionaria. Como se verá más adelante, partes de una tabla de mortalidad pueden ser expresadas en los mismos términos, lo que explica el interés por esta expresión y las subsecuentes.

$$\begin{array}{c} Estados \\ \\ 1 \\ 2 \\ \Pi = 3 \\ \vdots \\ K \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{ccccc} 1 & 2 & 3 & \cdots & K \end{array} \\ \begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} & \cdots & p_{1K} \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} & \cdots & p_{2K} \\ p_{31} & p_{32} & p_{33} & \cdots & p_{3K} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{K1} & p_{K2} & p_{K3} & \cdots & p_{KK} \end{pmatrix} \end{array} \tag{A.2}$$

donde $\sum_{j=1}^{k} \boldsymbol{p_{ij}} = \mathbf{1}$; es decir, aunque finito, el conjunto de estados es exhaustivo de modo que, partiendo del estado $\boldsymbol{i}$ al tiempo $\boldsymbol{t}$, el sistema se encontrará en uno y sólo uno de los estados contenidos en $\boldsymbol{E}$ al tiempo $\boldsymbol{t + 1}$.

11 Ver Bartholomew, D. J., 1967; Cox, D. R., H. D. Miller, 1977; Hoel, P. G., *et al*., 1972; y Keyfitz, N. y H. Caswell, 2005, Cap. 11.

A.1 Probabilidades de transición a *r* periodos para cadenas estacionarias

Denótese por $p_{ij}^{(r)}$ a la probabilidad de que la partícula se encuentre en el estado j después de r periodos habiendo partido del estado i. Una definición precisa está dada en (A.3). Para el caso de la sobrevivencia, se trataría de las probabilidades de que un individuo de edad x siga vivo r periodos después o de que haya fallecido durante alguno de ellos.

$$p_{ij}^{(r)} = Pr(X_{t+r} = j | X_t = i). \tag{A.3}$$

En particular, para $r = 2$ se tiene (A.4), cuya forma coincide con la entrada ij de la matriz que resulta de multiplicar a la matriz $\prod$ consigo misma según se indica en (A.5).

$$\begin{aligned} p_{ij}^{(2)} = & \; Pr(X_{t+2} = j | X_t = i) = \sum_{h=1}^{K} Pr(X_{t+2} = j, X_{t+1} = h | X_t = i) \\ = & \sum_{h=1}^{K} \frac{Pr(X_{t+2} = j, X_{t+1} = h, X_t = i)}{Pr(X_t = i)} \\ = & \sum_{h=1}^{K} \frac{Pr(X_{t+1} = h, X_t = i)}{Pr(X_{t+1} = h, X_t = i)} \frac{Pr(X_{t+2} = j, X_{t+1} = h, X_t = i)}{Pr(X_t = i)} \\ = & \sum_{h=1}^{K} Pr(X_{t+1} = h | X_t = i) Pr(X_{t+2} = j | X_{t+1} = h) \\ = & \sum_{h=1}^{K} p_{ih} p_{hj} \end{aligned} \tag{A.4}$$

$$\prod^{(2)} = \prod\prod = \prod^2. \tag{A.5}$$

Lo anterior se generaliza de inmediato de modo que es fácil ver que los valores de (A.3) no son otra cosa que las entradas ij de la r-ésima potencia de la matriz $\prod$, como se indica en (A.6).

$$\prod^{(r)} = \prod^{(r-1)} \prod = \prod^r \tag{A.6}$$

La expresión en (A.6) es sólo un caso particular de la denominada ecuación de Chapman-Kolmogorov, que se muestra en (A.7).

$$\prod^{(r)} = \prod^{(r-s)} \prod^{(s)} = \prod^r \tag{A.7}$$

A.2 Probabilidades absolutas o probabilidades incondicionales

En este apartado comentaremos de forma breve sobre la determinación de la probabilidad de que el sistema se encuentre en el estado i al tiempo t, independientemente del estado de origen; es decir, la determinación de $p_i^{(r)} = Pr(X_r = i)$, $i = 1, \ldots, K$. En particular, se tiene que la probabilidad de que al inicio de nuestra observación la partícula se encuentre en el estado i está dada por (A.8). En la aplicación a la demografía que se propone estas probabilidades se harán coincidir con las estructuras por edad, sexo y entidad federativa. En este contexto serán interpretadas como las probabilidades de que al elegir al azar a un residente de algún país o región en algún instante t, su edad sea x; su sexo, y; y su entidad de residencia, z.

$$p_i^{(0)} = Pr(X_0 = i), i = 1, \ldots, K. \tag{A.8}$$

Para el cálculo de probabilidades semejantes para 1 periodo posterior, se tiene en principio a (A.9).

$$\begin{aligned} p_i^{(1)} &= \sum_{h=1}^{K} Pr(X_0 = h, X_1 = i) \\ &= \sum_{h=1}^{K} Pr(X_0 = h) Pr(X_1 = i | X_0 = h) \\ &= \sum_{h=1}^{K} p_h^{(0)} p_{hi} \end{aligned} \tag{A.9}$$

$i = 1, \ldots, K$. La expresión en (A.9) coincide ahora con el producto entre un vector renglón y la i-ésima columna de la matriz $\prod$. El vector renglón es el transpuesto de aquél cuyas entradas están dadas por las probabilidades absolutas definidas en (A.8) y que será representado por $\underline{p}^{(0)}$. El conjunto de

todos los resultados exhibidos en (A.9) puede ser ordenado en otro vector que será denotado por $\underline{p}^{(1)}$. El resultado queda dado por (A.10).

$$\underline{p}^{(1)t} = \underline{p}^{(o)t}\Pi \tag{A.10}$$

El superíndice t indica que se trata de los vectores transpuestos. Los vectores cuyas componentes son los valores de dichas probabilidades para los periodos futuros están dados por (A.11), para , $r = 2$ y por (A.12), en general.

$$\underline{p}^{(2)t} = \underline{p}^{(1)t}\Pi = \underline{p}^{(0)t}\Pi^2 \tag{A.11}$$

$$\underline{p}^{(r)t} = \underline{p}^{(r-1)t}\Pi = \underline{p}^{(0)t}\Pi^r. \tag{A.12}$$

Cuando la cadena no es estacionaria, se tiene que las probabilidades de transición cambian al paso del tiempo. Este hecho se representará a partir de una sucesión de matrices de transición $\{\prod^{(h)}, h = 0,1,2,\}$, cada una de las cuales corresponde a un periodo igual o posterior al inicio de nuestra observación. Bajo estas condiciones, (A.12) se convierte en (A.13).

$$\underline{p}^{(r)t} = \underline{p}^{(r-1)t}\Pi^{(r)} = \left(\underline{p}^{(r-2)t}\Pi^{(r-1)}\right)\Pi^{(r)} = \cdots = \underline{p}^{(0)t}\prod_{h=1}^{r}\Pi^{(h)}, \tag{A.13}$$

donde la matriz $\prod^{(h)}$ resume las condiciones en que el sistema transitará de unos estados a otros durante el periodo h. En general, es de esperarse que los cambios que puedan darse a lo largo del periodo de proyección serán suaves y siguiendo una clara tendencia, por lo que cuando se consideren periodos cortos se lograrán aproximaciones razonables usando (A.12). Es claro que la necesidad de contar con expresiones como (A.13) se da cuando puedan ocurrir cambios abruptos o puntos de corte que modifiquen la dinámica de manera drástica.

Apéndice B. Cuadros y gráficas complementarios

Cuadro 10

Nacimientos, en miles de personas, estimados vía Markov para el periodo 2000-2010 y su comparación con los ejercicios de proyección del CONAPO más recientes

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Registro	2 798	2 768	2 699	2 656	2 625	2 568	2 506	2 655	2 636	N.D.
Reconst.	2 432	2 359	2 346	2 302	2 291	2 215	2 151	2 096	N.D.	N.D.
Markov	2 432	2 359	2 346	2 302	2 291	2 215	2 151	2 096	2 045	1 994
CONAPO 2005					2 010	1 989	1 971	1 955	1 940	1 926

N.D.: no disponible.

Figura 10

Estimación del número de nacimientos ocurridos en México, 2000-2010

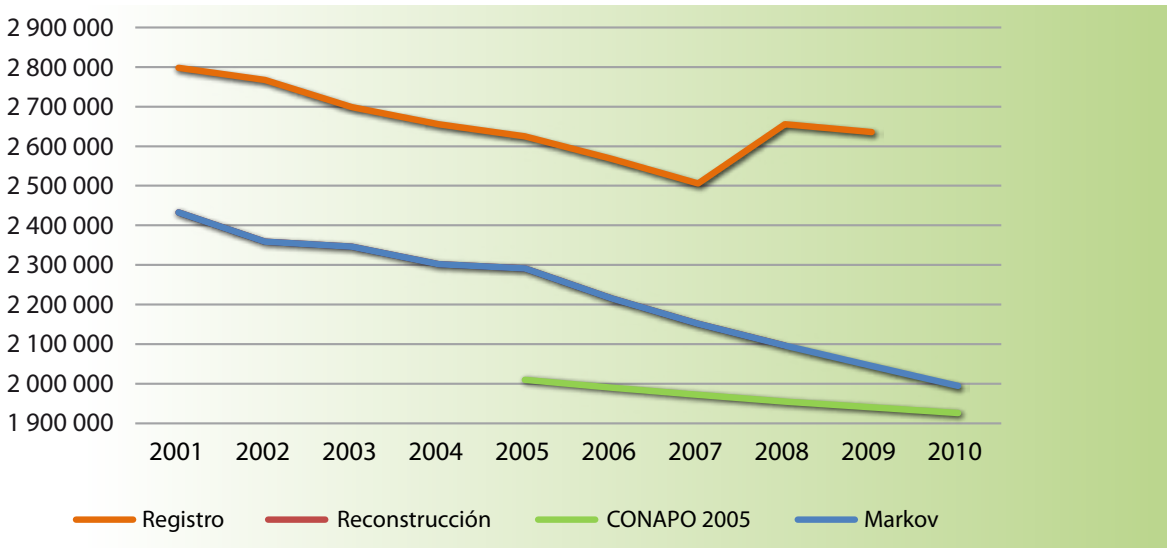
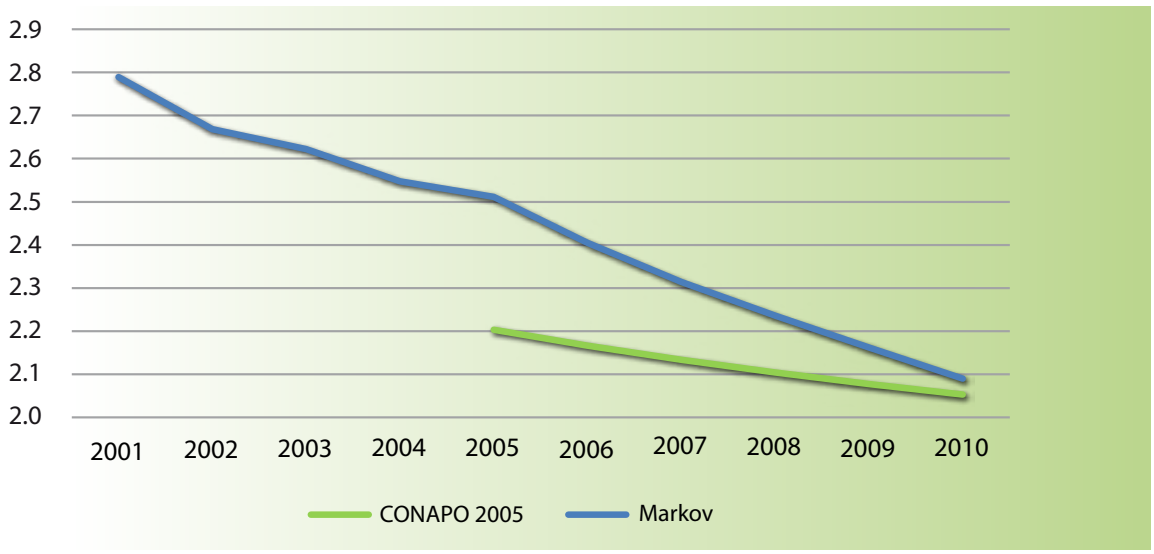


Figura 11

Estimación de la tasa global de fecundidad (TGF), 2000-2010



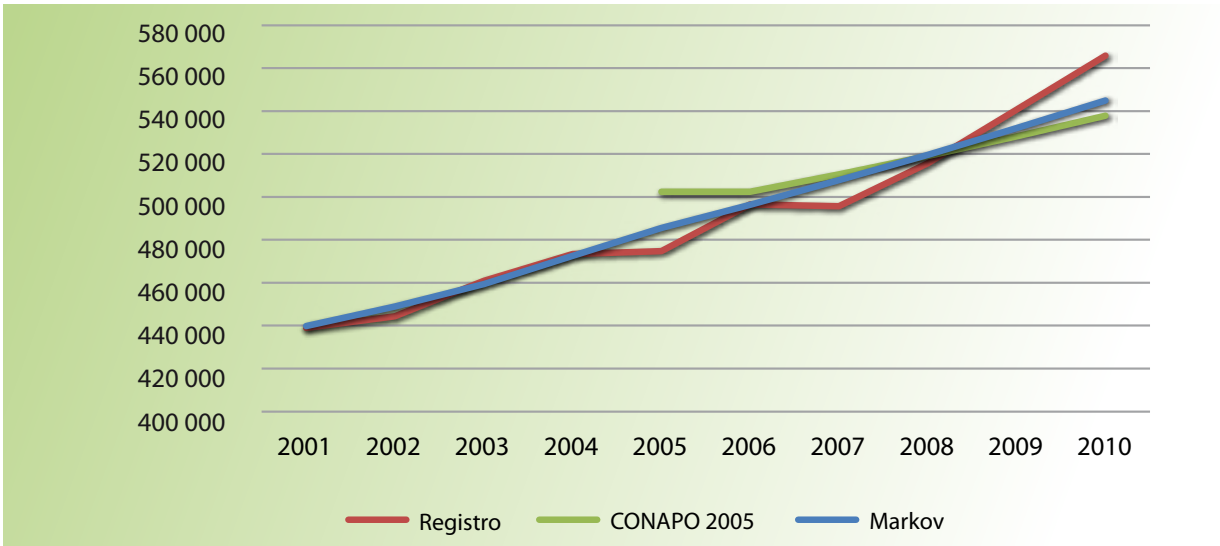
Cuadro 11

Fallecimientos, en miles de personas, estimados vía el modelo markoviano para el periodo 2000-2010 y su comparación con los ejercicios de proyección del CONAPO más recientes

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Registro	438	443	460	472	473	495	494	514	540	565
Markov	439	448	458	471	484	495	507	518	531	544
CONAPO 2005					501	501	509	518	527	537

Figura 12

Estimación del número de defunciones ocurridas en México, 2000-2010



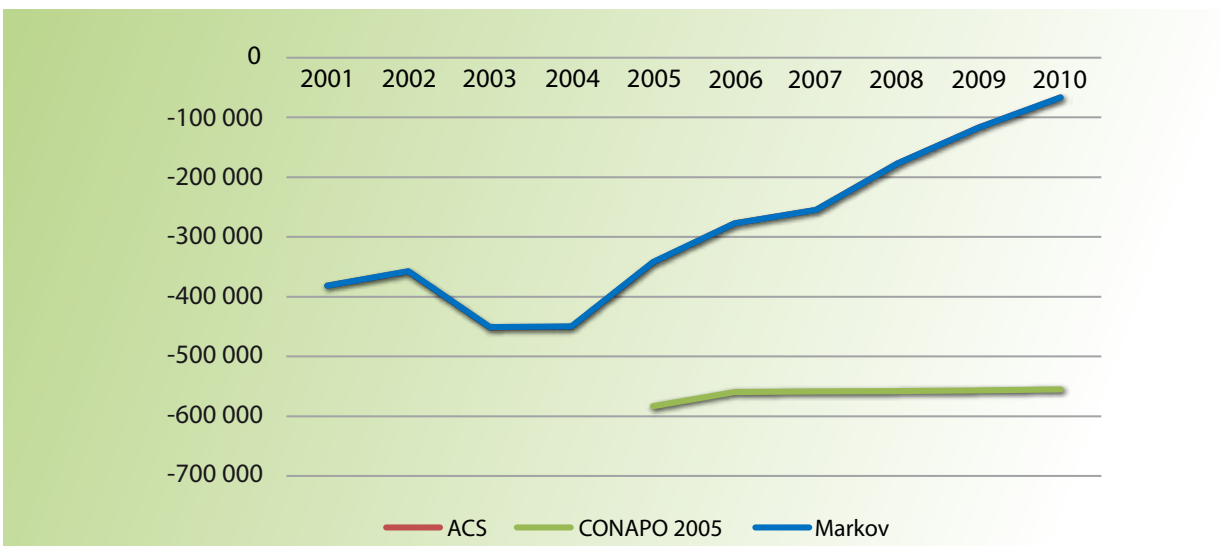
Cuadro 12

Migración neta, en miles de personas, en México según la ACS y su reproducción por Markov, 2000-2010, y CONAPO, 2005-2010

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
ACS	-382	-358	-452	-450	-343	-277	-255	-177	-117	-67
Markov	-382	-357	-451	-450	-342	-277	-255	-177	-117	-67
CONAPO 2005					- 583	-559	-559	-558	-556	-555

Figura 13

Estimación del saldo migratorio, 2000-2010, según la ACS



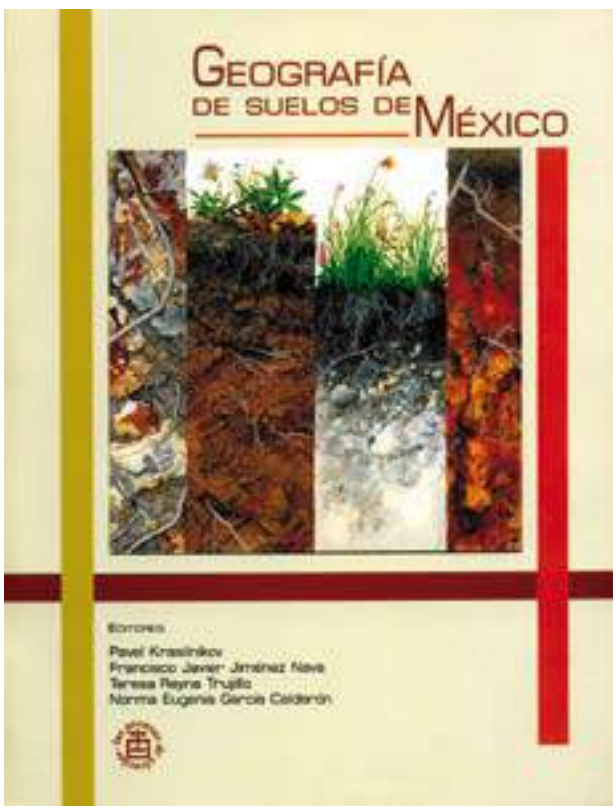
Geografía de suelos de México

Eliseo Gerardo Guerrero Eufracio

Krasilnikov, Pavel *et al*. (eds.), Maurico Vargas Díaz (ilust.). *Geografía de suelos de México*. México, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias, 2011, 462 p.

El futuro de México y el mundo dependen de nuestra capacidad de estudiar y proteger el suelo. Más de una tercera parte del territorio está amenazado con la desertificación y en esas regiones viven miles de personas que dependen de la humedad del suelo para sus actividades.

Como este ejemplo hay muchos relacionados con el tema. Por ello, diversos autores encauzados a través de este libro titulado *Geografía de suelos de México* se han unido para tratar de concientizar e informar a las sociedades civil y científica, además de las autoridades federales y estatales, sobre diversas alternativas para apoyar sus decisiones mediante evidencias comprobables en cada región del país que no sólo describen daños geográficos sino que, también, expresan oportunidades que el mismo suelo brinda a nuestra nación para su desarrollo.



Este libro (con disco compacto incluido, que contiene 55 anexos en color) muestra sobre todo pluralidad en su edición;[1] reúne ideas y enfoques diferentes, describe cómo es el suelo desde el punto de vista de quienes lo han recorrido, lo han excavado y han lidiado personalmente con su complejidad.

Esta obra es el resultado conjunto de varias universidades del país, entre ellas la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y el Colegio de Postgraduados, con la importante colaboración del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y de algunos investigadores extranjeros.

Fue coordinada por cuatro editores: Pavel Krasilnikov (investigador de la Academia de Ciencias de Rusia), Francisco Javier Jiménez Nava (director general adjunto de Recursos Naturales y Medio Ambiente del INEGI), Teresa Reyna Trujillo (investigadora del Instituto de Geografía de la UNAM) y Norma Eugenia García Calderón (profesora de la Facultad de Ciencias de la UNAM).

1 Tanto el diseño de interiores y disco compacto, como la elaboración de ilustraciones estuvieron a cargo de Mauricio Vargas Díaz, la corrección de los textos fue de Zorca Vuskovich y Felipe Sierra; el diseño de la portada, Laura Uribe y su ilustración, de Aslam Narváez Parra.

El libro cuenta con 18 capítulos elaborados por un total de 38 autores, de los cuales la gran mayoría describe su propio espacio geográfico de interés, eventualmente con apoyo de algún coautor adicional. Todos los apartados guardan información relevante y, en resumen, abordan diversos temas relacionados con los factores de formación y distribución del suelo, con sus métodos de estudio, con el desarrollo cartográfico regional y nacional, entre otros ejemplos.

Al tomar en cuenta el insuficiente conocimiento en el área de Geografía de suelos, los autores la han dividido en dos partes: Geografía de suelos general y regional. La primera está estructurada a manera de un libro de texto, donde se explican las leyes y reglas de la edafo-geografía, al mismo tiempo que se ofrece una visión general del estado del conocimiento geográfico en la ciencia de suelo mexicana; la segunda, a partir del capítulo 12, presenta la descripción de la cobertura edáfica de la mitad de las provincias edafo-fisiográficas del país. La idea es que en un futuro cercano se cubra, mediante un segundo tomo, la mitad de los estudios faltantes, así como algunos aspectos edafo-geográficos particulares.

Se usa terminología geográfica, incluyendo los nombres de las provincias fisiográficas aceptadas por el INEGI, como el topónimo Eje Neovolcánico o Eje Neovolcánico Transmexicano, aunque en varios trabajos hay otros nombres para la misma provincia, por ejemplo Faja Volcánica Transmexicana. La clasificación de los suelos fue de acuerdo con la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (WRB, por sus siglas en inglés), publicado por la Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo, oficialmente aceptada para la cartografía edáfica en México. La terminología se ajustó al reporte núm. 84 de esta clasificación (con la traducción al español publicada en 1999).

Desde el espacio

Miguel Moctezuma Flores

Chávez, Jorge Lira. *Tratamiento digital de imágenes multiespectrales*. Segunda edición. Universidad Nacional Autónoma de México, 2010, 606 pp.

Los programas de exploración planetaria, desde sus inicios, revelaron a la comunidad científica la gran riqueza de información contenida en datos adquiridos mediante elementales imágenes. Así, el conjunto de sondas espaciales a Venus, a planetas del sistema solar exterior y de visita a cometas fue concebido con instrumentos de adquisición de imágenes. En este trayecto histórico, las imágenes

analógicas cambiaron su representación de manera muy acelerada, evolucionando a simples combinaciones de ceros y unos. En la búsqueda de solución a problemas de visión, los formatos digitales resultaron adecuados para la aplicación de técnicas cuyo desarrollo está consolidado en las ciencias exactas. Es por tal razón que esta obra basa su notación en desarrollos matemáticos, acertadamente accesibles, exponiendo fenómenos físicos con orientación al campo de la percepción remota.

Una cualidad de la publicación es que presenta una estructura a lo largo de sus capítulos que facilita la comprensión, aun de los conceptos más abstractos. El entendimiento de los métodos de tratamiento inicia con el conocimiento de elementos básicos. El primero proporciona una introducción a los aspectos generales de estudio; con formalidad matemática se define a un pixel y al modelo multiespectral de observación; las características para la asociación de pixeles y sus relaciones topológicas de vecindad conducen a representaciones mediante patrones e introducen los conceptos de segmentación y de textura; se describen efectos inherentes, como el ruido y los artefactos. También, se dan los conceptos de frecuencia espacial, factor de contraste y calidad de la imagen, los cuales forman parte de la nomenclatura básica de la disciplina.

Una imagen es más que una matriz de pixeles y su proceso de formación inicia en el momento que existe una fuente de energía electromagnética. Por tal razón, el capítulo II ofrece los fundamentos para analizar la interacción espectral de los elementos de una escena ante una fuente de energía radiante, como las leyes radiométricas, la ley de Snell y las superficies lambertianas; resulta muy acertada la descripción sintética de los modelos de dispersión, de las leyes de Plack, Stefan-Boltzmann y de las interacciones materia-atmósfera por lo que, con toda seguridad, este apartado resultará un material clásico de consulta.

El capítulo III forma parte de la introducción, y plantea la caracterización matemática de las imágenes. Las definiciones y formalizaciones sirven para describir el campo instantáneo de vista y permiten caracterizar elegantemente a una imagen multiespectral como la realización de un proceso estocástico.

De acuerdo con criterios en la abstracción del procesamiento, el resto de los capítulos quedan divididos en tres partes: la primera está contenida en el IV, V y VI, y corresponde al procesamiento de imágenes; la segunda es el VII, que trata del reconocimiento de patrones; y la tercera, capítulo VIII, presenta los elementos relativos de un área de creciente interés en la percepción remota, esto es, los sistemas de radar de imágenes.

En materia de procesamiento, tema de la primera parte, una etapa inicial de todo tratamiento suele ser una adecuación o un preprocesamiento basado en operaciones elementales. El capítulo IV muestra una amplia variedad de transformaciones realizadas en los dominios tanto espacial como frecuencial. La comprensión de los esquemas de elongación y normalización en la frecuencia de ocurrencia es bastante accesible, al igual que la teoría dedicada a la presentación de los operadores diferenciales tipo gradiente y laplaciano. Algoritmos de más alto nivel de tratamiento, como los estándares JPEG y MPEG, tienen base de desempeño en las transformaciones integrales, las cuales, al cambiar el dominio de representación, proporcionan una mejor descripción en términos matemáticos de las diversas relaciones en los datos analizados; por ejemplo, las transformaciones de Fourier, de Hartley, Walsh y Coseno, entre otras, dan elementos para detectar las estructuras de primitivas, realizar filtrado, codificar y, también, describir regiones con textura; la transformada de Radón encuentra muy valiosas aplicaciones en retroproyecciones de la tomografía computarizada; al extender el tratamiento para aplicarlo en imágenes adquiridas en diversas regiones del espectro electromagnético, surge el análisis multivariado; los conceptos presentados de ortogonalidad y de bases ortonormales resultan útiles en el análisis estadístico para reducir la dimensión vectorial y la redundancia de la información, lo cual es de importancia ante el gran poder de cómputo que

involucra procesar una escena multiespectral en todas sus bandas. Para una mejor comprensión del tema, la obra ofrece un caso numérico de la descomposición en componentes principales, de sus variantes, así como de expansiones canónicas. El capítulo concluye con la presentación de las principales transformaciones geométricas y quasi-lineales, que resultan útiles para entender problemas de proyección y de restauración.

Para facilitar el reconocimiento o la interpretación surge la necesidad de reducir defectos de adquisiciones o de transmisiones ruidosas. El capítulo V está dedicado a presentar la teoría de filtros aplicados en los dominios frecuenciales y de la imagen. En el dominio de la frecuencia se hace una comparación entre los casos ideales teóricos y los algorítmicos de filtros pasa bajas, pasa altas, pasa banda, de corte y homomórfico. En el dominio espacial o de la imagen, el filtrado se efectúa directamente en los pixeles mediante operaciones de convolución o de correlación. Los kernel matriciales definen operaciones de rápido procesamiento aplicables en los filtros de media y gaussiano. Otros de empleo generalizado son el binomial y el de mediana. Una ventaja de los filtros no lineales es que pueden ser diseñados para establecer un compromiso más justo entre reducir ruido y preservar información; ejemplo de ello se da con los sigma, k-próximos vecinos, de gradiente inverso, de ventana rotatoria y Lee aditivo.

El tema del capítulo VI es la restauración, que involucra un modelado matemático para mejorar, resaltar o recuperar aspectos y cualidades deseables en una imagen. Mediante técnicas algebraicas, la solución requiere de una estimación muy precisa de la función de degradación para efectuar restauración, por ejemplo, por desenfoque, movimiento o iluminación irregular durante la adquisición. Las primeras formas de solución que se proponen en esta obra son la estimación mediante el filtro inverso en el dominio de la frecuencia y con el filtro inverso constreñido. Mejoras significativas surgen al tomar definiciones de teoría de la información para integrarlas en el denominado filtro recursivo de máxima entropía. La imagen vista como la realización de un proceso aleatorio es un concepto más apegado a un modelo real. El filtrado de Wiener bajo simplificación de propiedades estocásticas y criterios de minimización de error es incluido en este capítulo. Otras técnicas presentadas consisten en la restauración adaptiva, las cuales buscan estimar características locales. Otras alternativas contenidas son la restauración por movimiento uniforme del sensor y mediante la estimación de la función de modulación. En el libro se da orientación adecuada para la estimación y la definición de parámetros, así como para la calibración de los modelos y para controlar la evolución de los procesos recursivos.

La segunda parte de esta publicación, el reconocimiento de patrones, corresponde al capítulo VII. El propósito es tener resultados más interpretables automáticamente, como un mapa temático de uso de suelos o un sistema de reconocimiento de huellas dactilares. De entre la gran diversidad de enfoques, el autor presenta una cuidadosa selección de temas, que inicia con una revisión de conceptos y elementos de segmentación. Se hace una presentación formal de los descriptores morfológicos, lo cual tiene como propósito representar la topología de las formas e incluso de las texturas. Descripciones cuantitativas de éstas se obtienen con medidas estadísticas aplicadas en imágenes monoespectrales. El tema de la textura observada en imágenes multiespectrales es complejo y en este libro se proporcionan lineamientos para su estudio. Un complemento importante en el reconocimiento de patrones radica en el estudio de la morfología matemática, ya que su aplicación con mucha frecuencia resulta necesaria en el tratamiento digital de señales e imágenes. A este tema se dedican 40 páginas. Se presenta una revisión de las estructuras algebraicas, así como de las operaciones, propiedades, transformaciones y reconstrucciones, extendiendo el análisis a dos y tres dimensiones. Adicionalmente a la morfología matemática, un tema de interés particular es la clasificación realizada bajo caracterización de la repuesta espectral de los elementos de una escena. El análisis de cúmulos se muestra como un método no supervisado que busca particionar el espacio ra-

diométrico de los pixeles. Mediante esquemas que minimizan el error, el autor realiza una revisión de criterios de agrupamiento de distancia mínima. El siguiente concepto que se ofrece es la clasificación contextual, que consiste en incorporar información del conjunto de pixeles de la vecindad analizada. Lo anterior se deriva de la visión humana y argumentos matemáticos que permiten el entendimiento e implementación del criterio contextual. Al incorporar información de la función de densidad se tiene un clasificador supervisado, en el que con toda naturalidad se introducen criterios de decisión por maximización de probabilidad. Criterios de homogeneidad definen un esquema iterativo de agrupamiento y crecimiento de regiones, siendo éste el último esquema presentado en el capítulo VII.

La tercera parte, el apartado VIII, es una contribución relevante no incluida en obras tradicionales de tratamiento digital de imágenes: los sistemas radar. En general, los sistemas pasivos, aéreos y satelitales tienen la enorme limitante de depender de condiciones climáticas, como la nubosidad, para hacer adquisiciones favorables. La percepción remota con sistemas de radiación coherente surge como una alternativa para realizar adquisiciones sin las limitantes de los captores ópticos, pero su análisis resulta altamente complejo. Este capítulo inicia con la presentación del proceso de formación de una imagen, lo cual involucra aspectos ópticos y geométricos de proyección de energía y de dispersión/retrodispersión entre los diversos elementos de la escena radiada. En los temas expuestos se analizan la perspectiva, las sombras, el relieve, el escorzo y la inversión del relieve. También, se incluyen los efectos de rotación de la Tierra y el de desplazamiento de objetos. A partir de los parámetros físicos de interacción, el autor muestra con detalle la ecuación que modela el proceso íntegro de adquisición denominada de radar. En la iluminación coherente, el fenómeno inherente es un ruido de naturaleza compleja, el *speckle*, cuyo análisis se realiza formalmente mediante funciones de probabilidad y estadística. En la literatura especializada se reportan muchos esfuerzos para eliminar esta degradación, los cuales, inicialmente, asumieron conceptos del filtrado lineal, pero después fueron orientados hacia versiones con desempeño adaptivo. En esta obra se presenta una excelente revisión de las contribuciones más relevantes en filtrado que, por su función, en ocasiones se dan como algoritmos de restauración. Con el estudio de la fase de imágenes SAR es posible la investigación precisa de fenómenos geofísicos, por ejemplo, de subsidencia y de desplazamiento de terreno, lo cual presenta aplicaciones en el estudio de terremotos y de cambio climático por el rompimiento de glaciales.

En la publicación se dedica espacio para presentar los conceptos del tema y de la configuración de pares interferométricos. En el siguiente tema se exponen lineamientos para la caracterización de texturas conducentes a su segmentación. La temática expuesta es antecedente para aprovechar las ventajas particulares que proporcionan las imágenes ópticas y de radar para proponer su uso cooperativo. Otros temas incluidos comprenden la teoría del radar polarimétrico y las descomposiciones coherente e incoherente. Entre las propuestas de aplicación se incluyen la detección de contaminación por hidrocarburos, la elaboración de modelos digitales del terreno, la estimación del desplazamiento de masa y la segmentación de vegetación.

La obra se ve enriquecida con numerosas tablas, diagramas, ejercicios e imágenes que sirven para ilustrar la teoría mostrada a lo largo de los capítulos. El material de este libro puede ser empleado en curso de Ingeniería, ciencias de la computación y de posgrados relacionados. La vocación de la obra es la percepción remota, aunque la creatividad del autor permite que su lectura y sus aplicaciones estén abiertas a los interesados en el tratamiento digital de imágenes.

Colaboran en este número

Sylvia Irene Schmelkes del Valle

Es socióloga con Maestría en Investigación y Desarrollo de la Educación por la Universidad Iberoamericana (UIA). Es investigadora en esta materia desde 1970. Hoy en día se desempeña como directora del Instituto de Investigaciones para el Desarrollo de la Educación de la UIA. Antes, trabajó en el Centro de Estudios Educativos, AC, del cual fue su directora académica, así como en el Departamento de Investigaciones Educativas del CINVESTAV. Fundó y fue coordinadora general de la Coordinación General de Educación Intercultural y Bilingüe de la Secretaría de Educación Pública. Ha publicado más de 150 trabajos en torno a los temas de educación de adultos, calidad de la educación y educación intercultural y valoral. Recibió el Premio Nacional María Lavalle Urbina en 1998, además de la medalla Juan Amos Comenius otorgada por la República Checa y la UNESCO en el 2008. Pertenece al Sistema Nacional de Investigadores, con el nivel III.

Contacto: sylvia.schmelkes@uia.mx

Mauricio Cecilio Domínguez Aguilar

Es doctor en Geografía. Trabaja en investigación de acceso social al agua y desarrollo urbano sustentable, así como urbanización y cambio climático. Es autor de ocho publicaciones. En la actualidad, es asesor de dos tesis de maestría. Es investigador nacional, nivel candidato.

Contacto: mauricio@mda.cinvestav.mx}

Ana García de Fuentes

Es doctora en Geografía. Sus líneas de investigación se dirigen a turismo alternativo, así como a desarrollo y medioambiente. Es investigadora nacional, nivel I.

Contacto: agarcia@mda.cinvestav.mx

Federico Horacio Dickinson Bannack

Es antropólogo físico y doctor en Ecología Humana. Sus líneas de investigación se orientan a ecología humana de la migración y humana urbana, así como crecimiento infantil y juvenil. Es autor de 70 publicaciones. Actualmente se desempeña como director de 12 tesis de maestría y 11 de licenciatura. Es investigador nacional, nivel II.

Contacto: dickinso@mda.cinvestav.mx

María Perevochtchikova

Es ingeniera-hidróloga con Doctorado en Geografía por la Universidad Estatal de Hidrometeorología de Rusia, con estancia posdoctoral en el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). En la actualidad es profesora-investigadora del área urbano-

ambiental del Centro de Estudios Demográficos, Urbanos y Ambientales (CEDUA) de El Colegio de México, AC.
Contacto: mperevochtchikova@colmex.mx

Carole Farell Baril

Tiene estudios de Maestría en Ciencias del Desarrollo Sostenible en el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM) y de Doctorado en Ciencias e Ingeniería Ambientales en la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM). Actualmente, participa con el Centro de Análisis de Ciclo de Vida y Diseño Sustentable en la investigación y desarrollo de una metodología de huella de agua basada en impactos ambientales.
Contacto: carole.farell@gmail.com

Sylvie Turpin Marion

Tiene estudios de Maestría y Doctorado en Ingeniería en el Instituto Nacional de Ciencias Aplicadas (INSA) de Tolosa, Francia. Actualmente, es la coordinadora general de Vinculación y Desarrollo Institucional de la Universidad Autónoma Metropolitana.
Contacto: stm@correo.azc.uam.mx

Nydia Suppen Reynaga

Realizó estudios de Doctorado en Ingeniería de Ciclo de Vida en la Universidad de Osaka, Japón. Hoy en día se desempeña como directora general del Centro de Análisis de Ciclo de Vida y Diseño Sustentable y es editora regional del *International Journal of Life Cycle Assessment*.
Contacto: nsuppen@centroacv.mx

Lilia Rodríguez Tapia

Es doctora en Ciencias Económicas y labora como profesora-investigadora en la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco (UAM-A); es fundadora y jefa del Área de Investigación de Crecimiento Económico y Medio Ambiente en el Departamento de Economía, División de Ciencias Sociales y Humanidades, así como profesora en el Posgrado de Ingeniería y Ciencias Ambientales, División de Ciencias Básicas e Ingeniería de la UAM-A. Pertenece al Sistema Nacional de Investigadores del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (SNI-CONACYT) y es coordinadora del Cuerpo Académico Consolidado Gestión Integral del Sistema Natural y Económico del Programa Mejoramiento del Profesorado (PROMEP) de la Secretaría de Educación Pública (SEP); asimismo, es miembro tanto de la Red Temática Nacional del Agua (RETAC) del CONACYT como de la Red del Agua de la UAM.
Contacto: lrt091056@gmail.com

Jorge Armando Morales Novelo

Es doctor en Ciencias Económicas y labora como profesor-investigador por tiempo indeterminado en el Departamento de Economía de la UAM-A; es miembro fundador del Área de Investigación Crecimiento Económico y Medio Ambiente en el Departamento de Economía, División de Ciencias Sociales y Humanidades, y profesor en el Posgrado de Ingeniería y Ciencias Ambientales, División de Ciencias Básicas e Ingeniería de la UAM-A. Pertenece al SNI-CONACYT y es miembro de RETAC del CONACYT, de la Red del Agua de la UAM y del Cuerpo Académico

Consolidado Gestión Integral del Sistema Natural y Económico por el PROMEP de la SEP. Ha publicado artículos y capítulos de libros relacionados con el agua.

Contacto: jamn8647@gmail.com

Gerardo Leyva Parra

Cursó la Licenciatura en Economía en la Universidad Autónoma de Aguascalientes; tiene una maestría en Economía por el Instituto Tecnológico Autónomo de México (ITAM) y otra en Ciencia Regional por la Cornell University, donde también obtuvo su Doctorado, especializándose en crecimiento y desarrollo económico. Fue integrante del grupo de expertos en medición de la pobreza de la ONU, conocido como Grupo de Río, y del Comité Técnico para la Medición de la Pobreza, del cual derivó la primera metodología oficial para la medición de la pobreza en México. Es miembro del Comité de Estudios Económicos del Instituto Mexicano de Ejecutivos de Finanzas (IMEF) y del Comité del Indicador IMEF. Ha impartido cursos de Economía en diversas universidades. En 1989, inició su carrera en el INEGI como analista; posteriormente, fungió como asesor sucesivo de tres presidentes del INEGI; asimismo, fue director de Censos Económicos y director general adjunto de Estadísticas Económicas; a partir de junio del 2011 es director general adjunto de Investigación.

Contacto: gerardo.leyva@inegi.org.mx

Rodrigo Negrete Prieto

Nació en la ciudad de México en 1961. Estudió en la Facultad de Economía de la UNAM. Ingresó al INEGI en 1986. En el 2003 le fue encomendada la reforma de la Encuesta Nacional de Empleo Urbano (ENEU) para transformarla en la actual Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo (ENOE), que entró en operación en enero del 2005. En junio del 2009, fue designado como investigador en el INEGI. Actualmente, forma parte del grupo de expertos convocado por la OIT para elaborar el documento de discusión que será presentado en la XIX Conferencia Internacional de Estadísticos del Trabajo (CIET) en octubre del 2013. A lo largo de su trayectoria, ha colaborado en distintas publicaciones nacionales e internacionales en lo relativo a los temas de marcos conceptuales, medición e indicadores de fuerza laboral.

Contacto: rodrigo.negrete@inegi.org.mx

Víctor Alfredo Bustos y de la Tijera

Es licenciado en Actuaría por la Facultad de Ciencias de la UNAM, maestro en Estadística e Investigación de Operaciones por el Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y Sistemas de la misma Universidad y doctor en Estadística por la London School of Economics and Political Science. Ha sido catedrático en la Facultad de Ciencias de la UNAM, profesor-investigador del IIMAS-UNAM y profesor en la School of Business Administration de la Temple University, el ITAM y en el ITESM, catedrático-investigador titular en el Centro de Investigación y Docencia Económicas, así como profesor invitado en el Centro Científico de IBM de México. Entre otras distinciones académicas y profesionales, desta-

can las de investigador nacional nivel I, miembro electo del Instituto Internacional de Estadística y la de presidente de la Asociación Mexicana de Estadística (1993-1994). Es miembro de otras asociaciones y cuerpos colegiados en el ámbito de las tecnologías de información y de la estadística. Ha publicado trabajos en revistas especializadas nacionales e internacionales y participado como ponente en diversos congresos y eventos tanto en áreas de estadística como en materia de informática (más de 100 trabajos). Entre otras áreas de su interés están: ajuste de modelos a partir de datos provenientes de encuestas, uso de modelos markovianos, clasificación multivariada, uso de las TIC en la recopilación eficiente de información, alternativas para la construcción de índices temporales y comparación de algoritmos de selección de muestras. Actualmente, es investigador en la Dirección General Adjunta de Investigación del INEGI, al que ingresó en 1991.

Contacto: alfredo.bustos@inegi.org.mx

Eliseo Gerardo Guerrero Eufracio

Es biólogo egresado de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL). Desde 1979 labora en INEGI, donde colaboró tanto en el proceso de modernidad de la actividad geográfica como en la actualización de la carta edafológica y topográfica escala 1: 250 000 versión digital. En la actualidad, es jefe del Departamento de Suelos, área en la que coordina las actividades de actualización de la información edafológica y de erosión del suelo, y participa directamente en el proyecto de GlobalSoilMap para el nodo de América del Norte, así como en la capacitación de especialistas para la actualización de información de recursos naturales.

Contacto: eliseo.guerrero@inegi.org.mx

Miguel Moctezuma Flores

Es ingeniero mecánico-electricista por la Facultad de Ingeniería de la UNAM, con maestría tanto en Ingeniería Eléctrica por esta casa de estudios como en Procesamiento de Señales e Imágenes por la ENST-Telecom París, donde también obtuvo el doctorado. Ha sido responsable de proyectos nacionales e internacionales de investigación; es autor de diversas publicaciones en percepción remota, procesos estocásticos y reconocimiento de patrones, y ha dirigido más de 40 tesis de licenciatura y posgrado; además, es miembro de comités técnicos de JART, CIECE, ICIAS, CWPR, IEEE-IGARSS y CIARP. Ha realizado estancias sabáticas en el ITAM y en el ISAC-CNR de Italia. Actualmente, se desempeña como profesor de tiempo completo en la UNAM.

Contacto: miguelm@verona.fi-p.unam.mx

Lineamientos para publicar en Realidad, datos y espacio. Revista Internacional de Estadística y Geografía

Los trabajos presentados a Realidad, Datos y Espacio. Revista Internacional de Estadística y Geografía deberán tratar temas de interés relativos a la situación actual de la información estadística y geográfica.

Sólo se reciben para su posible publicación trabajos inéditos, en español o inglés. Por ello, es necesario anexar una carta dirigida al Editor de Realidad, Datos y Espacio. Revista Internacional de Estadística y Geografía, en la que se proponga el artículo para su publicación y se declare que es inédito y que no se publicará en otro medio. En esta carta deben incluirse los datos completos del autor o autores, institución, domicilio completo, correo electrónico y teléfono. El envío de los artículos debe dirigirse a la atención de la M. en C. Virginia Abrín Batule, virginia.abrin@inegi.org.mx (tel. 5278 10 00, ext. 1161).

Los trabajos se tienen que presentar en versión electrónica (formato *Word* o compatible), en la cual se incluyan las imágenes, gráficas y cuadros (en el formato de los programas con que fueron generados y en archivos independientes, tales como Adobe Photoshop, Adobe Illustrator, TIF, EPS, PNG o JPG, con una resolución de 300 dpi y en un tamaño de 13 x 8 cm). Las expresiones y/o algoritmos, enviarlas con el formato anterior. Se sugiere una extensión de 15 cuartillas, tipo de letra Helvética, Arial o Times de 12 puntos e interlineado de 1.5 líneas.

Los artículos deben incluir: título del trabajo, nombre completo del autor o autores, institución donde trabaja y cargo que ocupa, teléfonos, correo electrónico, breve semblanza del autor o autores (que no exceda de un párrafo de cinco renglones), resúmenes del trabajo en español e inglés (que no excedan de un párrafo de 10 renglones), palabras clave en español e inglés (mínimo tres, máximo cinco) y bibliografía u otras fuentes.

Las referencias bibliográficas deberán presentarse al final del artículo de la siguiente manera: nombre del autor comenzando por el o los apellidos; título del artículo (entrecomillado); título de la revista o libro donde apareció publicado (en cursivas); editor o editorial; lugar y año de edición. En el caso de las fuentes electrónicas (páginas *Web*) se seguirá el mismo orden que en las bibliográficas, pero al final entre paréntesis se pondrá DE (dirección electrónica), la fecha de consulta y la liga completa. Omitir las que se mencionen como notas a pie de página.

Todos los artículos recibidos serán sometidos a evaluación y el proceso de dictaminación será de acuerdo con la metodología de doble ciego (autores y dictaminadores anónimos).

GUIDELINES FOR PUBLISHING IN Reality, Data and Space. International Journal of Statistics and Geography

The papers submitted to Reality, Data and Space. International Journal of Statistics and Geography, must deal with issues of interest relating to state-of-the-art statistical and geographical information.

Only unpublished works, in English or Spanish will be accepted for possible publication. Therefore, it is required to attach a letter addressed to the Publisher of Reality, Data and Space. International Journal of Statistics and Geography, proposing the article for publication and stating it is unpublished material and it will not be published in any other way. The letter must include the full details of the author or authors, institution, full address, e-mail and telephone number. The dispatch of the articles should be directed to the attention of the M. C. Virginia Abrín Batule, virginia.abrin@inegi.org.mx (tel. 5278 10 00 Ext. 1161).

Contributions must be submitted in electronic format (Word format or compatible), containing the images, charts and tables (in the original format of the software they were created on, and in separate files, such as Adobe Photoshop, Adobe Illustrator, TIF, EPS, PNG or JPG, with a resolution of 300 dpi and a 13 x 8 cm size of). The equations and or the algorithm send it in the same form. An extension of 15 pages, Helvetica, Arial or Times 12 points typeface, and a spacing of 1.5 lines is suggested.

The articles should include: title, full name of the author or authors, institution where he/she works and her/his position, phone, e-mail, a brief biography of the author or authors (not exceeding a 5 lines paragraph), summaries of the work, in English and Spanish (not exceeding a 10 lines paragraph), keywords, in English and Spanish (minimum 3, maximum 5) and bibliography reference list.

Bibliographical references must appear at the end of the article as follows: Author's name beginning with the surname; article's Title (in quotation marks); Title of the magazine or book where it was published (in italics); Publisher or editorial; house and year of the edition. In the case of electronic sources (Web pages) it will be used the same arrangement as for bibliographical references, but it will be followed by the mention DE (dirección electronica, in Spanish) between backets, the date of consultation and the full link.

All contributions received will be subject to evaluation and the approval process will be carried according to the methodology of double-anonymity (anonymous authors and adjudicators).

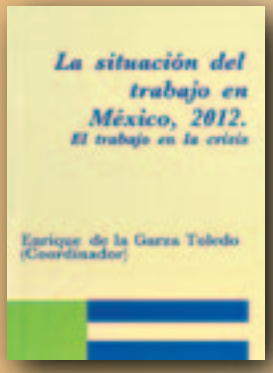
Casa abierta al tiempo
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

Librería virtual *Carlos Montemayor*

Conoce y recibe en casa todos nuestros libros

El retorno del desarrollo
Federico Novelo y Urdanivia
Coordinador

Rostros de la pobreza en México vistos por distintas disciplinas
Sergio de la Vega Estrada y
Gloria de la Luz Juárez
Coordinadores



La situación del trabajo en México, 2012. El trabajo en la crisis
Enrique de la Garza Toledo
Coordinador

Estudios de casos en acción pública y acción colectiva
Alejandro Vega Godínez
Coordinador

www.casadelibrosabiertos.uam.mx

Casa de libros abiertos

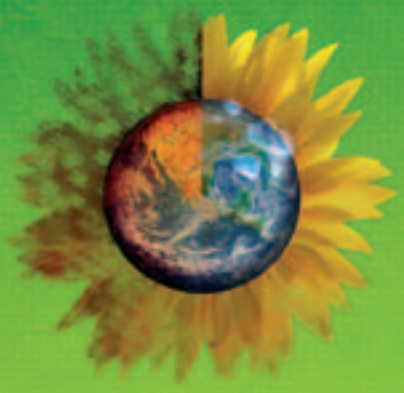
Nuevo

DENUE
INTERACTIVO
01/2013

Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas

- Alrededor de 4.4 millones de establecimientos.
- Más herramientas para consulta y análisis.
- Historial de búsqueda.

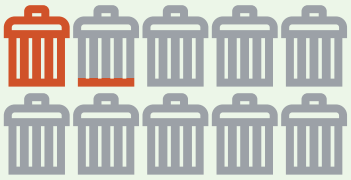
INEGI
INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA



ESTADÍSTICAS DEL MEDIO AMBIENTE

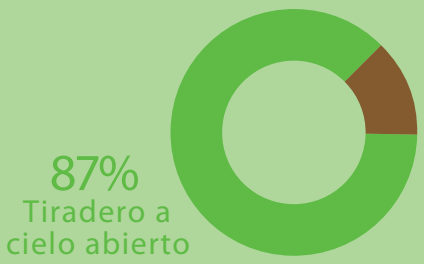
En México,

Se recolectan diariamente
86 mil toneladas de basura



11%
Es separada

89%
No es separada



13%
Relleno sanitario

87%
Tiradero a cielo abierto

¿A dónde va la basura generada en México?

de los **puntos de descarga** de aguas negras están en ríos o arroyos

Consulta la información a nivel nacional, estatal y municipal en
http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/modulosamb/default.aspx

INEGI 30 Aniversario

INEGI
INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA

Conociendo México

01 800 111 46 34 • www.inegi.org.mx • atencion.usuarios@inegi.org.mx

INEGI Informa **@inegi_informa**

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA

MÉXICO