



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

UN MODELO MATEMATICO PARA ESTIMAR LA MIGRACION
NECESARIA PARA ALCANZAR META DE DISTRIBUCION
ESPACIAL DE LA POBLACION.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

M A T E M A T I C O

P R E S E N T A :

ARTURO BARRANCO FLORES



DIRECTOR DE TESIS: M. en D. VIRGILIO PARTIDA BUSH

2004



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

ACT. MAURICIO AGUILAR GONZÁLEZ
Jefe de la División de Estudios Profesionales de la
Facultad de Ciencias
Presente

Comunicamos a usted que hemos revisado el trabajo escrito:

"Un modelo matemático para estimar la migración necesaria para alcanzar meta de distribución espacial de la población"

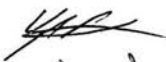
realizado por Arturo Barranco Flores

con número de cuenta 09111833-2 , quien cubrió los créditos de la carrera de: Matemáticas


Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Atentamente

Director de Tesis

Propietario M. en D. Virgilio Partida Bush 

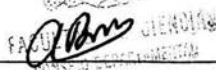
Propietario M. en D. Alejandro Mina Valdés 

Propietario Dra. María Edith Pacheco Gómez Muñoz 

Suplente M. en E. P. Laura Elena Gloria Hernández 

Suplente Act. María Teresa Velázquez Uribe 

Consejo Departamental de
Matemáticas


M. en C. Alejandro Bravó Mojica

Agradecimientos

Agradezco a Dios por tener la oportunidad de estar en este mundo

A mis padres, Carmen y José, por haberme brindado su apoyo, confianza y cariño por el tiempo que lo necesité.

A Rossana por creer en mí y acompañarme durante este camino que promete ser muy largo. Por ser la mujer de mi vida, TAM.

A mis hermanos Roberto, José Luis y Rosa María por ser mis compañeros y amigos en el camino de la vida y a José Felipe por ser un ángel más que me acompaña.

A mi director de tesis, Virgilio Partida, por todo el apoyo que me ha dado durante este tiempo, por su paciencia y confianza.

A todos mis sinodales por leer este trabajo y por sus valiosas sugerencias.

A mis amigos: José Zamora, , Andrés Molina, Eric Molina y Severino García por estar cerca de mí todo el tiempo. A Gabriel y Mauricio que ya no pueden ver este logro, pero que seguramente donde estén, lo comparten conmigo.

Índice

Introducción	1
1 Cambio demográfico y sustentabilidad.....	3
1.1 Dinámica Demográfica de la república mexicana	3
1.2 Proyecciones Demográficas.....	6
1.3 La sustentabilidad	8
1.4 Las ciudades sustentables	10
1.5 El agua en el desarrollo sustentable	11
1.6 Aguas subterráneas	13
1.7 Disponibilidad y deterioro de acuíferos.....	14
2 El modelo multirregional de población.....	16
2.1 Introducción	16
2.2 El operador de crecimiento y distribución espacial de la población.....	18
2.3 Equivalencia entre tasas y proporciones	25
2.4 Cambios en las tasas de migración para alcanzar una distribución deseada de la población	32
3 La aplicación del modelo	41
3.1 Introducción	41
3.2 Las ciudades y la aplicación del modelo.....	42
Conclusiones	61
Bibliografía	63

Índice de Gráficas y Cuadros

Gráfica 1.1 Población a mitad del año, 1962-2002.....	3
Gráfica 1.2 Número de nacimientos, 1962-2002.....	4
Cuadro 1.1 Disponibilidad Natural per cápita en el 2003 y 2025.....	12
Cuadro 2.1 Población media y componentes del crecimiento demográfico por regiones 1995- 2000.....	19
Cuadro 2.2 Migración interregional, 1995,2000.....	19
Cuadro 2.3 Operador de crecimiento y distribución regional de la población, 1995-2000.....	20
Cuadro 2.4 Operador de crecimiento y distribución de la población del periodo 1995-2000.....	23
Cuadro 2.5 Población a mitad del año en las cuatro regiones manteniendo constantes las variables demográficas, 2000-2030.....	24
Cuadro 2.6 Tasas de migración interregional, 1995,2000.....	29
Cuadro 2.7 Suma de las tasas anuales de crecimiento natural y migración neta internacional para las dos regiones, 1995-2000.....	31
Cuadro 2.8 Población a mitad del año manteniendo constantes las tasas de migración interregional y adoptando las de crecimiento natural y migración neta internacional del CONAPO, 2000-2030.....	32
Cuadro 2.9 Cálculo del operador meta de distribución territorial, usando el algoritmo de asignación biproporcional iterativa.....	36
Cuadro 2.10 Pendientes del modelo lineal de cambio de las tasas de migración interregional.....	38
Cuadro 2.11 Tasas de migración interregional necesarias para alcanzar la meta de distribución territorial, 2000-2030.....	39
Cuadro 2.12 Operadores de crecimiento y distribución necesarios para alcanzar la meta de distribución territorial, 2000-2030.....	39
Cuadro 2.13 Población a mitad de año que satisface la distribución territorial deseada de la población.....	40
Cuadro 3.1 Zona metropolitana de Colima: Migrantes interregionales, 1995-2000.....	42

Cuadro 3.2 Población a mitad de año manteniendo constantes las tasas de migración interregional y adoptando las de crecimiento natural y migración neta internacional del CONAPO, 2000-2030.....	43
Cuadro 3.3 Condición de los acuíferos en los municipios de la zona metropolitana de Colima, 2003.....	44
Cuadro 3.4 Acuíferos de la zona metropolitana de Colima, dando el consumo per cápita y la población en equilibrio	44
Cuadro 3.5 Cálculo del operador meta de distribución territorial usando el algoritmo de asignación biproportional iterativa.....	45
Cuadro 3.6 Pendientes del modelo lineal de cambio de las tasas de migración interregional.....	45
Cuadro 3.7 Tasas de migración interregional necesarias para alcanzar la meta de distribución territorial	46
Cuadro 3.8 Operadores de crecimiento y distribución necesarios para alcanzar la meta de distribución territorial	46
Cuadro 3.9 Población a mitad del año que satisface la distribución territorial deseada de la población.....	47
Cuadro 3.10 Zona metropolitana de Orizaba: Migrantes interregionales, 1995-2000	48
Cuadro 3.11 Población a mitad de año manteniendo constantes las tasas de migración interregional y adoptando las de crecimiento natural y migración neta internacional del CONAPO, 2000-2030.....	49
Cuadro 3.12 Condición de los acuíferos en los municipios de la zona metropolitana de Orizaba, 2003.....	50
Cuadro 3.13 Acuíferos de la zona metropolitana de Orizaba, dando el consumo per cápita y la población en equilibrio	51
Cuadro 3.14 Cálculo del operador meta de distribución territorial usando el algoritmo de asignación biproportional iterativa.....	51
Cuadro 3.15 Pendientes del modelo lineal de cambio de las tasas de migración interregional.....	52
Cuadro 3.16 Tasas de migración interregional necesarias para alcanzar la meta de distribución territorial	52
Cuadro 3.17 Operadores de crecimiento y distribución necesarios para alcanzar la meta de distribución territorial	53

Cuadro 3.18 Población a mitad del año que satisface la distribución territorial deseada de la población.....	53
Cuadro 3.19 Zona metropolitana de Zacatecas: Migrantes interregionales 1995-2000	54
Cuadro 3.20 Población a mitad de año manteniendo constantes las tasas de migración interregional y adoptando las tasas de crecimiento natural y migración neta internacional del CONAPO, 2000-2030.....	55
Cuadro 3.21 Condición de los acuíferos en los municipios de la zona metropolitana de Zacatecas, 2003.....	56
Cuadro 3.22 Acuíferos de la zona metropolitana de Zacatecas, dando el consumo per cápita y la población en equilibrio	57
Cuadro 3.23 Cálculo del operador meta de distribución territorial usando el algoritmo de asignación biproporcional iterativa.....	57
Cuadro 3.24 Pendientes del modelo lineal de cambio de las tasas de migración interregional.....	58
Cuadro 3.25 Tasas de migración interregional necesarias para alcanzar la meta de distribución territorial	58
Cuadro 3.26 Operadores de crecimiento y distribución necesarios para alcanzar la meta de distribución territorial	59
Cuadro 3.27 Población a mitad del año que satisface la distribución territorial deseada de la población.....	59

Introducción

El desarrollo sustentable es un tema que ha preocupado a la comunidad internacional desde hace 32 años y del que mucho se dice, pero poco se hace. Por eso, para fijar la meta de distribución territorial este trabajo propone regular el uso del agua subterránea, impidiendo la sobreexplotación de los acuíferos y fijando un tope al número de habitantes que los usan. Esto garantizaría un desarrollo sustentable de la comunidad, pues es el agua uno de los recursos más importantes para el desarrollo humano.

Esta tesis muestra una aplicación más de las matemáticas a la demografía. Se utiliza un método de proyección multirregional de la población basado en la idea original de Andrei Rogers (1968). El objetivo de este trabajo es estimar las tasas de migración interna necesarias para llegar a una distribución de la población para tener un desarrollo sustentable con el supuesto de que el agua de los acuíferos fuese suficiente para tener sostenibilidad.

La población que sirve de base para este trabajo es la que tenía la república mexicana en el año 2000. Se hacen tres ejemplos diferentes donde se divide a la república mexicana en dos regiones: por un lado, una zona metropolitana y, por el otro, el resto del país. Este agrupamiento se hace sólo para fines de exposición y de ninguna manera se propone como única posibilidad, pues siempre será posible dividir al país en más de dos regiones.

Este trabajo se divide en tres capítulos:

En el primero se describe la dinámica demográfica de la república mexicana para tener un panorama de hacia donde vamos. Se hace mención de las reuniones internacionales de los últimos años que ponen especial atención en el tema de la ecología como factor primordial en el desarrollo de los países (sustentabilidad); y se pone énfasis en la importancia del agua en el ámbito del desarrollo económico y de la importancia de los acuíferos en la obtención del agua dulce para el consumo humano.

En el segundo capítulo se muestra la construcción del modelo matemático que ofrece la solución al problema, comenzado por expresar en forma sucinta los conceptos que se emplean y después se dan los supuestos que se necesitan, es decir, las variables que se fijan y demás hipótesis que se toman en cuenta para la solución del problema. Para abordar el problema se usan

matrices. Los cálculos de las matrices se obtienen a través de las rutinas del programa computacional MATLAB.

En el tercer capítulo se muestra la aplicación del modelo a las zonas metropolitanas de: Colima, Orizaba y Zacatecas, cada una con situaciones diferentes de explotación de sus acuíferos. Se propone una distribución espacial de la población, para cada uno de los tres ejemplos, la cual se supone mantendrá la sustentabilidad de esas metrópolis, tomando en cuenta sólo la explotación de sus acuíferos. Se aplica el método desarrollado en el capítulo 2 para llegar a un conjunto de tasas de migración interna que se sugieren como una posible alternativa para obtener la meta de distribución deseada.

Por último se presentan las conclusiones de los resultados obtenidos.

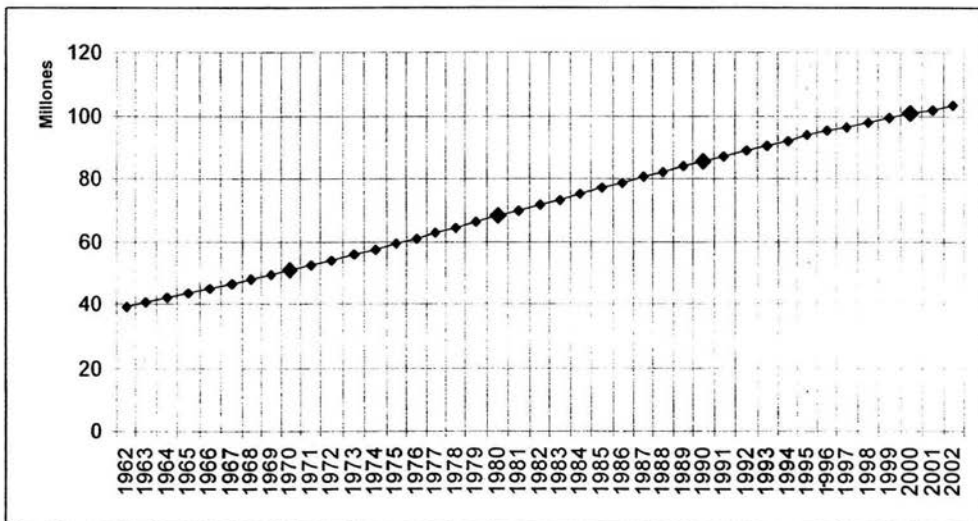
1 Cambio demográfico y sustentabilidad

1.1 Dinámica demográfica de la república mexicana

La situación demográfica actual de México se deriva, en gran parte, del rápido crecimiento que tuvo la población hasta principios de los años setenta del siglo pasado, quedando marcado en la estructura de la población de nuestro país.

La población en México ha ido en aumento con el pasar de los años. En 1962 la población de nuestro país no rebasaba 40 millones de personas. En 1970 era de poco más de 50 millones. Así que cada diez años la población aumentaba casi en 20 millones de personas; es decir, en 1970 la población era de 50.8, en 1980 de 67.9, en 1990 de 85.5 y en 2000 de 100.5. Si se compara la población de 1960 con la de 2000, se observa que en 40 años la población de México casi se triplicó (de 36.6 a 100.5 millones) (CONAPO, 2004). Esto puede deberse al cambio en la natalidad, en algunos años, y al descenso de la mortalidad en México (Gráfica 1.1).

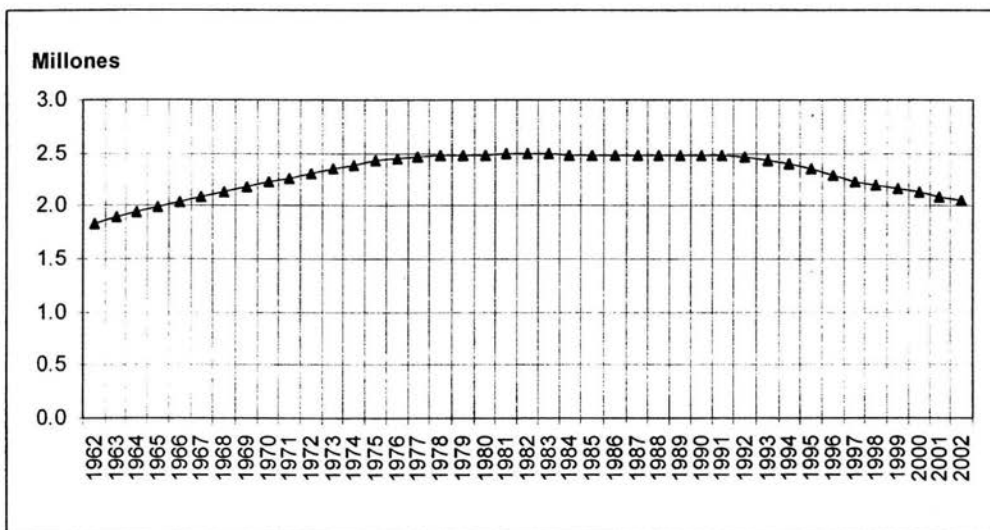
Gráfica 1.1 Población a mitad del año, 1962-2002



Fuente: Elaboración propia con datos del CONAPO, 1962-2002

Si se observan los nacimientos que hubo durante los años de 1962 a 2002, se puede ver que a partir del año 1962 se presentó un aumento en el número de nacimientos. De 1979 a 1990 el elevado número de nacimientos se mantuvo “constante” hasta que en 1991 comenzó a disminuir. En once años (1991-2002) se ha logrado reducir este número a 1,985,545, cifra que es similar a la que había en 1962 (1,838,027), lo cual indica un gran avance en cuanto a la disminución de nacimientos, ya que en once años se redujo lo que en el transcurso de casi 30 años (1962-1991) aumentó (Gráfica 1.2).

Gráfica 1.2 Número de nacimientos, 1962-2002



Fuente: Elaboración propia con datos del CONAPO, 1962-2002

El número de hijos por mujer en 1962 era de 7.26, actualmente es de 2.27. Si se mantuvieran las condiciones actuales de decrecimiento, y si se ve asociada a la mortalidad, se esperaría que para el año 2005 se alcance el reemplazo intergeneracional, lo que equivale a que cada mujer tenga un hijo estando en su edad reproductiva, en términos de tasa es de 2.11 hijos por mujer. Esto puede lograrse si la demanda de anticonceptivos, entre otras, se satisface.

Todo el crecimiento de la población se ve afectado también por el notable descenso de la mortalidad de los últimos 40 años, ya que hubo una disminución importante, al reducirse casi a la tercera parte, de 11.3 a 4.2 decesos por cada mil personas.

Entre 1960 y 1995 el número de personas en el grupo de 15 a 64 años, grupo donde se concentran las personas en edad de trabajar, pasó de 18 a 55 millones, es decir, se triplicó en un lapso de 35 años, actualmente este grupo asciende a 63.2 millones de individuos y son poco menos de dos terceras partes de la población actual del país (62.6%). Esta distribución, por el comportamiento de la población, se mantendrá y aumentará su número en las próximas décadas con los beneficios y problemas que esto conlleva como la necesidad de creación de empleos, etc.

“El efecto conjunto del descenso de la fecundidad y la mortalidad se ha traducido en un paulatino proceso de envejecimiento de la estructura por edad” (CONAPO, 2002:13). El grupo de personas de 65 años o más (*la tercera edad*) es el que crece de manera más rápida desde hace quince años, siendo casi cinco millones de personas y, aunque sólo son 4.9% del total de la población, aumenta a un ritmo anual de 3.7%, que es una tasa con el potencial de duplicar su población cada 18.7 años. Esta tendencia tendrá grandes consecuencias económicas, sociales, políticas y culturales e incurrirá en demanda de satisfactores propios de este grupo de edad.

El envejecimiento provocará, en el corto plazo, un desbalance entre la población en edades activas y la de edades avanzadas, lo cual provocará gran desequilibrio en la seguridad social como en el sistema de pensiones, la asignación a los servicios de salud, etc. Las familias tendrán que reorganizar su estructura para poder enfrentar los cambios significativos que sucederán.

Todos los participantes del gobierno y los partidos políticos tienen que hacer consideraciones e innovar estrategias considerando estos cambios en la estructura del país, y así poder dirigirse al grueso de la población a la que quieren hacer partícipe de sus ideas.

La migración internacional hacia los Estados Unidos ha aumentado, ya que en el quinquenio de 1990 a 1995 fue de 37 migrantes por cada diez mil habitantes, para el siguiente quinquenio fue de 40. Las condiciones económicas del país a mediados de los noventa provocaron el aumento de la emigración de 288 mil, que se esperaba con condiciones constantes, a 322 mil registrados (CONAPO, 2004).

Ahora se consideran los escenarios alternativos que se hubieran dado en los últimos cuarenta años (1962-2002) si se modifican:

- Con descenso de la fecundidad y presencia de migración internacional, pero no de la mortalidad, la población actual de México sería de 92.4 millones en lugar de 105.3 millones.

Lo que significa que la disminución de la mortalidad da un saldo negativo de 12.9 millones de personas.

- Ahora sin disminuir la fecundidad, pero reteniendo el descenso de la mortalidad y la incidencia de la migración internacional, se vería que hay un impacto mayor, ya que la población actual sería de 183.6 millones de personas, representando un excedente mayor 74.3% del número real.
- De no haber ocurrido migración internacional la población hubiera crecido hasta 123.1 millones, es decir que por la migración negativa se tendrían 17.7 millones de personas más de lo observado.
- Si la fecundidad y la mortalidad de 1962 hubieran prevalecido y no hubiera ocurrido migración internacional alguna desde entonces, la población actual sería de 185.7 millones de personas, 80.3 millones más que lo realmente observado. Así, el descenso de la fecundidad aportó una reducción de 75.7 millones, la incidencia de la migración internacional uno de 17.1 millones y la disminución de la mortalidad un incremento de 12.5 millones.

1.2 Proyecciones demográficas

Las proyecciones de la población se encuentran con más frecuencia en la bibliografía de nuestro país desde hace medio siglo (CONAPO, 2002: 3). A través de los años se notan cambios, no sólo de forma, sino también en las hipótesis sobre el futuro comportamiento de las variables demográficas, y en el sentido que ahora tienen las proyecciones, que buscan ser una herramienta útil para la planeación social y económica. Las proyecciones del volumen de la población es uno de los instrumentos indispensables para llevar a cabo la planeación demográfica del país. A partir de ellas se puede calcular los requerimientos de la nueva población, así como su distribución territorial.

La evolución demográfica de la república mexicana se ha ido conociendo con mayor precisión, debido, por un lado, a la creciente cantidad y calidad de las fuentes de datos y, por el otro, al desarrollo de metodologías más complejas y apegadas a la realidad demográfica de nuestro país. Pero si actualmente se ha avanzado en la cantidad y calidad de los datos, aún no se

pueden elaborar previsiones totalmente confiables sobre el comportamiento futuro de la fecundidad, la mortalidad y la migración, ya que éstas siguen estando cubiertas de un gran grado de complejidad y seguirán siendo motivo de discusión.

A mediados de los años setenta, el gobierno de México adoptó una política de reducción del crecimiento demográfico; debido a esto, ha sido costumbre hacer proyecciones en las cuales se fijan metas específicas para las variables demográficas. Esto, para llegar a una reducción del crecimiento de la población.

Cabe señalar que el ejercicio de proyección demográfica no pretende adivinar, profetizar, predecir o tratar de definir nuestro futuro en papel. Es una forma razonada de imaginar como será nuestro futuro, presentando posibles escenarios, o deseables si ocurriesen los supuestos propuestos en la proyección.

Por ejemplo las proyecciones de CONAPO de 2003 se elaboraron con el método de componentes demográficos. En este procedimiento, primero se establecen las premisas sobre el futuro de los factores del cambio demográfico (la fecundidad, la mortalidad y la migración); después, se aplican esas previsiones a la población base (inicial), de tal manera que los sobrevivientes durante cada año de la proyección se van reproduciendo para generar las nuevas cohortes que se incorporan a la población residente. La proyección del riesgo de fallecer en estas proyecciones se hizo extrapolando las tendencias contenidas en esa larga reconstrucción del fenómeno. Tras varias inspecciones, utilizando técnicas de análisis exploratorio de datos, se adoptó un modelo aditivo-multiplicativo aplicado al logaritmo de las probabilidades de fallecer de 1960 a 2000. La proyección de la fecundidad se obtuvo ajustando una función logística, con base en la experiencia observada en 1962-1996 y 1999, de tal forma que alcanzara el reemplazo intergeneracional, es decir, el nivel de la fecundidad en que cada mujer de una cohorte, sujeta a la ley de mortalidad vigente en la misma época, procrea una hija, en promedio a lo largo de su vida reproductiva. La migración internacional, ante los vaivenes de las economías de los países, y por la gran dificultad que representaría proyectar esos vaivenes: se supone que las tasas de emigraciones de mexicanos se mantendrían constantes hasta 2010 y después descenderían linealmente hasta ser en 2050 la mitad de los observados en 1995-2000 (CONAPO, 2002: 14-19).

En este trabajo se trata de fijar una meta de distribución espacial de la población de la república mexicana en 30 años. Seguido de determinar las tasas de migración interna del país

necesarias para llegar a esta meta. Y tomando de cada una de las regiones las tasas de crecimiento natural y migración internacional de las proyecciones de CONAPO 2003.

1.3 La sustentabilidad

Después del deterioro social de muchos años, que comenzó a partir de la revolución industrial, se generó un gran desarrollo económico pero al mismo tiempo hubo un deterioro ecológico. En el año de 1972, se manifestó la preocupación de la comunidad internacional por este asunto en la Conferencia Mundial de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano en Estocolmo, donde se trataron aspectos en torno a los problemas ecológicos y de desarrollo(ONU, 1997).

La primera vez que se mencionó el término sustentable a nivel internacional fue en 1974, cuando se llevó a cabo la Conferencia Mundial de las Naciones Unidas sobre Asentamientos Humanos en Vancouver. La comunidad internacional llegó al consenso de mejorar la calidad de vida a través de procurar la provisión de vivienda adecuada para la población y el desarrollo sustentable de los asentamientos humanos.

En 1987, cuando se reúne la Comisión Mundial de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y el Desarrollo en Brundtland, se adoptó por unanimidad el documento *Nuestro futuro común*, donde se discierne, entre científicos y políticos del planeta, los términos en que se define el desarrollo sustentable: “*aquel que satisface las necesidades esenciales de la generación presente sin comprometer la capacidad de satisfacer las necesidades esenciales de las generaciones futuras*” (ONU, 1997).

Dos años después, en el Foro Internacional sobre la Población en el Siglo XXI, se aprobó la Declaración de Ámsterdam sobre una Vida Mejor para las Generaciones Futuras y se admitió que existía una relación íntima entre la población, los recursos y el medio ambiente.

La relación de las tendencias y los factores demográficos con la capacidad de obtener un desarrollo sustentable se pone de manifiesto en 1992 en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. Ahí, se propuso un conjunto más amplio de recomendaciones, llamado Programa 21¹:

¹ Del programa 21, en el capítulo 5.

- a) Aumento y difusión de conocimientos sobre la relación que existe entre las tendencias y los factores demográficos y el desarrollo sostenible.
- b) Formulación de políticas nacionales integradas de medio ambiente y desarrollo, teniendo en cuenta las tendencias y los factores demográficos.
- c) Ejecución de programas integrados de medio ambiente y desarrollo a nivel local, teniendo en cuenta las tendencias y los factores demográficos.

En 1994, en la Conferencia Internacional sobre la Población y el Desarrollo, que tuvo lugar en el Cairo, la relación entre población, medio ambiente y desarrollo se plasmó en el Programa de Acción. Esto indica que cada vez se tiene mayor conciencia de que la población, la pobreza, las modalidades de producción, de consumo y el medio ambiente están tan estrechamente interrelacionados que no se pueden considerar en forma aislada.

En 1997, la Organización de las Naciones Unidas en Nueva York, en su informe "Comisión de Desarrollo Sustentable", presenta un balance de los avances que a nivel internacional se alcanzaron en la conformación de las estructuras nacionales para la toma de decisiones, así como de la implementación de instrumentos y programas.

La más reciente reunión relacionada con el desarrollo sustentable de la Organización de las Naciones Unidas es la de Johannesburgo en 2002.

En México las disposiciones generales y las bases para el desarrollo sustentable están asentadas en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y en el Plan Nacional de Desarrollo 2000-2006, en el apartado relacionado con el medio ambiente, donde se definen los objetivos de las políticas públicas, así como las estrategias a seguir.²

² En este sentido, los programas sectoriales contemplan dentro de sus lineamientos al desarrollo sustentable y la coordinación que deberán mantener con el sector ambiental. Por ejemplo, el *Programa Nacional de Población 2000-2006* considera que el desarrollo sustentable es una estrategia que reconoce que la calidad de la vida humana y la calidad del medio ambiente son inseparables, por lo que el desarrollo económico y social y la protección del medio ambiente están íntimamente relacionados. Los vínculos entre la población, el medio ambiente y los recursos naturales están mediados por múltiples factores, por lo que se deberán reforzar los mecanismos de coordinación entre la política de población y la relativa al medio ambiente y los recursos naturales. El *Programa Nacional de Población 2000-2006* incluso incorpora una meta al respecto: "Incrementar en alrededor de seis puntos porcentuales la proporción de los flujos migratorios que se dirigen a las ciudades con potencial de desarrollo sustentable, sobre todo a las ciudades intermedias y pequeñas" (p. 283).

1.4 Las ciudades sustentables

Al principio la ciudad sustentable surge como un concepto incierto, por no estar del todo definido, pero da a la ciudad un nuevo significado dentro del desarrollo sustentable. Las ciudades calificadas como sustentables se movieron dentro de una escala indeterminada. Pero las indeterminaciones no paralizaron ni las reflexiones ni las iniciativas de las ciudades para ser denominadas sustentables. Al contrario, representaron un reto o desafío.

Un término muy cercano al de ciudad sustentable surge en Aalborg en 1994, con el propósito de poner en marcha algunos principios del programa 21; las redes de ciudades sustentables incorporan una de 27 ciudades europeas. Con el propósito de traducir los preceptos globales del desarrollo sustentable en orientaciones prácticas y tangibles, los gobiernos de las ciudades seleccionadas auxiliados por diversas oficinas institucionales, se han dedicado a elaborar un programa 21 local, han realizado un diagnóstico ambiental de cada ciudad y propuesto medidas ecológicas concretas. Un problema que surgió en la elaboración de los proyectos fue crear una aparente separación entre problemas globales y locales, cuando no se pueden separar los unos de los otros.

Las ciudades integran los recursos naturales a su economía. Esto es positivo, ya que antes existía una incompatibilidad entre la preservación de la ecología y las orientaciones económicas de la ciudad.

Ahora hay tres formas potenciales para describir a las ciudades sustentables:

- La ciudad ecosistémica: es la que actúa para integrar a la ciudad dentro del ecosistema global y este esfuerzo la lleva a integrar el ecosistema local a la ciudad (relocalización).
- La ciudad patrimonial: es la que incluye a la ciudad dentro del patrimonio de las generaciones futuras e introduce el patrimonio local a la ciudad (historización).
- La ciudad participativa: es la que sueña en participar en la democracia global, la efervescencia es uno de sus elementos más activos y que pretende favorecer la democracia directa en la ciudad.

La ONU, al destacar la necesidad de inscribir a las ciudades en el desarrollo sustentable, crea redes para concretarla.

Es así que se podrán proponer las ciudades de nuestro modelo como ciudades ecosistémicas.

1.5 El agua en el desarrollo sustentable

Un recurso esencial, en términos económicos y sociales, es el agua. La importancia del agua es cada vez mayor, al punto de que actualmente es uno de los factores críticos del desarrollo a nivel mundial.

El agua ocupa dos terceras partes de la superficie terrestre, pero sólo 2% es de agua dulce. El planeta no tiene actualmente más agua dulce que hace 2000 años pero, si se compara la población de hoy con la de hace 2000, se observa que era 3% de la actual, cuestión que debe preocupar a todos. La sobreexplotación, el desperdicio, la contaminación y los efectos del cambio climático han dejado a poco menos del 40% de seres humanos enfrentando problemas de escasez de agua (ONU, 2000: 5).

La preocupación por el agotamiento del agua no es un pensamiento reciente, ya en 1516 Leonardo Da Vinci notaba que el agua dulce faltaría en el futuro. Hoy en día los especialistas hablan del agua como el oro azul, el oro del mañana, el recurso más preciado del futuro, etc. Y por lo mismo se ven venir grandes conflictos generados por ver quién controlará las reservas de agua en el futuro (Iglesias, 2001).

En la actualidad, el agua embotellada alcanza un precio semejante al de la gasolina, lo que nos hace pensar que cuando exista mayor escasez del agua, ésta tendrá un precio inimaginable. En 2001, la World Wildlife Fund publicó un informe de los consumidores de países ricos (como Suiza, Estados Unidos y Alemania), donde los invitaban a beber agua de sus llaves, porque el agua embotellada no es más segura que la de la llave. El consumo del agua embotellada se ha tornado un fenómeno social global. Es el negocio más fructífero en toda la industria de alimentos y bebidas. Esta industria tiene ganancias impresionantes.

En el caso de nuestro país no se han tomado en cuenta las señales de la escasez del agua y, por lo tanto, no se toman medidas para prevenir la falta del agua. El crecimiento desmedido y desorganizado de la población ha generado zonas de alta escasez de agua, no sólo en las regiones de baja precipitación pluvial, sino también en zonas donde la falta de agua no se percibía como un problema al comenzar el crecimiento demográfico. En esta situación de escasez no se puede pensar en un desarrollo sustentable.

La escasez de la que se habla se da por el incremento de la población. Por eso, al comparar, el agua con el número de habitantes en la actualidad y el número de habitantes previsto por CONAPO en 2025, considerando la división en regiones administrativas que usa la Comisión Nacional del Agua, se observa que la disponibilidad natural³ media de agua por habitante a nivel nacional disminuye de 4547 m³ por habitante al año en 2003 a 3822 en 2025 (Cuadro 1.1).

Hay que hacer hincapié que la extracción, para todos los usos consuntivos (agua que se consume) y no consuntivos, proviene 64.5% de agua superficial y 35% subterránea, demostrando la intensidad del uso del agua para las diferentes actividades productivas, población y distribución geográfica.

Cuadro 1.1 Disponibilidad Natural per cápita en el 2003 y 2025

No	Región Administrativa	Población a diciembre 2003 (habitantes)	Población a diciembre 2025 (habitantes)	Disponibilidad 2003 natural base media per-capita (m ³ /hab)	Disponibilidad 2025 natural base media per-capita (m ³ /hab)	Disponibilidad natural (hm ³)	PIB
I	Península de Baja California	3 310 463	5 309 564	1 336	833	4 423	228 573
II	Noroeste	2 538 405	3 296 909	3 236	2 491	8 214	158 716
III	Pacífico Norte	4 099 758	4 501 781	6 035	5 496	24 742	161 755
IV	Balsas	10 656 478	12 037 846	2 713	2 402	28 909	376 213
V	Pacífico Sur	4 166 434	4 406 673	7 963	7 529	33 177	115 669
VI	Río Bravo	10 360 478	14 088 088	1 324	974	13 718	814 228
VII	Cuencas Centrales del Norte	3 953 276	4 259 700	1 729	1 605	6 836	181 906
VIII	Lerma-Santiago-Pacífico	20 223 463	23 353 248	1 962	1 699	39 680	896 581
IX	Golfo Norte	4 983 479	5 559 466	4 685	4 200	23 347	206 331
X	Golfo Centro	9 670 224	10 407 032	10 604	9 853	102 546	306 464
XI	Frontera Sur	6 403 597	7 996 622	24 674	19 758	157 999	163 428
XII	Península de Yucatán	3 553 899	5 124 653	8 178	5 671	29 063	231 902
XIII	Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala	20 862 640	24 312 154	182	156	3 804	1 745 166
	Total Nacional	104 782 594	124 653 736	4 547	3 822	476 456	5 586 932

Fuente: Consejo Nacional de Población, 2003. Proyecciones de población 2000-2030. Subdirección General Técnica de la CNA

Pese a que 35% puede parecer un porcentaje bajo, representa un factor de riesgo para llegar a alcanzar un desarrollo sustentable, ya que en México 102 acuíferos se encuentran sobreexplotados (mayor extracción que recarga) de un total de 654 acuíferos. Es decir, que 16% del total de los acuíferos están sobreexplotados, tendiendo este porcentaje a aumentar, lo cual se puede ver en la tendencia desde 1975 en el número de acuíferos sobreexplotados: 32 en 1975, 36

³ Disponibilidad natural = + precipitación - evaporación + escurrimiento - infiltración.

en 1981, 80 en 1985, 97 en 2001 y 102 en el 2003. De los acuíferos sobreexplotados se extrae aproximadamente 57% del agua para todos los usos. Cabe señalar que en algunos estados de la República, el agua que se consume es extraída en su mayoría del subsuelo (INE, 1995).

Este trabajo se centra en la idea de que el agua subterránea es un factor indispensable en el desarrollo sustentable. Esto se toma en cuenta para fijar la meta de nuestra distribución de la población.

1.6 Aguas subterráneas

El agua, dulce o salada, juega un papel fundamental en todos los procesos físicos, químicos y biológicos del planeta, participando asimismo en todas las formas de alteración química y mecánica.

Para llegar al subsuelo, el agua se infiltra, en primer lugar, por fisuras y poros del suelo con una velocidad variable en función de la intensidad de la precipitación, de la cantidad y del diámetro de los poros. Las grietas por donde se infiltra el agua se van reduciendo hasta que desaparece a cierta profundidad en la llamada “capa impermeable”, ya que impide la penetración del agua.

En suelos donde las grietas son grandes (bien drenados), el agua llega rápidamente a la zona de impermeabilidad, creando una zona colmada de agua, los poros se llenan, no hasta arriba, sino hasta cierto nivel llamado freático, que varía todo el año dependiendo de las pérdidas y de las lluvias. Se pueden distinguir dos zonas: zona de aireación, que corresponde a la capa superior del suelo donde el agua no llena todos sus poros; y la zona de saturación, donde se encuentra la mayoría del agua subterránea. El agua en la zona de aireación se ve afectada principalmente por la fuerza de gravedad que la atrae hacia abajo y la capilaridad que la retiene. La mayor cantidad de agua dulce se encuentra en la zona de saturación o zona freática (97%), esto sin considerar los casquetes de hielo del planeta. Por lo tanto, el principal componente de nuestro abastecimiento de agua es la zona freática (es decir, los acuíferos) y merece una atención especial.

1.7 Disponibilidad y deterioro de acuíferos

Los acuíferos se forman por acumulaciones de agua en la zona freática y son utilizados para las actividades humanas. Las actividades que demandan considerables volúmenes de agua son la agricultura de riego, los grandes asentamientos humanos, los complejos industriales, entre otros.

Es importante considerar la presencia de acuíferos por dos razones: por un lado, son una fuente potencial para abastecimiento de agua para diversos usos en áreas con déficit de este recurso; y por el otro, los acuíferos con abatimiento o contaminados son un indicador de usos *inadecuados* o *excesivos* en la superficie.

Cuando los acuíferos se encuentran muy próximos a la superficie pueden incrementar notoriamente la potencialidad de los suelos para la actividad agrícola. La información sobre acuíferos de que se dispone en México es sumamente escasa, debido principalmente a la dificultad para su obtención. Los acuíferos son cuerpos de agua muy dinámicos, con alta variabilidad según la temporada y sujetos a las condiciones de porosidad y fisuras en la roca. Los inventarios son complicados de realizar, porque no es posible detectar los acuíferos en la superficie, hay que hacer perforaciones y sondeos geoelectrónicos.

El Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática y la Comisión Nacional del Agua son las únicas instituciones que ofrecen información sobre la ubicación de acuíferos y sus niveles de explotación con cobertura nacional.

Respecto a la disponibilidad y deterioro, los acuíferos se pueden clasificar de la manera siguiente:

- Acuíferos *subexplotados*: aquellos que por su capacidad o su tipo de explotación no presentan reducción considerable de su volumen. Este tipo de acuíferos es el que pudiera considerarse como *disponible*.
- Acuíferos *sobreexplotados*: aquellos que muestran un abatimiento considerable en su volumen original, provocado por acciones humanas. Estos casos denotan un proceso de deterioro por sobreexplotación del recurso, aunque con ciertas medidas de manejo podrían reintegrarse a la categoría de disponible.

- **Áreas de *recarga* y áreas *sin* acuíferos:** todas las zonas que no presentan acuíferos, así como las áreas que por sus condiciones geohidrológicas podrían tener acuíferos importantes, pero no manifiestan tenerlos.

2 El modelo multirregional de población

2.1 Introducción

El modelo multirregional de población tiene la propiedad que permite distinguir con precisión el origen y el destino de los flujos migratorios entre todas las regiones en que se haya dividido el territorio nacional.

Ya se mencionó el concepto flujo migratorio pero aún no se sabe que es migración, por lo que se precisará el concepto, ya que es la variable central del modelo propuesto. La migración alude a un movimiento territorial; sin embargo, no todos los desplazamientos son migraciones, es necesario hacer algunos acotamientos para entender mejor este fenómeno social, económico y demográfico.

Al hablar de movimientos lo primero en lo que se piensa es un traslado, como ir al trabajo, de compras o viajar por placer, pero la migración se limita al cambio de residencia, es decir, el lugar donde viven las personas. Pero, no todos los cambios de residencia son migraciones, sino sólo aquellos que impliquen el desplazamiento de una localidad hacia otra y que se recorra al menos cierta distancia para quedar fuera del área de influencia de un pueblo o de una ciudad.

Así, es frecuente que un cambio de actividad se vincule a la mudanza de domicilio. Ese cambio de actividad generalmente se asocia a un nuevo empleo en el lugar de destino (donde concluye el traslado), las más de las veces distinto al que se tenía en el lugar de origen (donde se inicia el movimiento territorial). Se entenderá que la migración implica la reanudación de la vida en un lugar nuevo y distinto (Partida, 2004).

En muchas ocasiones el cambio de residencia es sólo temporal y no es raro que los migrantes temporales se conviertan en los migrantes definitivos.

En el caso de ser temporal, pasan una temporada del año fuera de su domicilio buscando allegarse recursos complementarios o suplementarios de los que obtienen en su lugar de origen. En las migraciones definitivas, cambian de residencia de manera permanente.

Los casos expuestos en este trabajo tienen como fuente básica los datos del XII Censo General de Población y Vivienda 2000 y los datos aportados por el Consejo Nacional de Población.

Es oportuno aclarar que los datos del censo de 2000 sólo captan migrantes intermunicipales definitivos, por lo que se dejará a un lado los movimientos temporales.

Para que tenga sustento el modelo multirregional de población, debe descansar en los siguientes tres supuestos:

- Markoviano. Las propensiones a procrear, fallecer o a migrar entre las regiones o hacia otro país sólo dependen del lugar de residencia al inicio de un intervalo de tiempo y no de las situaciones previas (regiones de residencia anteriores) en que se haya encontrado la población.
- Homogeneidad. Esas propensiones son iguales para todos los habitantes de una misma región al inicio de un intervalo de tiempo.
- Independencia estocástica. La propensión a procrear o a fallecer no depende de la propensión a migrar, pero la natalidad y la mortalidad sí pueden ser diferentes entre las regiones del sistema.

Las anteriores suposiciones se adoptan, por un lado, debido a la falta de datos que permitan evitarlos y, por otro, porque simplifican los procedimientos para aplicar el modelo multirregional.

El supuesto de homogeneidad está presente en casi todo cálculo demográfico, pues cuando se calcula una tasa, una probabilidad o una proporción, generalmente no se distingue a las personas que realmente están expuestas a experimentar un evento, de aquellas que no lo están. En el caso del modelo multirregional, se supone que los habitantes de una misma región son grupos homogéneos.

El supuesto markoviano, también presente en gran parte de la teoría demográfica y que es equivalente a suponer que las personas olvidan su pasado, se adopta por la escasez de los datos que permiten reconstruir las historias migratorias de las personas.

La independencia estocástica se adopta porque es difícil obtener información que de cuenta del doble movimiento migración y muerte en un intervalo de tiempo y, sobre todo, es complicado probar que el riesgo de morir es distinto entre migrantes y no migrantes.

A partir de estos tres supuestos se construye el modelo multirregional en las siguientes líneas.

2.2 El operador de crecimiento y distribución espacial de la población ⁴

La ecuación compensadora o ecuación del balance demográfico es la base de las proyecciones de la población⁵. Esta ecuación establece que la variación de una población a un tiempo y periodo determinado se debe a la diferencia de nacimientos y defunciones y a la resta de inmigrantes y emigrantes.

Para escribir esta ecuación en forma abstracta se recurre al álgebra para expresarla de la siguiente manera: $P(t)$ representa a la población al momento t , y $B(t+h)$, $D(t+h)$, $I(t+h)$ y $E(t+h)$ a los nacimientos, las defunciones, los inmigrantes y los emigrantes, respectivamente, que tuvieron lugar entre los momentos t y $t+h$, con h medido en años, por lo que la ecuación compensadora será:

$$P(t+h) = P(t) + \overbrace{B(t,t+h) - D(t,t+h)}^{\text{Crecimiento natural}} + \overbrace{I(t,t+h) - E(t,t+h)}^{\substack{\text{Crecimiento social} \\ \text{o} \\ \text{Migración neta}}} \quad (2.1)$$

Al exceso de los nacimientos sobre las defunciones suele llamársele crecimiento natural y a la resta de inmigrantes menos emigrantes se le conoce como migración neta o crecimiento social como se ve del lado derecho en (2.1).

El modelo que se expondrá, se interesará sólo en la migración interna, es decir, la que ocurre dentro del país y no tanto en la migración internacional.

Por tanto se propone separar la migración interna de la internacional en (2.1), para lograrlo se compacta la segunda como migración neta y se tiene que:

$$P(t+h) = P(t) + B(t,t+h) - D(t,t+h) + I(t,t+h) - E(t,t+h) + N(t,t+h) \quad (2.2)$$

donde ahora I y E se refieren a los inmigrantes internos y N a la migración neta internacional.

En el Cuadro 2.1 se ejemplifica la ecuación compensadora para dos regiones (una es la zona metropolitana del Valle de México conformada por el Distrito Federal y el Estado de México, y la otra por el resto del país, a las que se denomina metropolitana y resto,

⁴ El modelo está tomado de Partida (2004).

⁵ Y también es la base sobre la que descansa la evaluación, estimación y la corrección de los datos demográficos.

respectivamente) seleccionadas durante el periodo 1995-2000 y según datos del XII CENSO del 2000 y estimaciones del CONAPO.

Cuadro 2.1 Población media y componentes del crecimiento demográfico por regiones 1995-2000

Región	Población 1995	Nacimientos	Defunciones	Inmigrantes interregionales	Emigrantes interregionales	Migración neta internacional	Población 2000
Pais	93 613 039	11 130 071	2 276 224	1 917 861	1 917 861	-1 897 623	100 569 263
Metropolitana	20 935 763	2 180 644	468 560	476 696	653 032	- 154 023	22 317 488
Resto	72 677 276	8 949 427	1 807 664	653 032	476 696	-1 743 600	78 251 775

Fuente: Estimaciones del CONAPO, junio de 2003.

Ahora se considerará un sistema de n regiones mutuamente excluyentes y exhaustivas⁶.

Sea $P_i(t)$ la población en la región i al inicio del año t , y $CNN_i(t, t+h)$ la suma del crecimiento natural y la migración neta internacional e $I_i(t+h)$ y $E_i(t+h)$ los inmigrantes y emigrantes interregionales, respectivamente, ocurridos durante el intervalo genérico de h años.

Entonces, (2.2) se puede escribir para cada una de las i regiones como:

$$P_i(t+h) = P_i(t) + CNN_i(t, t+h) + I_i(t, t+h) - E_i(t, t+h) \quad (2.3)$$

con

$$CNN_i(t, t+h) = B_i(t, t+h) - D_i(t, t+h) + N_i(t, t+h) \quad (2.4)$$

Así, por ejemplo, para la región resto - dígame la 2- con base en los datos del Cuadro 2.1 se tiene:

$$CNN_2(1995, 2000) = 8949427 - 1807664 - 1743600 = 5398163$$

Cuadro 2.2 Migración interregional, 1995,2000

Región de Residencia en 2000	Región de residencia 1995		Inmigrantes
	Metropolitana	Resto	
Metropolitana	0	476 696	476 696
Resto	653 032	0	653 032
Emigrantes	653 032	476 696	1 129 728

Fuente: Elaboración propia, con datos del Cuadro 2.1

⁶ Que no comparten el territorio en común para cualquier par de ellas y que en conjunto cubren íntegro el territorio nacional.

Se descompone la migración interna en flujos específicos interregionales, es decir, saber de qué regiones vienen (origen) y las regiones a las que llegan (destino). Para identificar esto, se denota por $O_{ij}(t, t+h)$ a las personas que migraron de la región i (origen) a la región j (destino) en el periodo genérico de h años. De esta manera se sabe que los inmigrantes y los emigrantes internos son:

$$I_i(t, t+h) = \sum_{j \neq i}^n O_{ji}(t, t+h) \text{ y } E_i(t, t+h) = \sum_{j \neq i}^n O_{ij}(t, t+h) \quad (2.5)$$

con lo cual, se puede escribir (2.3) como

$$P_i(t, t+h) = P_i(t) + CNN_i(t, t+h) + \sum_{j \neq i}^n O_{ji}(t, t+h) - \sum_{j \neq i}^n O_{ij}(t, t+h) \quad (2.6)$$

En el Cuadro 2.2 se presentan los flujos migratorios durante el periodo 1995-2000 para nuestro sistema dos regiones.

El siguiente objetivo es mezclar la dinámica demográfica del Cuadro 2.1 con los desplazamientos interregionales del Cuadro 2.2, es decir, incorporar los tres fenómenos demográficos (natalidad, mortalidad y migración) en el modelo de proyección, pero sin perder de vista el origen y el destino de la migración interna.

Para ello, se coloca la población total de cada región (columna) del Cuadro 2.2 como la población de inicio del tiempo del Cuadro 2.1 y se colocará en la diagonal principal, del nuevo arreglo, el número de personas necesario para satisfacer los nuevos marginales renglón⁷, tal y como se muestra en la matriz superior del Cuadro 2.3 .

Cuadro 2.3 Operador de crecimiento y distribución regional de la población, 1995-2000

Región de Residencia en 2000	Región de residencia 1995		Total
	Metropolitana	Resto	
Personas			
Metropolitana	21 840 792	476 696	22 317 488
Resto	653 032	77 598 743	78 251 775
Total*	20 935 763	72 677 276	
Proporciones			
Metropolitana	1.04323	0.00656	
Resto	0.03119	1.06772	
Total	1.07442	1.07428	

⁷ Es decir, la población final quitándole los migrantes interregionales.

* Residentes en la región en 1995

Fuente: Elaborado con base en los cuadros 2.1 y 2.2

Por ejemplo, para la región metropolitana, dado que el total de inmigrantes es 476,696, entonces la cantidad que debe incorporarse a la diagonal principal es $22,317,488 - 476,696 = 21,840,792$, la cual se puede ubicar en el panel superior del Cuadro 2.3.

Lo que se ha hecho es pasar el total de inmigrantes al lado izquierdo de la ecuación (2.6); así ahora se tiene la población inicial más la migración internacional menos los emigrantes, es decir:

$$O_{ii}(t, t+h) = P_i(t+h) - \sum_{j \neq i}^n O_{ji}(t, t+h) = P_i(t) + CNN_i(t, t+h) - \sum_{j \neq i}^n O_{yj}(t, t+h) \quad (2.7)$$

El término $P_i(t) - \sum_{j \neq i}^n O_{yj}(t, t+h)$ en el lado derecho de la segunda igualdad aparentemente son los “no migrantes” durante el periodo 1995-2000 en el ejemplo que se está manejando.

Se dice aparentemente, porque las cifras censales del Cuadro 2.2 se refieren a las personas que, habiendo sobrevivido a la muerte y a la migración internacional a lo largo del quinquenio, se encontraban presentes al momento del censo de 2000 en la república mexicana. Pero esto no se requiere, ya que el modelo de proyección puede trabajar con la situación al final del periodo, por los supuestos vistos al principio, como corresponde a cada uno de los renglones de la matriz superior del Cuadro 2.3.

Las migraciones que duran menos de cinco años como no pueden ser cuantificadas por los medios actuales de medición, se supondrá que no son realmente migraciones para fines prácticos y no afectan el cálculo que estará basado en quinquenios (estos movimientos podrían ser llamados migraciones fantasmas).

En los distintos modelos diseñados para proyectar la población se prefiere más representar el cambio demográfico en términos relativos (tasas, probabilidades o proporciones) que mediante datos absolutos (decesos, nacimientos y migraciones), ya que ha sido posible sistematizar y predecir mejor los fenómenos demográficos con medidas relativas. Ahora se definirá entonces el factor o proporción de crecimiento como:

$$g_{ij}(t, t+h) = \frac{O_{ij}(t, t+h)}{P_i(t)} \quad (2.8)$$

es decir, la contribución que la población en la región i , al inicio del intervalo de h años, hace al crecimiento de los habitantes de la región j durante el periodo.

En el último renglón de la matriz superior del Cuadro 2.3 se incorpora la población de cada una de las regiones en 1995. Así, los factores de crecimiento se obtienen simplemente dividiendo cada uno de los renglones del arreglo entre la población total al inicio del intervalo.

Por ejemplo, la contribución de la región metropolitana al crecimiento de la región resto durante 1995-2000 fue:

$$g_{12}(1995,2000) = \frac{O_{12}(1995,2000)}{P_1(1995,2000)} = \frac{653032}{20935763} = 0.03119$$

donde se ha asignado el número 1 a la región metropolitana y el 2 a la resto. Se puede corroborar el resultado en la matriz inferior del Cuadro 2.3, donde además se incluyen los valores de todos los factores de crecimiento para nuestro sistema de dos regiones.

Por (2.7) se tiene:

$$g_{ii}(t, t+h) = 1 + cni_i(t, t+h) - \sum_{j \neq i}^n g_{ji}(t, t+h) \quad (2.9)$$

donde $cni_i(t, t+h)$ es la proporción de crecimiento natural y migración neta internacional.

Si se substituye la ecuación (2.7) en (2.6) se obtiene:

$$P_i(t+h) = \sum_{j=1}^n O_{ji}(t, t+h)$$

e incorporando la definición (2.8):

$$P_i(t+h) = \sum_{j=1}^n g_{ji}(t, t+h) P_j(t) \quad (2.10)$$

Este sistema de n ecuaciones lineales —una para cada valor de i en esta última igualdad— se puede escribir de manera sintética mediante el álgebra de matrices. Para ello se define el vector de población como:

$$\bar{P}(t) = \begin{pmatrix} P_1(t) \\ P_2(t) \\ \vdots \\ P_n(t) \end{pmatrix} \quad (2.11)$$

y la matriz de factores de crecimiento:

$$G(t, t+h) = \begin{pmatrix} g_{11}(t, t+h) & g_{21}(t, t+h) & \cdots & g_{n1}(t, t+h) \\ g_{12}(t, t+h) & g_{22}(t, t+h) & \cdots & g_{n2}(t, t+h) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ g_{1n}(t, t+h) & g_{2n}(t, t+h) & \cdots & g_{nn}(t, t+h) \end{pmatrix} \quad (2.12)$$

la cual recibe el nombre de operador de crecimiento y distribución espacial de la población (Rogers, 1968: 35). De esta forma, se puede escribir el sistema de ecuaciones (2.10) como la operación matricial:

$$\bar{P}(t+h) = G(t, t+h)\bar{P}(t) \quad (2.13)$$

La matriz G de nuestro ejemplo de dos regiones se vería como en el Cuadro 2.4.

Cuadro 2.4 Operador de crecimiento y distribución de la población del periodo 1995-2000

Región de Destino	Región de origen	
	Metropolitana	Resto
<i>Operador</i>		
Metropolitana	1.04323	0.00656
Resto	0.03119	1.06772

Fuente: Elaborado con base en los cuadros 2.1 y 2.2

Este resultado se puede corroborar con los datos para el quinquenio 1995-2000:

$$P(2000) = G(1995, 2000)P(1995)$$

es decir

$$\begin{pmatrix} 22\ 317\ 488 \\ 78\ 251\ 775 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1.04323 & 0.00656 \\ 0.03119 & 1.06772 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 20\ 935\ 763 \\ 72\ 677\ 276 \end{pmatrix}$$

Si se supone que las condiciones demográficas del intervalo de t a $t+h$ prevalecen en el siguiente periodo de h años, es decir, de $t+h$ a $t+2h$:

$$P(t+2h) = G(t, t+h)P(t+h)$$

substituyendo $P(t+h)$ por su equivalente en (2.13)

$$\bar{P}(t+2h) = G(t, t+h)G(t, t+h)\bar{P}(t) = G(t, t+h)^2 \bar{P}(t)$$

y si se supone que prevalecen invariables durante k periodos de h años:

$$\bar{P}(t+kh) = G(t, t+h)^k \bar{P}(t) \quad (2.14)$$

En el ejemplo, si se supone que las condiciones demográficas del último quinquenio del siglo XX prevalecen durante el primer lustro del presente siglo, la población de las dos regiones a mediados de 2005 sería:

$$\begin{pmatrix} 23\,795\,507 \\ 84\,246\,860 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1.04323 & 0.00656 \\ 0.03119 & 1.06772 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 22\,317\,488 \\ 78\,251\,775 \end{pmatrix}$$

estos resultados se pueden ver en el segundo renglón del panel superior del Cuadro 2.5. El mismo resultado se puede obtener si se aplica (2.14) de 1995 a 2005.

En efecto, el operador para el periodo de diez años es:

$$\begin{pmatrix} 1.04323 & 0.00656 \\ 0.03119 & 1.06772 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1.04323 & 0.00656 \\ 0.03119 & 1.06772 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1.08853 & 0.01385 \\ 0.06584 & 1.14022 \end{pmatrix}$$

de donde

$$\begin{pmatrix} 23\,795\,507 \\ 84\,246\,860 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1.08853 & 0.01385 \\ 0.06584 & 1.14022 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 20\,935\,763 \\ 72\,677\,276 \end{pmatrix}$$

es decir, que se ha aplicado la ecuación (2.14) con $t=1995$, $h=5$ y $k=2$. En el Cuadro 2.5 se incluye además la población que residiría en cada una de las dos regiones hasta 2030, si la incidencia de los fenómenos demográficos se mantuviera constante a lo largo de las primeras tres décadas del presente siglo.

Cuadro 2.5 Población a mitad del año en las cuatro regiones manteniendo constantes las variables demográficas, 2000-2030

Año	Metropolitana	Resto	Total
<i>Población</i>			
2000	22 317 488	78 251 775	100 569 263
2005	23 795 507	84 246 860	108 042 367
2010	25 376 741	90 694 015	116 070 756
2015	27 068 618	97 627 072	124 695 690
2020	28 879 107	105 082 386	133 961 493
2025	30 816 761	113 099 023	143 915 784
2030	32 890 760	121 718 960	154 609 720
<i>Distribución territorial (%)</i>			
2000	22.2	77.8	100.0
2005	22.0	78.0	100.0
2010	21.9	78.1	100.0
2015	21.7	78.3	100.0
2020	21.6	78.4	100.0
2025	21.4	78.6	100.0
2030	21.3	78.7	100.0

Fuente: Elaborado con base en los datos de los cuadros 2.1 y 2.3

La ecuación (2.14) nos dice que, si se mantienen invariables las condiciones demográficas, se puede obtener la población en las n regiones después de varios (kh) años con tan sólo elevar a la potencia (k) conveniente el operador de crecimiento y distribución espacial de la población.

En las proyecciones vigentes del CONAPO se suponen invariables las tasas de migración interna; no obstante, se prevé que las condiciones de natalidad, mortalidad y migración internacional continúen modificándose de la misma manera que en el pasado. ¿Cómo se pueden incorporar esos cambios en el operador de crecimiento y distribución espacial de la población? Esto se expondrá a continuación.

2.3 Equivalencia entre tasas y proporciones

Una tasa, en Demografía, se define como el cociente que resulta de dividir los eventos ocurridos en un intervalo de tiempo entre los años-persona vividos por la población durante el mismo periodo (Partida, 2004: 28). Para fines prácticos, los eventos pueden ser defunciones, nacimientos o migraciones e incluso los componentes del crecimiento demográfico (natural, social y total).

Se denotará por $V(t, t+h)$ los eventos ocurridos durante el periodo genérico de h años y por $K(t, t+h)$ los años-persona vividos por la población; entonces, la tasa de eventualidad es:

$$v(t, t+h) = \frac{V(t, t+h)}{K(t, t+h)} \quad (2.15)$$

La definición estrictamente matemática de los años-persona vividos (de manera continua) es:

$$K(t, t+h) = \int_t^{t+h} P(y) dy \quad (2.16)$$

La construcción de esta igualdad es la siguiente: sea dy un pequeño intervalo de tiempo medido en años (quizás una milésima de segundo aún es grande.), tal que el monto de la población $P(y)$ no cambia durante ese periodo. Dado que todos y cada uno de los $P(y)$ individuos

vive dy años, en conjunto viven $P(y)$ dy años en ese pequeño intervalo de tiempo, es claro que la integral en (2.16) equivale al tiempo vivido por la población entre los momentos t y $t + h$.

Por el teorema del valor medio para las integrales, existe ξ —el valor medio— tal que:

$$K(t, t+h) = \int_0^h P(t+y) dy = P(t+\xi)(h-0) = hP(t+\xi) \quad (2.17)$$

con:

$$0 \leq \xi \leq h \quad y \quad \min_{0 \leq y \leq h} \{P(t+y)\} \leq P(t+\xi) \leq \max_{0 \leq y \leq h} \{P(t+y)\} \quad (2.18)$$

Sustituyendo (2.17) en (2.15)

$$v(t, t+h) = \frac{V(t, t+h)}{K(t, t+h)} = \frac{V(t, t+h)}{hP(t+\xi)} = \frac{V(t, t+h)}{h} \frac{1}{P(t+\xi)} \quad (2.19)$$

es decir que la tasa es un promedio anual de eventos per-cápita, independientemente de la longitud de tiempo h .

Si se toma el límite cuando h tiende a cero:

$$v(t) = \lim_{h \rightarrow 0} v(t, t+h) = \frac{\lim_{h \rightarrow 0} \frac{V(t, t+h)}{h}}{P(t+\xi)} \quad (2.20)$$

donde $v(t)$ recibe el nombre de tasa instantánea o fuerza de eventualidad. El límite en el numerador del lado derecho de la segunda igualdad (2.20) denota la densidad anual de eventos al tiempo t , dígase $V(t)$.

La proporción $g_{ij}(t, t+h)$ es también un promedio per cápita, pero para un periodo de h años. Si se divide entre la longitud h del intervalo, se tiene un promedio anual per cápita, es decir, similar a una tasa de migración; lo que se desea es convertir el promedio per cápita en una tasa instantánea por lo que se tomará el límite cuando h tiende a cero, así se tendrá la tasa instantánea o fuerza de migración de la región i hacia la región j :

$$\mu_{ij}(t) = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{g_{ij}(t, t+h)}{h} \quad (2.21)$$

donde, por (2.9):

$$\mu_{ii}(t) = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{g_{ii}(t, t+h)}{h} = \eta_i(t) - \sum_{j \neq i}^n \mu_{ij}(t) \quad (2.22)$$

con $\eta_i(t) = \lim_{h \rightarrow 0} cm_i(t, t+h)/h$ la suma de las tasas instantáneas de crecimiento natural y migración neta internacional.

Para un pequeño intervalo de tiempo dy los años persona vividos en la región i son $P_i(t)dy$, con lo cual, se puede escribir una ecuación equivalente a (2.6) como:

$$P_i(t+dy) = P_i(t) + \eta_i(t)P_i(t)dy + \sum_{j \neq i}^n \mu_{ji}(t)P_j(t)dy - \sum_{j \neq i}^n \mu_{ij}(t)P_i(t)dy \quad (2.23)$$

o bien,

$$\frac{d}{dt} P_i(t) = \frac{P_i(t+dy) - P_i(t)}{dy} = \eta_i(t)P_i(t) + \sum_{j \neq i}^n \mu_{ji}(t)P_j(t) - \sum_{j \neq i}^n \mu_{ij}(t)P_i(t) \quad (2.24)$$

es decir, la ecuación diferencial de Chapman y Kolmogorov (Namboodiri, 1991: 138).

Si se define la matriz de tasas instantáneas como:

$$u(t) = \begin{pmatrix} \eta_1(t) - \sum_{j \neq 1}^n \mu_{1j}(t) & \mu_{21}(t) & \cdots & \mu_{n1}(t) \\ \mu_{12}(t) & \eta_2(t) - \sum_{j \neq 2}^n \mu_{2j}(t) & \cdots & \mu_{n2}(t) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mu_{1n}(t) & \mu_{2n}(t) & \cdots & \eta_n(t) - \sum_{j \neq n}^n \mu_{nj}(t) \end{pmatrix} \quad (2.25)$$

entonces, el sistema de n ecuaciones diferenciales en (2.24) se puede escribir como:

$$\frac{d}{dt} \bar{P}(t) = u(t) \bar{P}(t) \quad (2.26)$$

Si se integra en ambos lados de esta última igualdad:

$$\bar{P}(t+h) - \bar{P}(t) = \int_0^h u(t+y) \bar{P}(t+y) dy \quad (2.27)$$

o bien,

$$\bar{P}(t+h) = \bar{P}(t) + \int_0^h u(t+y) \bar{P}(t+y) dy \quad (2.28)$$

Por el teorema del valor medio ponderado para integrales (o teorema de las medias pesadas) existen tasas de eventualidad $M_{ij}(t, t+h)$ tales que:

$$\min_{0 \leq y \leq h} \mu_{ij}(t+y) \leq M_{ij}(t, t+h) \leq \max_{0 \leq y \leq h} \mu_{ij}(t+y) \quad \text{para } i, j = 1, 2, \dots, n \quad (2.29)$$

con lo cual, (2.28) se puede escribir como:

$$\bar{P}(t+h) = \bar{P}(t) + M(t, t+y) \int_0^h \bar{P}(t+y) dy \quad (2.30)$$

donde la matriz M tiene la misma estructura que u en (2.25):

$$M(t, t+h) = \begin{pmatrix} R_1(t, t+h) - \sum_{j=1}^n M_{1j}(t, t+h) & M_{21}(t, t+h) & \cdots & M_{n1}(t, t+h) \\ M_{12}(t, t+h) & R_2(t, t+h) - \sum_{j=2}^n M_{2j}(t, t+h) & \cdots & M_{n2}(t, t+h) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ M_{1n}(t, t+h) & M_{2n}(t, t+h) & \cdots & R_n(t, t+h) - \sum_{j=n}^n M_{nj}(t, t+h) \end{pmatrix} \quad (2.31)$$

Así, el sistema de ecuaciones diferenciales (2.26) se puede escribir en forma matricial como:

$$\frac{d}{dt} \bar{P}(t) = M(t, t+h) \bar{P}(t) \quad (2.32)$$

cuya solución es (Nour y Suchindran, 1984: 326):

$$\bar{P}(t+h) = e^{hM(t, t+h)} \bar{P}(t) \quad (2.33)$$

y por (2.13) se tiene que

$$G(t, t+h) = e^{hM(t, t+h)} \quad (2.34)$$

es decir, una ecuación matricial que relaciona el operador de crecimiento y distribución espacial de población con las tasas de crecimiento natural y migración neta internacional (R_i) y las tasas de migración interregional (M_{ij}). Si se toma el logaritmo natural en ambos lados de (2.34):

$$M(t, t+h) = \frac{1}{h} \ln \{G(t, t+h)\} \quad (2.35)$$

es una ecuación que nos permite obtener las tasas de eventualidad a partir del operador de crecimiento y distribución espacial de la población.

La utilidad de la ecuación (2.35) es clara, ya que en la matriz M se puede incorporar las previsiones del CONAPO. En efecto, si se conservan invariables las tasas de migración interna (las celdas fuera de la diagonal principal y las sumatorias dentro de ella) y en cada quinquenio se reemplaza la componente del crecimiento natural y la migración neta internacional, se obtienen operadores de crecimiento y distribución espacial para cada lustro de la proyección.

Para obtener la exponencial y el logaritmo natural de una matriz se puede usar una expansión en serie de potencias similar al caso de escalares, es decir (Gantmacher, 1959: 113):

$$e^A = \sum_{i=0}^{\infty} \frac{1}{i!} A^i = I + A + \frac{1}{2!} A^2 + \frac{1}{3!} A^3 + \dots$$

$$\ln \{A\} = \sum_{i=1}^{\infty} \frac{(-1)^{i-1}}{i} (A-I)^i = (A-I) - \frac{1}{2} (A-I)^2 + \frac{1}{3} (A-I)^3 \pm \dots \quad (2.36)$$

Ahora que se sabe como expresar las tasas por (2.35), evaluemos el operador de crecimiento del ejemplo en los años 1995-2000:

$$M(1995, 2000) = \begin{pmatrix} 0.00845 & 0.00124 \\ 0.00591 & 0.01309 \end{pmatrix}$$

Las tasas de migración son los números fuera de la diagonal y se presentan en el Cuadro 2.6 .

Cuadro 2.6 Tasas de migración interregional, 1995,2000

Región de Residencia en 2000	Región de residencia 1995	
	Metropolitana	Resto
Metropolitana		0.00124
Resto	0.00591	

Fuente: Elaborado con base en los datos del cuadro 2.3

Si se ve la construcción de la matriz (2.31), por columnas se notará que en la diagonal se encuentra la suma inversa de los demás elementos de la columna más las R_i que son la tasa de crecimiento natural y la migración neta. De este modo, de acuerdo con la aplicación de (2.35) al periodo 1995-2000, la tasa agregada al crecimiento natural y migración neta internacional para la región resto es $R_2 = 0.00124 + 0.1309 = 0.01433$. Las tasas de crecimiento natural y migración neta internacional para las dos regiones se reproducen en el Cuadro 2.7

Ahora, para incorporar ambos cambios en la matriz M , ésta se descompondrá como la suma de dos matrices, la primera una matriz diagonal que contiene el agregado del crecimiento natural y la migración neta internacional como:

$$R(t, t+h) = \begin{pmatrix} R_1(t, t+h) & 0 & \dots & 0 \\ 0 & R_2(t, t+h) & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & \dots & 0 & R_n(t, t+h) \end{pmatrix}$$

y la otra conteniendo sólo las tasas de migración:

$$\widehat{M}(1995,2000) = \begin{pmatrix} -\sum_{j \neq 1}^n M_{1j}(t,t+h) & M_{21}(t,t+h) & \cdots & M_{n1}(t,t+h) \\ M_{12}(t,t+h) & -\sum_{j \neq 2}^n M_{2j}(t,t+h) & \cdots & M_{n2}(t,t+h) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ M_{1n}(t,t+h) & M_{2n}(t,t+h) & \cdots & -\sum_{j \neq n}^n M_{nj}(t,t+h) \end{pmatrix}$$

donde el símbolo “^” sobre M es para hacer resaltar que la matriz sólo contiene las tasas de migración. Cabe hacer notar que las columnas de esta matriz suman cero; si se aplica (2.35) se obtiene el operador \widehat{G} y es tal que sus columnas suman uno, es decir, que sólo distribuye la población entre las regiones pero no agrega individuos al conjunto de las n regiones.

De esta manera podemos escribir la matriz de tasas como:

$$M(t,t+h) = R(t,t+h) + \widehat{M}(t,t+h) \quad (2.37)$$

Las proyecciones vigentes del CONAPO (CONAPO, 2003) suponen que las tasas de migración interna del lustro 1995-2000 se mantienen constantes durante tres décadas más, pero que la fecundidad, la mortalidad y la migración neta internacional se modificarán en el futuro. Si se toma esta consideración (2.37) se deberá escribir:

$$M(t,t+h) = R(t,t+h) + \widehat{M}(1995,2000) \quad (2.38)$$

Las tasas para la matriz R , es decir las del crecimiento natural y migración neta internacional, serán extraídas de las proyecciones vigentes del CONAPO, estas están en el Cuadro 2.7.

Entonces $\widehat{M}(1995,2000)$ se vería como:

$$\widehat{M}(1995,2000) = \begin{pmatrix} -0.00591 & 0.00124 \\ 0.00591 & -0.00124 \end{pmatrix}$$

Cuadro 2.7 Suma de las tasas anuales de crecimiento natural y migración neta internacional para las dos regiones, 1995-2000

Periodo	Metropolitana	Resto	Total
1995-2000	0.01441	0.01431	0.01434
2000-2005	0.01163	0.01129	0.01137
2005-2010	0.01026	0.00925	0.00947
2010-2015	0.00904	0.00810	0.00830
2015-2020	0.00782	0.00709	0.00725
2020-2025	0.00646	0.00590	0.00603
2025-2030	0.00494	0.00447	0.00457

Fuente: Proyecciones del CONAPO, diciembre de 2002

Por ejemplo, para el quinquenio 2015-2020, la matriz R sería:

$$R(2015,2020) = \begin{pmatrix} 0.00782 & 0 \\ 0 & 0.00709 \end{pmatrix}$$

entonces, por (2.38):

$$M(2015,2020) = \begin{pmatrix} 0.00782 - 0.00591 & 0.00124 \\ 0.00591 & 0.00709 - 0.00124 \end{pmatrix}$$

Así que aplicando (2.34) y utilizando (2.36) se obtiene el operador de crecimiento y distribución espacial de la población para el periodo 2015-2020:

$$G(2015,2020) = \begin{pmatrix} 1.00968 & 0.00634 \\ 0.03014 & 1.02975 \end{pmatrix}$$

De la forma como se mostró para el quinquenio 2015-2020 se calcula la G para los otros cinco quinquenios y aplicando sucesivamente la ecuación (2.13) se obtiene la proyección de las regiones como se muestra en el Cuadro 2.8.

Se puede ver que las diferencias entre las distribuciones territorial de los Cuadro 2.5 y Cuadro 2.8 son mínimas; a pesar de esto, es importante incorporar las tasas de crecimiento natural y migración internacional, ya que le da mayor "realismo" a las proyecciones.

Cuadro 2.8 Población a mitad del año manteniendo constantes las tasas de migración interregional y adoptando las de crecimiento natural y migración neta internacional del CONAPO, 2000-2030

Año	Metropolitana	Resto	Total
Población			
2000	22 317 488	78 251 775	100 569 263
2005	23 473 100	82 978 427	106 451 527
2010	24 523 348	87 089 851	111 613 199
2015	25 466 756	90 876 815	116 343 571
2020	26 289 033	94 348 136	120 637 169
2025	26 957 983	97 369 104	124 327 087
2030	27 438 870	99 763 660	127 202 530
Distribución territorial (%)			
2000	22.2	77.8	100.0
2005	22.1	77.9	100.0
2010	22.0	78.0	100.0
2015	21.9	78.1	100.0
2020	21.8	78.2	100.0
2025	21.7	78.3	100.0
2030	21.6	78.4	100.0

Fuente: Elaborado con base en los datos de los cuadros 2.1, 2.6 y 2.7

La atribución que se les da a las tasas en el Cuadro 2.7, realmente es algo muy atrevido debido a que no se pueden hacer predicciones de algo tan incierto como el comportamiento humano, pero se pueden aceptar como aproximaciones e ir las mejorando según nuevas evidencias en el comportamiento demográfico de la población.

2.4 Cambios en las tasas de migración para alcanzar una distribución deseada de la población

Si se comparan los Cuadro 2.5 y el Cuadro 2.8 se notará que las cifras apenas difieren. Esto nos hace notar que, modificando las tasas de crecimiento natural y migración neta, no se altera la estructura de la distribución; así, lo siguiente es modificar la ocurrencia de la migración interregional.

Si se aplica (2.13) para un segundo periodo de h años:

$$\bar{P}(t+2h) = G(t+h, t+2h)\bar{P}(t+h) = G(t+h, t+2h)G(t, t+h)\bar{P}(t) \quad (2.39)$$

y si la proyección abarca k periodos de h años cada uno, entonces se puede escribir (2.13) al seguir el razonamiento anterior como:

$$\bar{P}(t+kh) = G(t, t+kh) \bar{P}(t) = \prod_{i=1}^k G(t+[k-i]h, t+[k-(i-1)]h) \bar{P}(t) \quad (2.40)$$

con

$$\prod_{i=1}^k G(t+[k-i]h, t+[k-(i-1)]h) = G(t+[k-1]h, t+kh) G(t+[k-2]h, t+[k-1]h) \cdots G(t+h, t+2h) G(t, t+h) \quad (2.41)$$

Si se sustituye (2.41) en (2.34) y por la segunda igualdad de (2.40) tiene:

$$G(t, t+kh) = \prod_{i=1}^k G(t+[k-i]h, t+[k-(i-1)]h) = \exp \left\{ h \sum_{q=1}^k M(t+[k-i]h, t+[k-(i-1)]h) \right\}$$

e introduciendo (2.38)

$$G(t, t+kh) = \exp \left\{ h \sum_{q=1}^k R(t+[k-i]h, t+[k-(i-1)]h) + h \sum_{q=1}^k \widehat{M}(t+[k-i]h, t+[k-(i-1)]h) \right\} \quad (2.42)$$

Cuando se introdujo (2.38) se tomó el supuesto de las tasas de migración no cambian durante el horizonte de la proyección, para el ejemplo, (2.42) se escribe como:

$$G(2000, 2030) = \exp \left\{ 5 \sum_{q=1}^6 \left\{ R(2000+[6-i]5, 2000+[6-(i-1)]5) \right\} + 30 \widehat{M}(1995, 2000) \right\}$$

entonces, por datos de los Cuadro 2.5 y Cuadro 2.6.

$$G(2000, 2030) = \exp \begin{Bmatrix} 0.01468 & 0.00745 \\ 0.03546 & 0.03864 \end{Bmatrix} = \begin{pmatrix} 1.07989 & 0.04268 \\ 0.20297 & 1.21699 \end{pmatrix}$$

y aplicando (2.40):

$$\begin{pmatrix} 27 & 438 & 870 \\ 99 & 763 & 660 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1.07991 & 0.04312 \\ 0.20096 & 1.21696 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 22 & 317 & 488 \\ 78 & 251 & 775 \end{pmatrix}$$

cifras que coinciden con el Cuadro 2.8.

Por la segunda igualdad de (2.40) y por (2.42) se separan las sumas y se invierte el orden y el resultado no se altera:

$$G(t, t+kh) = \exp\left\{hk\widehat{M}(1995, 2000) + h\sum_{i=1}^k \left\{R(t+[k-i]h, t+[k-(i-1)]h)\right\}\right\} \quad (2.43)$$

por las propiedades de la exponencial se puede escribir (2.43) como⁸:

$$G(t, t+kh) = \exp\left\{hk\widehat{M}(1995, 2000)\right\} \exp\left\{h\sum_{i=1}^k \left\{R(t+[k-i]h, t+[k-(i-1)]h)\right\}\right\}$$

Ahora definamos el operador de crecimiento natural y el de migración neta como:

$$G_R(t, t+kh) = \exp\left\{h\sum_{i=1}^k \left\{R(t+[k-i]h, t+[k-(i-1)]h)\right\}\right\} = \begin{pmatrix} G_{R_1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & G_{R_2} & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & \dots & 0 & G_{R_n} \end{pmatrix} \quad (2.44)$$

$$\widehat{G}(t, t+kh) = \exp\left\{hk\widehat{M}\right\} = \begin{pmatrix} \widehat{G}_{11} & \widehat{G}_{21} & \dots & \widehat{G}_{n1} \\ \widehat{G}_{12} & \widehat{G}_{22} & \dots & \widehat{G}_{n2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \widehat{G}_{1n} & \widehat{G}_{2n} & \dots & \widehat{G}_{nn} \end{pmatrix} \quad (2.45)$$

Reemplazando en (2.40) se tiene:

$$\overline{P}(t, t+kh) = \widehat{G}(t, t+kh)G_R(t, t+kh)\overline{P}(t)$$

o bien,

$$\overline{P}(t, t+kh) = \widehat{G}(t, t+kh)\overline{P}_R(t) \quad (2.46)$$

donde $\overline{P}_R(t+kh) = G_R(t, t+kh)\overline{P}(t)$ es un vector que tiene por elementos a la población por regiones proyecta en ausencia de migración interna. Sea $\overline{P}^*(t+kh)$ el vector que contiene la población meta de distribución territorial al término de la proyección, entonces el problema se reduce en encontrar un operador de migración interna que satisfaga la ecuación:

$$\overline{P}^*(t+kh) = \widehat{G}^*(t, t+kh)\overline{P}_R(t+kh) \quad (2.47)$$

Antes de continuar, veamos la precisión de la ecuación (2.46) para proyectar la población. Debido a que G_R es una matriz diagonal, sus elementos se pueden calcular como la exponencial de la suma de respectivas tasas R_i

Así el vector en ausencia de migración interna es:

⁸ Se podría usar la otra forma pero la que conviene usar es ésta.

$$P_R(2030) = \begin{pmatrix} 28675160 \\ 98527370 \end{pmatrix}$$

El operador de migración interna es:

$$\hat{G}(2000, 2030) = \begin{pmatrix} 0.84040 & 0.03356 \\ 0.15960 & 0.96644 \end{pmatrix}$$

que como se puede ver sus columnas suman uno (la migración interna sólo distribuye a la población pero no incrementa el efectivo del sistema regional). Entonces evaluando (2.47):

$$\begin{pmatrix} 28675160 \\ 98527691 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.84040 & 0.03355 \\ 0.15959 & 0.96644 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 28675160 \\ 98527370 \end{pmatrix}$$

Las diferencias son mínimas al comparar las poblaciones obtenidas con el operador completo (ecuación (2.40)), incluso el total nacional es apenas distinto (127,202,850 frente a 127,202,530). La utilidad de este resultado es que nos permite mantener separada a la migración interna del agregado de crecimiento natural y migración neta internacional, con lo cuál modificaremos la primera sin alterar la segunda.

Fijemos ahora la distribución meta de la población en las dos regiones para 2030. Supongamos que nuestro objetivo es reducir el porcentaje de la población que vive en la zona metropolitana hasta 20%, bajo el supuesto de tasas de crecimiento natural y migración neta internacional cambiantes y migración interna constante, en 2030 serían de 21.6 y 78.4 respectivamente. Con 20% la población de la zona metropolitana sería de 25,440,506 y en la región resto 101,762,024. Cabe mencionar que este reparto lo he fijado sólo para ilustrar el método. El vector de población que incorpora la distribución meta es:

$$\bar{P}^*(2030) = \begin{pmatrix} 25440506 \\ 101762024 \end{pmatrix}$$

Para resolver el problema, coloquemos los vectores $\bar{P}_R(2030)$ y $\bar{P}^*(2030)$ en un cuadro de doble entrada, donde ponemos al primero en el último renglón, ya que hace las veces de la región origen (proyección en ausencia de la migración interna), y al segundo en la última columna, ya que funge como región destino, tal como se presenta en Cuadro 2.9. Si se multiplica cada uno de los totales columna (P_R) por los elementos de la matriz $\hat{G}(2000, 2030)$, tenemos valores iniciales para las celdas del arreglo, tal como se muestra en la matriz superior de Cuadro 2.9. La suma de estas entradas por columna, satisfacen los marginales columna, pero no, los

marginales renglón. Para hacer que satisfagan simultáneamente ambos marginales, se usará el algoritmo de asignación biproporcional iterativa.

El algoritmo de asignación biproporcional iterativa es entre los distintos procedimientos disponibles el que tiene la propiedad de ser máximo verosímil (Willekens, Pór y Raquillet, 1981). El algoritmo consiste en distribuir los marginales primero por renglón y lo que resulta por columna.

Cuadro 2.9 Cálculo del operador meta de distribución territorial, usando el algoritmo de asignación biproporcional iterativa

Región de destino	Región de origen		
	Metropolitana	Resto	Total
<i>Arreglo inicial</i>			
Metropolitana	24098639	3306884	25440506
Resto	4576448	95220559	101762024
Total	28675088	98527442	127202530
<i>Arreglo final</i>			
Metropolitana	22919256	2521250	25440506
Resto	5755831	96006192	101762024
Total	28675088	98527442	127202530
<i>Operador de distribución territorial</i>			
Metropolitana	0.79927	0.02559	0.20000
Resto	0.20073	0.97441	0.80000
Total	1.00000	1.00000	1.00000

Fuente: Elaboración propia con datos del cuadro 2.7 y 2.8

*La suma de cada uno de los renglones no satisface el total correspondiente

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

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

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

Se inicia el procedimiento por renglón, para cada uno de los renglones i , y se reparte proporcionalmente la diferencia entre las m columnas:

$$\hat{O}_{i,j}^{(0)} = \frac{O_{i,*}}{O_{i,*}^{(0)}} O_{i,j}^{(0)}$$

y la diferencia respecto del arreglo que resulta se distribuye entre los m -renglones de cada columna j , es decir:

$$O_{i,j}^{(k)} = \frac{O_{i,j} \widehat{O}_{i,j}^{(0)}}{\widehat{O}_{i,j}^{(0)}}$$

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

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

para todas las $m \times n$ celdas del arreglo y donde ε se fija arbitrariamente, para lo cual se propone el valor de 0.5. En la matriz central de Cuadro 2.9 se tiene el arreglo final y en la matriz inferior el operador meta de migración interna $G^*(2000, 2030)$.

Por (2.45) tenemos que:

$$G^*(2000, 2030) = \exp \left\{ 5 \sum_{q=1}^6 \widehat{M}^* (t + [k-i]h, t + [k-(i-1)]h) \right\}$$

o bien, tomando logaritmo natural en ambos lados:

$$\ln \{G^*(2000, 2030)\} = 5 \sum_{q=1}^6 \widehat{M}^* (t + [k-i]h, t + [k-(i-1)]h)$$

y dividiendo por 5:

$$U(2000, 2030) = \frac{1}{5} \ln \{G^*(2000, 2030)\} = \sum_{q=1}^6 \widehat{M}^* (t + [k-i]h, t + [k-(i-1)]h) \quad (2.48)$$

Como se viene suponiendo que las tasas de migración interna no cambian a lo largo del periodo, la solución trivial es:

$$\widehat{M}^* = \frac{1}{6} U(2000, 2030)$$

donde cualquiera de las tasas es:

$$\widehat{M}_{ij}^* = \frac{1}{6} U_{ij}(2000, 2030)$$

Esta solución puede ser debatida con gran facilidad ya que supone *ipso facto* las tasas de migración requeridas para satisfacer la distribución de la población deseada en 2030. De la evidencia real se observa que la movilidad territorial de los individuos depende más de factores estructurales (cuyo efecto es visible a mediano y largo plazo) que de coyunturales (con impacto perceptible en el corto plazo) y los cambios en la intensidad de la migración son más bien pausados que bruscos. De este modo se piensa en un modelo de cambio de tasas, con respecto al

tiempo, que iría moldeando poco las modificaciones en los flujos migratorios interregionales para llegar a la distribución meta.

Se propone que las tasas de migración interregional varíen linealmente con respecto al tiempo, es decir:

$$M_{ij}(2000 + [k - i]5, 2000 + [k - (i - 1)]5) = M_{ij}(1995, 2000) + \beta_{ij}q$$

de donde, por (2.48)

$$U_{ij}(2000, 2030) = 6M_{ij}(1995, 2000) + \beta_{ij} \sum_{q=1}^6 q = 6M_{ij}(1995, 2000) + 21\beta_{ij}$$

o bien despejando,

$$\beta_{ij} = \frac{U_{ij}(2000, 2030) - 6M_{ij}(1995, 2000)}{21} \quad (2.49)$$

De la matriz inferior del Cuadro 2.9, aplicando la primera igualdad en (2.48) se tiene que:

$$U(2000, 2030) = \begin{pmatrix} -0.04552 & 0.00580 \\ 0.04552 & -0.00580 \end{pmatrix}$$

Por ejemplo, evaluando (2.49) para el flujo metropolitana hacia resto:

$$\beta_{12} = \frac{0.04552 - 6 \times 0.00591}{21} = 0.00047$$

y las tasas proyectada para el cuarto quinquenio:

$$M_{12}(2015, 2020) = 0.00591 + 4 \times 0.00047 = 0.00783$$

Los valores de las pendientes de las rectas β_{ij} se reproducen en el cuadro 2.10; las tasas para cada uno de los seis lustros en el cuadro 2.11; los operadores de crecimiento y distribución territorial de la población, evaluados con (2.35), en el cuadro 2.12; y la población proyectada cada cinco años y su distribución espacial en el cuadro 2.13.

Cuadro 2.10 Pendientes del modelo lineal de cambio de las tasas de migración interregional

Región de destino	Región de origen	
	Metropolitana	Resto
Metropolitana	-0.0004785	-0.0000788
Resto	0.0004785	0.0000788

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 2.11 Tasas de migración interregional necesarias para alcanzar la meta de distribución territorial, 2000-2030

Región de destino	Región de origen	
	Metropolitana	Resto
Metropolitana	0.00524	0.00116
Resto	0.00639	0.01013
Metropolitana	0.00339	0.00109
Resto	0.00687	0.00816
Metropolitana	0.00169	0.00101
Resto	0.00735	0.00709
Metropolitana	-0.00001	0.00093
Resto	0.00783	0.00616
Metropolitana	-0.00184	0.00085
Resto	0.00830	0.00506
Metropolitana	-0.00384	0.00077
Resto	0.00878	0.00370

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 2.12 Operadores de crecimiento y distribución necesarios para alcanzar la meta de distribución territorial, 2000-2030

Región de destino	Región de origen	
	Metropolitana	Resto
Metropolitana	1.02665	0.00605
Resto	0.03320	1.05205
Metropolitana	1.01720	0.00559
Resto	0.03535	1.04175
Metropolitana	1.00858	0.00514
Resto	0.03755	1.03618
Metropolitana	1.00006	0.00471
Resto	0.03974	1.03138
Metropolitana	0.99092	0.00428
Resto	0.04186	1.02569
Metropolitana	0.98107	0.00385
Resto	0.04390	1.01876

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 2.13 Población a mitad de año que satisface la distribución territorial deseada de la población

Año	Metropolitana	Resto	Total
<i>Población</i>			
2000	22317488	78251775	100571263
2005	23385689	83065762	106453456
2010	24252042	87360156	111614208
2015	24909445	91431107	116342566
2020	25341584	95289669	120633273
2025	25519179	98798450	124319654
2030	25416391	101772340	127190761
<i>Distribución territorial (%)</i>			
2000	22.2	77.8	100.0
2005	22.0	78.0	100.0
2010	21.7	78.3	100.0
2015	21.4	78.6	100.0
2020	21.0	79.0	100.0
2025	20.5	79.5	100.0
2030	20.0	80.0	100.0

Fuente: Elaboración propia

3 La aplicación del modelo

3.1 Introducción

Alrededor de 1950, la expansión física de varias ciudades del país se vió favorecida por el desarrollo económico que se obtuvo por estos años, dando un gran crecimiento poblacional. Este crecimiento favoreció las concentraciones de población dando lugar al desarrollo de urbes que fueron formando las zonas metropolitanas, las que han tomado un lugar primordial en el proceso de urbanización del país.

La estructura de las zonas metropolitanas, en nuestro país, se refiere al proceso cuando una ciudad rebasa sus límites territoriales de la unidad político administrativa (municipio), y va incorporando a otros municipios como parte de sí misma integrándolos física y funcionalmente. Esto difiere del concepto de área urbana propiamente dicha (Unikel, et al.,1976:118).

En México el crecimiento de estas zonas ha rebasado la expectativa del gobierno, la falta de planeación ha traído problemas de las grandes zonas metropolitanas como desigualdad, concentración de población, contaminación, escasez de recursos naturales, etc. La expansión de las zonas metropolitanas, absorbiendo municipios contiguos, es impresionante desde mediados del siglo pasado.

El desarrollo de las zonas metropolitanas y su expansión, junto con su concentración de población y de producción, son las características que llaman la atención para desarrollar este trabajo, tomando como base a las zonas metropolitanas.

Desde el punto de vista de la sustentabilidad, la ubicación de las actividades productivas en el territorio requiere de un equilibrio regional, en el cual se impulse la inversión en los sectores productivos, que de certidumbre, que ofrezca opciones de producción y que fomente el desarrollo social y económico, al tiempo que se busque la conservación y la protección de los recursos naturales en los sitios de alta calidad ecológica.

Muchos economistas ven la sustentabilidad como un modo de frenar el deterioro al patrimonio del planeta por parte de países tercer mundistas. El pensar sólo de esta manera, acabará con los buenos deseos de la comunidad internacional.

Pensando en el futuro, es que este trabajo toma el agua de los acuíferos como base para desarrollar un ejemplo de planeación del ordenamiento territorial, para mantener la sustentabilidad, modificando la migración interna para lograrlo.

3.2 Las ciudades y la aplicación del modelo

Se toman las zonas metropolitanas de: Colima, Orizaba y Zacatecas para ejemplificar el modelo.

La primera zona metropolitana, Colima, está integrada por los municipios de Colima y de Villa de Álvarez. Es una zona con gran historia, pues en 1824 el Congreso otorgó a Colima la categoría de ciudad y fue la capital del país entonces. Cuenta con un excelente clima, ya que la temperatura promedio anual es de 25° centígrados, contando con una larga temporada de lluvia. Los principales giros industriales de la zona metropolitana son: fábricas de jabones, salsas picantes de mesa, dulces regionales, equipajes, zapatos y huaraches, así como elaboración de agua de coco embotellada. En la agricultura se cultiva principalmente arroz, caña, maíz, sorgo, limón, mango y tamarindo. Se practica la piscicultura (Pueblo Nuevo y en Agua Dulce) y se tienen estanques para la acuicultura (Nuevo Naranja). Para tener un desarrollo sustentable, se considerará el agua de los acuíferos como la única fuente de ésta.

En primer lugar para el desarrollo del método de solución, se proyecta la población de la zona metropolitana de Colima y el resto del país, y usando las tasas de migración interna constante del periodo 1995-2000 y las tasas variables de crecimiento natural y migración internacional de CONAPO. La migración interregional de la zona metropolitana de Colima contra el y de la república mexicana se puede ver el Cuadro 3.1.

Cuadro 3.1 Zona metropolitana de Colima: Migrantes interregionales, 1995-2000

Lugar de destino (residencia en 2000)	Lugar de origen (residencia en 1995)		
	ZM Colima	Resto país	Total*
ZM Colima	192,894	20,394	213,288
Resto del país	11,998	99,950,351	99,962,349
Suma	204,892	99,970,745	100,175,637
Población 1995	195,105	93,417,934	93,613,039

* Excluye la población que en 1995 vivía en otro país

Fuente: Elaborado con base en el XII Censo General de Población y Vivienda 2000 y la población municipal corregida por el CONAPO para mediados de 1995 y 2000

La población de la zona metropolitana de Colima alcanza 313, 061 habitantes al año 2030, con una proporción de 0.246 de la población del país (Cuadro 3.2).

Cuadro 3.2 Población a mitad de año manteniendo constantes las tasas de migración interregional y adoptando las de crecimiento natural y migración neta internacional del CONAPO, 2000-2030

Año	Colima	Resto	Total
<i>Población</i>			
2000	215 503	100 353 760	100 569 263
2005	233 657	106 217 961	106 451 618
2010	251 328	111 362 472	111 613 800
2015	268 538	116 076 250	116 344 788
2020	285 000	120 353 982	120 638 982
2025	300 072	124 029 359	124 329 430
2030	313 061	126 892 299	127 205 359
<i>Distribución territorial (%)</i>			
2000	0.214	99.786	100.0
2005	0.219	99.781	100.0
2010	0.225	99.775	100.0
2015	0.231	99.769	100.0
2020	0.236	99.764	100.0
2025	0.241	99.759	100.0
2030	0.246	99.754	100.0

Fuente: Elaboración propia

Los acuíferos de la zona metropolitana de Colima están en buenas condiciones ya que se encuentran totalmente subexplotados (Cuadro 3.3).

De mantenerse este consumo y llegando al equilibrio del acuífero, la población que se podría abastecer sería de 536,651 habitantes, manteniendo el mismo porcentaje de la población de la urbe del total de habitantes en los seis acuíferos donde se circunscriben los dos municipios que forman la zona metropolitana. Pero esta población sería demasiado grande al compararla con los habitantes proyectados manteniendo constantes las tasas de migración interna de 1995-2000. En estas previsiones se tiene que el crecimiento de la zona metropolitana de Colima de 2000 a 2030 sería de 97,558 habitantes. Se supone que se agrega 50% más del crecimiento proyectado, de tal forma que queden satisfechos servicios básicos como educación, salud, empleo, vivienda, drenaje, etc. De esta manera, la población crecería en 146,337 personas y la meta del número de residentes de la zona metropolitana de Colima en 2030 ascendería a 361,840 y la del resto del país a 126,843,519, tomando en cuenta la población total bajo el supuesto de migración interna invariable (127,205,359).

Cuadro 3.3 Condición de los acuíferos en los municipios de la zona metropolitana de Colima, 2003

Clave	Municipio y acuífero	Hectáreas Municipio	Hectáreas acuífero	Extracción (hm3)	Recarga (hm3)	Característica Del acuífero
ZM de COLIMA						
6002	Colima	73,672				
	Alzada-Tepames	39,166	69,796	1.89	34	Subexplotado
	Armeria-Tecoman-Periquillos	299	130,520	152	230	Subexplotado
	Ciudad Guzmán	126	353,535	190	277.88	Subexplotado
	Coahuayana	91	119,110	1.8	8.8	Subexplotado
	Colima	18,299	122,742	42	80	Subexplotado
	Valle de Ixtlahuacan	15,692	76,837	2.4	3	Subexplotado
6010	Villa de Alvarez					
	Colima	29,129	122,742	42	80	Subexplotado
				432.09	713.68	
	Resumen	Hectáreas	Porcentaje			
	Total	102,801	100.00			
	Subexplotado	102,801	100.00			

Fuente: Comisión Nacional del Agua, Sistema Unificado de Información Básica del Agua (SUIBA), México, 2003 y Consejo Nacional de Población

Cuadro 3.4 Acuíferos de la zona metropolitana de Colima, dando el consumo per cápita y la población en equilibrio

Clave	Nombre	Recarga			Consumo per cápita m3 2003	Población en equilibrio		
		Extracción (hm3)	Media (hm3)	2000				
	Total	390.09	633.68	680,483	702,197	835,385	555.53	1,663,767
601	Colima	42.00	80.00	247,493	259,437	354,621	161.89	494,166
603	Armeria - Tecoman - Periquillos	152.00	230.00	125,570	129,297	150,603	1175.59	195,647
614	Valle de Ixtlahuacan	2.40	3.00	16,478	16,961	19,900	141.50	21,201
615	Alzada - Tepames	1.89	34.00	26,765	27,205	29,189	69.47	489,402
1406	Ciudad Guzmán	190.00	277.88	244,081	249,014	261,066	763.01	364,190
1621	Coahuayana	1.80	8.80	20,096	20,283	20,006	88.74	99,161
<i>Zona metropolitana de Colima</i>				215,503	226,495	313,061		536,651
<i>Porcentaje de la población en los acuíferos</i>				31.7%	32.3%	37.5%		32.3%

Fuente: Elaboración propia, con datos del cuadro 3.3, proyecciones del CONAPO y cuadro 3.2

Ya que se tiene la meta de la población, se aplicará el algoritmo de asignación biproporcional iterativa usando los resultados de esta zona metropolitana (Cuadro 3.5).

Cuadro 3.5 Cálculo del operador meta de distribución territorial usando el algoritmo de asignación biproporcional iterativa

Región de destino	Región de origen		Total
	Colima	Resto	
<i>Arreglo inicial</i>			
Colima	180 333	135 743	361 840
Resto	77 730	126 811 553	126 843 519
Total	258 063	126 947 296	127 205 359
<i>Arreglo final</i>			
Colima	191 967	169 873	361 840
Resto	66 096	126 777 423	126 843 519
Total	258 063	126 947 296	127 205 359
<i>Operador de distribución territorial</i>			
Colima	0.74388	0.00134	0.00284
Resto	0.25612	0.99866	0.99716
Total	1.00000	1.00000	1.00000

Fuente: Elaboración propia

Los valores de las pendientes de las rectas β_j (Cuadro 3.6); las tasas para cada uno de los seis lustros en el Cuadro 3.7; los operadores de crecimiento y distribución de la población, evaluados con (2.35), en el Cuadro 3.8; y la población proyectada cada cinco años y su distribución espacial en el Cuadro 3.9.

Cuadro 3.6 Pendientes del modelo lineal de cambio de las tasas de migración interregional

Región de destino	Región de origen	
	Colima	Resto
Colima	0.0005954521	0.0000026089
Resto	-0.0005954521	-0.0000026089

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 3.7 Tasas de migración interregional necesarias para alcanzar la meta de distribución territorial

Región de destino	Región de origen	
	Colima	Resto
2000-2005		
Colima	-0.00275	0.00005
Resto	0.01136	0.01133
2005-2010		
Colima	-0.00327	0.00005
Resto	0.01076	0.00943
2010-2015		
Colima	-0.00354	0.00005
Resto	0.01017	0.00826
2015-2020		
Colima	-0.00385	0.00005
Resto	0.00957	0.00720
2020-2025		
Colima	-0.00445	0.00006
Resto	0.00898	0.00597
2025-2030		
Colima	-0.00532	0.00006
Resto	0.00838	0.00452

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 3.8 Operadores de crecimiento y distribución necesarios para alcanzar la meta de distribución territorial

Región de destino	Región de origen	
	Colima	Resto
2000-2005		
Colima	0.98634	0.00023
Resto	0.05804	1.05829
2005-2010		
Colima	0.98377	0.00024
Resto	0.05467	1.04827
2010-2015		
Colima	0.98248	0.00025
Resto	0.05146	1.04215
2015-2020		
Colima	0.98094	0.00027
Resto	0.04828	1.03666
2020-2025		
Colima	0.97802	0.00028
Resto	0.04507	1.03033
2025-2030		
Colima	0.97375	0.00029
Resto	0.04183	1.02286

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 3.9 Población a mitad del año que satisface la distribución territorial deseada de la población

Año	Colima	Resto	Total
<i>Población</i>			
2000	215 503	100 353 760	100 569 263
2005	235 659	106 215 946	106 451 604
2010	257 542	111 356 201	111 613 743
2015	281 354	116 063 295	116 344 648
2020	306 940	120 331 763	120 638 702
2025	333 710	123 995 221	124 328 931
2030	360 899	126 843 638	127 204 537
<i>Distribución territorial (%)</i>			
2000	0.214	99.786	100.0
2005	0.221	99.779	100.0
2010	0.231	99.769	100.0
2015	0.242	99.758	100.0
2020	0.254	99.746	100.0
2025	0.268	99.732	100.0
2030	0.284	99.716	100.0

Fuente: Elaboración propia

La segunda zona metropolitana, Orizaba, la conforman los municipios de Camerino Z. Mendoza, Huiloapan, Ixhuatlancillo, Ixtaczoquitlán, Mariano Escobedo, Nogales, Orizaba, Rafael Delgado, Río Blanco. El 9 de octubre de 1892 inversionistas franceses inician la construcción de la fábrica textil más grande de América Latina (en Río Blanco), que fue inaugurada por el Presidente Porfirio Díaz, proporcionando empleo a 1,700 trabajadores. Por su disponibilidad de agua en 1896 se funda la Cervecería Moctezuma S.A. (en Orizaba). Esta zona metropolitana fue de gran importancia en el porfiriato, se fundó una gran zona industrial que tuvo un gran auge y su grandeza se puede ver hasta nuestros días. La zona esta ubicada en la zona centro montañosa del Estado, sobre el valle del Pico de Orizaba. Su clima es templado-húmedo-regular con una temperatura promedio de 18° C; su precipitación pluvial media anual es de 1,800 m.m. Si se hiciera crecer este complejo industrial de nuevo, con la cantidad de agua que tiene y con los medios de comunicación, su cercanía al puerto de Veracruz, daría auge al desarrollo de esta gran zona industrial, que tendría un desarrollo sustentable por la cantidad de acuíferos y

recarga anual que tiene, claro si consideramos el agua de los acuíferos como única fuente del líquido.

En primer lugar se hace el desarrollo del método de solución proyectando la población de la zona metropolitana de Orizaba y el resto del país, usando las tasas de migración interna constante del periodo 1995-2000 y las tasas variables de crecimiento natural y migración internacional de CONAPO. La migración interregional de la zona metropolitana de Orizaba y el resto de la república mexicana (Cuadro 3.10).

Cuadro 3.10 Zona metropolitana de Orizaba: Migrantes interregionales, 1995-2000

Lugar de destino (residencia en 2000)	Lugar de origen (residencia en 1995)		
	ZM Orizaba	Resto país	Total*
ZM Orizaba	344,164	14,877	359,041
Resto del país	17,188	99,799,408	99,816,596
Suma	361,352	99,814,285	100,175,637
Población 1995	337,435	93,275,604	93,613,039

* Excluye la población que en 1995 vivía en otro país

Fuente: Elaborado con base en el XII Censo General de Población y Vivienda 2000 y la población municipal corregida por el CONAPO para mediados de 1995 y 2000

Se observa que la población de la zona metropolitana de Orizaba alcanza 422, 903 habitantes al año 2030, con una proporción 0.332% de la población del país (Cuadro 3.11).

La condición de explotación de los acuíferos de la zona metropolitana de Orizaba, se encuentra en un nivel de subexplotación (Cuadro 3.12).

De mantenerse este consumo y llegando al equilibrio, la población que se podría abastecer sería de 1,494,044 habitantes, manteniendo el mismo porcentaje de la población de la urbe del total de habitantes en los tres acuíferos donde se circunscribe los nueve municipios que forman la zona metropolitana (Cuadro 3.13). Pero esta población es demasiado grande al compararla con los habitantes proyectados manteniendo constantes las tasas de migración interna de 1995-2000. En estas previsiones se tiene que el crecimiento de la zona metropolitana de Orizaba de 2000 a 2030 sería de 63,403 habitantes. Supongamos que se pueden agregar 50% más del crecimiento proyectado, de tal forma que queden satisfechos servicios básicos como educación, vivienda, drenaje, etc. De esta manera, la población crecería en 95,105 personas y la meta del número de residentes de la zona metropolitana de Orizaba en 2030 ascendería a 454,605

y la del resto del país a 126,751,004; tomando en cuenta la población total bajo el supuesto de migración interna invariable para este caso (127,205,609).

Cuadro 3.11 Población a mitad de año manteniendo constantes las tasas de migración interregional y adoptando las de crecimiento natural y migración neta internacional del CONAPO, 2000-2030

Año	Orizaba	Resto	Total
<i>Población</i>			
2000	359 500	100 209 763	100 569 263
2005	374 855	106 076 835	106 451 689
2010	387 995	106 076 835	106 464 830
2015	399 716	115 945 229	116 344 945
2020	409 849	120 229 320	120 639 170
2025	417 803	123 911 844	124 329 647
2030	422 903	126 782 706	127 205 609
<i>Distribución territorial (%)</i>			
2000	0.357	99.643	100.0
2005	0.352	99.648	100.0
2010	0.364	99.636	100.0
2015	0.344	99.656	100.0
2020	0.340	99.660	100.0
2025	0.336	99.664	100.0
2030	0.332	99.668	100.0

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 3.12 Condición de los acuíferos en los municipios de la zona metropolitana de Orizaba, 2003

Clave	Municipio y acuífero	Hectáreas municipio	Hectáreas Acuífero	Extracción (hm3)	Recarga (hm3)	Característica del acuífero
<i>ZM de ORIZABA</i>						
30030	Camerino Z. Mendoza	1,912				
	Tuxtepec	1,912	1,724,994	30.23	81.50	Subexplotado
30074	Huilopan	1,878				
	Orizaba-Córdoba	1,340	100,571	19.27	109.50	Subexplotado
	Tuxtepec	538	1,724,994	30.23	81.50	Subexplotado
30081	Ixhuatlancillo	5,145				
	Orizaba-Córdoba	4,192	100,571	19.27	109.50	Subexplotado
	Tuxtepec	953	1,724,994	30.23	81.50	Subexplotado
30085	Ixtaczoquitlán	13,353				
	Cotaxtla	878	332,760	31.66	163.00	Subexplotado
	Orizaba-Córdoba	12,475	100,571	19.27	109.50	Subexplotado
30101	Mariano Escobedo	6,702				
	Orizaba-Córdoba	6,700	100,571	19.27	109.50	Subexplotado
	Tuxtepec	2	1,724,994	30.23	81.50	Subexplotado
30115	Nogales	6,097				
	Tuxtepec	6,097	1,724,994	30.23	81.50	Subexplotado
30118	Orizaba	3,004				
	Orizaba-Córdoba	3,004	100,571	19.27	109.50	Subexplotado
30135	Rafael Delgado	2,627				
	Orizaba-Córdoba	1,730	100,571	19.27	109.50	Subexplotado
	Tuxtepec	897	1,724,994	30.23	81.50	Subexplotado
30138	Río Blanco	1,833				
	Orizaba-Córdoba	1,359	100,571	19.27	109.50	Subexplotado
	Tuxtepec	474	1,724,994	30.23	81.50	Subexplotado
				378.16	1500.00	
	Resumen	Hectáreas	Porcentaje			
	Total	42,551	100.00			
	Subexplotado	42,551	100.00			

Fuente: Comisión Nacional del Agua, Sistema Unificado de Información Básica del Agua (SUIBA), México, 2003 y Consejo Nacional de Población

Cuadro 3.13 Acuíferos de la zona metropolitana de Orizaba, dando el consumo per cápita y la población en equilibrio

Clave	Nombre	Recarga			Consumo per cápita m3 2003	Población en equilibrio		
		Extracción (hm3)	media (hm3)	2000			2003	2030
	Total	81.16	354.00	2,015,922	2,067,301	2,312,090	39.26	8378516
2010	Tuxtepec	30.23	81.50	1,025,152	1,055,471	1,184,897	28.64	2845547
3007	Orizaba - Córdoba	19.27	109.50	593,933	606,062	683,875	31.80	3443891
3008	Cotaxtla	31.66	163.00	396,837	405,768	443,318	78.02	2089077
	Zona metropolitana de Orizaba			359,500	368,638	422,903		1494044
	Porcentaje de los acuíferos			17.8%	17.8%	18.3%		17.8%

Fuente: Elaboración propia, con datos del cuadro 3.11, proyecciones del CONAPO y cuadro 3.12

La meta de la distribución y la proyección en 2030 se puede encontrar usando el algoritmo de asignación biproporcional iterativa como se muestra en Cuadro 3.14.

Cuadro 3.14 Cálculo del operador meta de distribución territorial usando el algoritmo de asignación biproporcional iterativa

Región de destino	Región de origen		
	Orizaba	Resto	Total
	<i>Arreglo inicial</i>		
Orizaba	324347	100634	454605
Resto	110155	126670473	126751004
Total	434502	126771107	127205609
	<i>Arreglo final</i>		
Orizaba	336800	117805	454605
Resto	97702	126653302	126751004
Total	434502	126771107	127205609
	<i>Operador de distribución territorial</i>		
Orizaba	0.77514	0.00093	0.00357
Resto	0.22486	0.99907	0.99643
Total	1.00000	1.00000	1.00000

Fuente: Elaboración propia

Los valores de las pendientes de las rectas β_{ij} se reproducen en el Cuadro 3.15; las tasas para cada uno de los seis lustros en el Cuadro 3.16; los operadores de crecimiento y distribución de la población, evaluados con (2.35), en el Cuadro 3.17; y la población proyectada cada cinco años y su distribución espacial en el Cuadro 3.18.

Cuadro 3.15 Pendientes del modelo lineal de cambio de las tasas de migración interregional

Región de destino	Región de origen	
	Orizaba	Resto
Orizaba	0.0003588289	0.0000013072
Resto	-0.0003588289	-0.0000013072

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 3.16 Tasas de migración interregional necesarias para alcanzar la meta de distribución territorial

Región de destino	Región de origen	
	Orizaba	Resto
Orizaba	0.000148	0.000032
Resto	0.009392	0.011344
Orizaba	-0.001088	0.000033
Resto	0.009034	0.009443
Orizaba	-0.001776	0.000034
Resto	0.008675	0.008273
Orizaba	-0.002465	0.000036
Resto	0.008316	0.007218
Orizaba	-0.003368	0.000037
Resto	0.007957	0.005994
Orizaba	-0.004525	0.000038
Resto	0.007598	0.004540

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 3.17 Operadores de crecimiento y distribución necesarios para alcanzar la meta de distribución territorial

Región de destino	Región de origen	
	Orizaba	Resto
Orizaba	1.00074	0.00016
Resto	0.04834	1.05836
Orizaba	0.99458	0.00017
Resto	0.04613	1.04835
Orizaba	0.99116	0.00018
Resto	0.04409	1.04224
Orizaba	0.98776	0.00018
Resto	0.04208	1.03675
Orizaba	0.98330	0.00019
Resto	0.04005	1.03043
Orizaba	0.97763	0.00019
Resto	0.03800	1.02296

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 3.18 Población a mitad del año que satisface la distribución territorial deseada de la población

Año	Orizaba	Resto	Total
<i>Población</i>			
2000	359 500	100 209 763	100 569 263
2005	376 188	106 075 495	106 451 683
2010	392 101	111 221 791	111 613 892
2015	408 112	115 936 759	116 344 871
2020	424 096	120 214 917	120 639 013
2025	439 445	123 889 909	124 329 354
2030	453 391	126 751 720	127 205 111
<i>Distribución territorial (%)</i>			
2000	0.357	99.643	100.0
2005	0.353	99.647	100.0
2010	0.351	99.649	100.0
2015	0.351	99.649	100.0
2020	0.352	99.648	100.0
2025	0.353	99.647	100.0
2030	0.356	99.644	100.0

Fuente: Elaboración propia

La tercera zona metropolitana, Zacatecas, está formada por los municipios de: Guadalupe y Zacatecas. Esta zona estaba aislada hasta principios del siglo pasado por la falta de teléfono y carreteras. Durante la época del porfiriato fue una región relegada, esto se nota por ejemplo, en el censo de 1895 que registró 52 médicos en todo el estado, el de 1910 sólo contó a 55 y el número de abogados registrados en el estado disminuyó de 99 a 68⁹. Es una zona ganadera por excelencia, productora de ganado bovino y ovino, el freno de la ganadería son las infecciones parasitarias (agua sucia). Otro producto característico de esta zona es el minero. El crecimiento desmedido en las zonas urbanas se debe principalmente a la gran migración que hay del campo a la ciudad (por la falta de agua y métodos eficientes de riego), la población que viene del campo se concentra en empleos de la construcción y servicios. La temperatura media es de 18° C, su precipitación pluvial media anual es de 400 m.m.

La primera parte del desarrollo del método de solución consiste en proyectar la población de la zona metropolitana de Zacatecas y el resto del país, usando las tasas de migración interna constante del periodo 1995-2000 y las tasas variables de crecimiento natural y migración internacional. La migración interregional de la zona metropolitana de Zacatecas contra el resto de la república mexicana (Cuadro 3.19).

Cuadro 3.19 Zona metropolitana de Zacatecas: Migrantes interregionales 1995-2000

Lugar de destino (residencia en 2000)	Lugar de origen (residencia en 1995)		
	ZM Zacatecas	Resto país	Total*
ZM Zacatecas	225,479	14,947	240,426
Resto del país	18,108	99,917,103	99,935,211
Suma	243,587	99,932,050	100,175,637
Población 1995	218,675	93,394,364	93,613,039

* Excluye la población que en 1995 vivía en otro país

Fuente: Elaborado con base en el XII Censo General de Población y Vivienda 2000 y la población municipal corregida por el CONAPO para mediados de 1995 y 2000

⁹ SEP, Monografía Estatal del Estado de Zacatecas, 1991.

La población de la zona metropolitana de Zacatecas alcanza 266,226 habitantes al año 2030 con las tasas constantes de migración, con una proporción de 0.274% de la población del país (Cuadro 3.20).

Cuadro 3.20 Población a mitad de año manteniendo constantes las tasas de migración interregional y adoptando las tasas de crecimiento natural y migración neta internacional del CONAPO, 2000-2030

Año	Zacatecas	Resto	Total
		<i>Población</i>	
2000	241 664	100 327 599	100 569 263
2005	248 922	106 202 781	106 451 703
2010	254 256	111 359 677	111 613 933
2015	258 489	116 086 470	116 344 959
2020	261 934	120 377 259	120 639 193
2025	264 596	124 065 096	124 329 693
2030	266 226	126 939 458	127 205 684
		<i>Distribución territorial (%)</i>	
2000	0.240	99.760	100.0
2005	0.234	99.766	100.0
2010	0.228	99.772	100.0
2015	0.222	99.778	100.0
2020	0.217	99.783	100.0
2025	0.213	99.787	100.0
2030	0.209	99.791	100.0

Fuente: Elaborado con base en los datos del cuadros 3.19

La condición de los acuíferos es la siguiente: 77.63% esta sobreexplotado, 0.97% esta en equilibrio y 21.4% subexplotado (Cuadro 3.21).

De mantenerse este consumo y llegando al equilibrio del acuífero, la población que se podría abastecer sería de 188,811 habitantes, manteniendo el mismo porcentaje de la población de la urbe del total de habitantes en los siete acuíferos en donde suscriben los dos municipios que forman la zona metropolitana (Cuadro 3.22). Pero esta población es demasiado pequeña al compararla con los habitantes proyectados manteniendo constantes las tasas de migración interna de 1995-2000. En estas previsiones se tiene que el crecimiento de la población sería de 24,562. Supongamos que agregamos sólo el 50% del crecimiento proyectados para reducir el déficit de agua en la región y suponiendo mejoras en la forma del consumo del agua. De esta manera, la población crecería en 12,281 y la meta de residentes de la zona metropolitana de Zacatecas en

2030 ascendería a 253,945 y la del resto 126,951,739, tomando en cuenta la población total bajo el supuesto de migración interna invariable (127,205,684).

Cuadro 3.21 Condición de los acuíferos en los municipios de la zona metropolitana de Zacatecas, 2003

Clave	Municipio y acuífero	Hectáreas municipio	Hectáreas acuífero	Extracción* (hm3)	Recarga* (hm3)	Característica del acuífero
32017	Guadalupe	80,497				
	Benito Juárez	3,181	40,114	23.01	20.10	Sobreexplotado
	Calera	1,605	249,558	125.00	83.88	Sobreexplotado
	Chupaderos	47,234	241,952	138.00	72.80	Sobreexplotado
	El Barril	69	322,795	62.00	31.60	Sobreexplotado
	Guadalupe					
	Bañuelos	26,721	36,609	8.66	10.70	Subexplotado
	Jalpa - Juchipila	33	462,308	12.85	18.74	Subexplotado
	Ojocaliente	1,655	129,439	95.00	71.69	Sobreexplotado
32056	Zacatecas	44,504				
	Jerez	1,210	248,178	34.37	33.40	Equilibrio
	Benito Juárez	18,140	40,114	23.01	20.10	Sobreexplotado
	Calera	25,154	249,558	125.00	83.88	Sobreexplotado
	Resumen	Hectáreas	Porcentaje			
	Total	125,001	100.00			
	Sobreexplotado	97,037	77.63			
	Equilibrio	1,210	0.97			
	Subexplotado	26,753	21.40			

Fuente: Comisión Nacional del Agua, *Sistema Unificado de Información Básica del Agua (SUIBA)*, México, 2003 y Consejo Nacional de Población

Cuadro 3.22 Acuíferos de la zona metropolitana de Zacatecas, dando el consumo per cápita y la población en equilibrio

Clave	Nombre	Recarga			Consumo per cápita m ³ 2003	Población en equilibrio		
		Extracción (hm ³)	media (hm ³)					
	Total	486.04	324.17	630,172	670,619	713,193	724.76	516,303
2402	El Barril	62.00	31.60	39,092	40,219	39,676	1541.56	20,499
3205	Jerez	34.37	33.40	64,596	76,125	65,140	451.49	73,977
3210	Benito Juárez	23.01	20.10	8,537	8,758	7,929	2627.31	7,650
3212	Ojocaliente	95.00	71.69	57,734	59,134	53,884	1606.52	44,624
3225	Calera	125.00	83.88	300,293	314,549	333,837	397.39	211,075
3226	Chupaderos	138.00	72.80	72,482	76,034	79,138	1814.98	40,111
3227	Guadalupe Bañuelos	8.66	10.70	87,438	95,800	133,589	90.40	118,367
Zona metropolitana de Zacatecas				241,664	245,244	266,226		188,811
Porcentaje de los acuíferos				38.35%	36.57%	37.33%		36.57%

Fuente: Elaboración propia, con datos del cuadro 3.20, proyecciones del CONAPO y cuadro 3.21

La meta de la distribución y la proyección en 2030 se puede encontrar usando el algoritmo de asignación biproporcional iterativa como se muestra en el Cuadro 3.23.

Cuadro 3.23 Cálculo del operador meta de distribución territorial usando el algoritmo de asignación biproporcional iterativa

Región de destino	Región de origen		
	Zacatecas	Resto	Total
<i>Arreglo inicial</i>			
Zacatecas	176793	92412	253945
Resto	106860	126829620	126951739
Total	283653	126922031	127205684
<i>Arreglo final</i>			
Zacatecas	170175	83771	253945
Resto	113478	126838261	126951739
Total	283653	126922031	127205684
<i>Operador de distribución territorial</i>			
Zacatecas	0.59994	0.00066	0.00200
Resto	0.40006	0.99934	0.99800
Total	1.00000	1.00000	1.00000

Fuente: Elaboración propia

Los valores de las pendientes de las rectas β_{ij} se reproducen en el Cuadro 3.24; las tasas para cada uno de los seis lustros en el Cuadro 3.25; los operadores de crecimiento y distribución de la población, evaluados con (2.35), en el Cuadro 3.26; y la población proyectada cada cinco años y su distribución espacial en el Cuadro 3.27.

Cuadro 3.24 Pendientes del modelo lineal de cambio de las tasas de migración interregional

Región de destino	Región de origen	
	Zacatecas	Resto
Zacatecas	0.0003588289	0.0000013072
Resto	-0.0003588289	-0.0000013072

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 3.25 Tasas de migración interregional necesarias para alcanzar la meta de distribución territorial

Región de destino	Región de origen	
	Zacatecas	Resto
2000-2005		
Zacatecas	-0.007273	0.000030
Resto	0.016131	0.011345
2005-2010		
Zacatecas	-0.009662	0.000029
Resto	0.016494	0.009448
2010-2015		
Zacatecas	-0.011305	0.000028
Resto	0.016858	0.008280
2015-2020		
Zacatecas	-0.012652	0.000028
Resto	0.017221	0.007227
2020-2025		
Zacatecas	-0.013943	0.000027
Resto	0.017584	0.006005
2025-2030		
Zacatecas	-0.015363	0.000026
Resto	0.017948	0.004551

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 3.26 Operadores de crecimiento y distribución necesarios para alcanzar la meta de distribución territorial

Región de destino	Región de origen	
	Zacatecas	Resto
2000-2005		
Zacatecas	0.964295	0.000151
Resto	0.081510	1.058371
2005-2010		
Zacatecas	0.95285	0.00015
Resto	0.08246	1.04838
2010-2015		
Zacatecas	0.94505	0.00014
Resto	0.08369	1.04228
2015-2020		
Zacatecas	0.93870	0.00014
Resto	0.08498	1.03680
2020-2025		
Zacatecas	0.93267	0.00013
Resto	0.08623	1.03048
2025-2030		
Zacatecas	0.92607	0.00013
Resto	0.08738	1.02302

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 3.27 Población a mitad del año que satisface la distribución territorial deseada de la población

Año	Zacatecas	Resto	Total
<i>Población</i>			
2000	241 664	100 327 599	100 569 263
2005	248 142	106 203 566	106 451 708
2010	251 904	111 362 056	111 613 960
2015	253 789	116 091 247	116 345 036
2020	254 144	120 385 214	120 639 359
2025	253 030	124 076 951	124 329 980
2030	250 285	126 955 833	127 206 118
<i>Distribución territorial (%)</i>			
2000	0.240	99.760	100.0
2005	0.233	99.767	100.0
2010	0.226	99.774	100.0
2015	0.218	99.782	100.0
2020	0.211	99.789	100.0
2025	0.204	99.796	100.0
2030	0.197	99.803	100.0

Fuente: Elaboración propia

Mientras la meta para las zona metropolitanas de Colima y Orizaba consisten de fomentar la migración hacia ellas, para la zona metropolitana de Zacatecas debería desalentarse.

Conclusiones

El objetivo de estimar la distribución de la población para 2030 se logró en las tres zonas metropolitanas, Colima, Orizaba y Zacatecas.

El desarrollo sustentable es una preocupación internacional por mantener los recursos naturales en buenas condiciones para generaciones futuras. Es por eso que en mi trabajo trato de dar el enfoque de sustentabilidad, tomando como aspecto particular el agua de los acuíferos, desde mi punto de vista de mucha importancia para el desarrollo económico y social. En la historia se puede notar que las ciudades se fundaron a la orilla de los ríos o cerca de presas naturales, para tener al alcance el vital líquido, es así que el agua dulce toma un papel fundamental en las comunidades sedentarias. Actualmente las comunidades no planearon su crecimiento, son ciudades cuya infraestructura ha sido muchas veces rebasada, gran parte de la población que habita estas comunidades tienen grandes carencias económicas y sociales, siendo esto un freno para su desarrollo.

La zona metropolitana de Colima cuenta con suficiente agua para abastecer a más personas de las que ahora habitan esta metrópoli. En lo que se refiere al uso del agua, sólo se necesita hacer conciencia en la población del uso racional del vital líquido para que pueda mantenerse un desarrollo sustentable. La formulación de los procesos requeridos para fomentar la migración hacia esta ciudad, Orizaba o Zacatecas, está fuera del alcance de esta tesis, pero se puede sugerir la activación productiva con incentivos fiscales.

Orizaba tiene un consumo mínimo del agua de los acuíferos, ya que comparando el consumo per cápita del agua de la ZM de Colima o de Zacatecas con el de Orizaba, se observa que para las primeras dos zonas metropolitanas es de 555 m^3 y 724 m^3 anuales, respectivamente, y en Orizaba es de 39 m^3 . Esta diferencia es consecuencia de la gran cantidad de agua en los ríos y presas que tiene esta región, cuestión que también depende de la precipitación pluvial que es de 1,800 m.m. anuales. La zona metropolitana de Orizaba tiene la característica de ser un corredor industrial desde principios del siglo pasado, es por eso que el fomentar la migración hacia esta región no sería una tarea difícil, sólo se trataría de volver a dar impulso al corredor industrial que se encuentra en esta zona.

La zona de Zacatecas tiene un gran rezago tanto económico como social que acarrea de muchos años atrás. Tiene como característica que la principal fuente de agua dulce es la

subterránea, pero con la salvedad de que la recarga es muy poca al año (apenas 400 m.m.) esto está creando un déficit de agua (sobreexplotación de los acuíferos) que se reflejará en pocos años¹⁰. El consumo per cápita de los acuíferos en esta zona metropolitana es muy grande, 724 m³, para la cantidad de agua en los acuíferos, la población en equilibrio es de 188,811 y en 2000 los habitantes eran 241,664 lo que hace ver el alto consumo en comparación con el agua de éstos. Si el consumo de agua de la población de Zacatecas se redujera a la mitad, la población que podría vivir con esa cantidad de agua sería el doble, esta sería una solución, otra sería desalentar la migración y no disminuir la emigración.

Una recomendación a los gobiernos de los estados, en general, es que no consuman más agua de la disponible en los acuíferos, ya que los exponen a la sobreexplotación. Otra es frenar el crecimiento de la población para que el consumo de agua no aumente y se vea reflejado en la escasez del vital líquido. Quizá algunos planificadores del desarrollo social no estén de acuerdo en esta última recomendación, ya que se piensa que a mayor población mayor crecimiento económico, pero la propuesta que hago me parece correcta y la comparo con la política de población desde un punto de vista macrosocial.

¹⁰ Un ejemplo de sobreexplotar los acuíferos se tiene en la Ciudad de México, donde los acuíferos están agotados.

Bibliografía.

- CNA/ SEMARNAP. (2000). *Compendio Básico del Agua en México*. México, 54 p.
- Comisión Nacional del Agua. (2003). *Estadísticas del agua en México*. México. CNA. 105 p.
- Comisión Nacional del agua. (2004). *Estadísticas del agua en México*. México. CNA.
- Consejo Nacional de Población. (2001). *La población de México en el nuevo siglo*. México. CONAPO. 261 p.
- Consejo Nacional de Población. (2002). *Proyecciones de la población, 2000- 2050*. México. CONAPO. 32 p.
- Consejo Nacional de Población.(2002) *La situación demográfica de México*. México. CONAPO. 182 p.
- Consejo Nacional de Población.(2004), comunicación personal, Virgilio Partida Bush.
- Enildo Iglesias y Gerardo Iglesias, (2001), *¡Aguas con el agua!*, <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n20/aeigl.html>.
- Gantmacher, F. R. (1959), *The theory of matrices*, vol. 1. Chelsea, Nueva York.
- Instituto Nacional de Ecología. (2000). *Indicadores para la Evaluación del Desempeño Ambiental. Reporte 2000*. INE. 190p.
- Instituto Nacional de Ecología. (2000b). *Ordenamiento Ecológico General del Territorio, Memoria Técnica 1995-2000*. INE. 540p.
- Instituto Nacional Estadística Geografía e Informática et. al.. (2000). *Indicadores de Desarrollo Sustentable en México*. INEGI. 84 p.
- Instituto Nacional Estadística Geografía e Informática. (2004). *Estadísticas a propósito del Día Mundial del Agua*. INEGI. 11 p.
- Namboođiri, Narayanan Krishnan. (1991). *Demographic analysis: A stochastic approach*. Academic Press, San Diego, California, 370 p.
- Nour, El-Sayed y C.M. Suchindran. (1984). "Multistate life tables: theory and application". *Stochastics: Statistics in Biomedical, Public Health and Environmental Sciences*. USA: 143-162.
- Organización de las Naciones Unidas (1997), Progreso general alcanzado desde la celebración de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo.
- Partida Virgilio. (2004). *Cambios necesarios en la migración interna para alcanzar una distribución deseada de la población*. Prensa.
- Poder Ejecutivo Federal, (2000), *Plan Nacional de Desarrollo, 2000-2006*, México.
- Rogers Andrei. (1968). *Matrix analysis of interregional population growth and distribution*. California. University of California Press, Berkeley. 119 p.
- Unikel, L., C. y R. Garcia (1978), *El desarrollo urbano en México*, El colegio de México.