

**Ciudades y agua:
un enfoque de cuencas
hidrográficas**



3

Introducción

EL DESARROLLO DE LAS CIUDADES sólo puede entenderse en un marco de sostenibilidad, de otra manera es inviable en el largo plazo. En este capítulo se pone especial atención al tema del agua, desde una perspectiva de *cuencas hidrológicas* que resulta innovadora en México. Esta visión del tema del agua en las ciudades ofrece mayor certeza a los análisis y facilita perfilar políticas públicas a la medida del futuro que enfrentará cada ciudad del país en materia de agua.

El capítulo se organiza en ocho secciones. En la primera se explica la perspectiva de las *cuencas hidrológicas* y se vincula con el análisis urbano. En la segunda sección se explora la *disponibilidad de agua*, utilizando como indicador la disponibilidad media anual, que se explica en detalle al inicio de esta misma sección. En la sección 3 se aborda el tema del *déficit de tratamiento de aguas residuales* en las ciudades de México, y en la 4 se examina la *presión hídrica* a escala urbana. La sección 5 amplía el rango de visión y evalúa el *riesgo potencial a la diversidad y la salud humana derivado de las actividades económicas*. La sexta parte sigue en esta línea de amplio espectro y se enfoca a analizar el *cambio climático*, especialmente las anomalías en la temperatura y la precipitación para los años 2020, y se descubren las ciudades que merecen atención prioritaria por las *combinaciones de alteraciones extremas tanto de temperatura como de precipitación* que enfrentarán en los próximos años. En la sección 7 se sintetizan

los indicadores utilizados a lo largo del capítulo y se devela *la dimensión urbana del grado de alteración del funcionamiento de las cuencas y del nivel de presión hídrica esperado* en no mucho tiempo. El capítulo cierra con una sección en la que se compendian los principales hallazgos.

1. El enfoque de cuencas hídricas

La manera como dividimos el territorio determina en gran medida el entendimiento que derivemos de su análisis (Openshaw, 1983). Por lo regular, lo estudiamos dividiéndolo de manera *discreta* (en áreas perfectamente delimitadas) apoyados en fronteras político-administrativas: estados y municipios, o en áreas estadísticas, como las *Áreas Geoestadísticas Básicas* (AGEB). Las fronteras que delimitan cada unidad espacial a menudo responden a razones históricas o políticas, o son francamente arbitrarias, y no se relacionan con el funcionamiento real de las actividades en el espacio o de ecosistemas naturales o manejados (Massey, 1995).

En otras palabras, en pocas ocasiones se entiende el territorio mediante elementos que más que dividirlo, lo *integren*. Éste es el caso de las cuencas hidrográficas, que reconocen las conexiones entre regiones y los flujos de externalidades que se establecen entre ellas, lo que al final permite la vinculación entre asentamientos que pueden localizarse muy alejados unos de otros. Las cuencas otorgan bienes y servicios ambientales fundamentales para la existencia: el suministro de agua dulce, la regulación del caudal de los ríos, el mantenimiento de los regímenes hidrológicos naturales, la regulación de la erosión o la respuesta a eventos naturales extremos, entre otros. De hecho, la pertinencia de entender y gestionar el territorio a través de sus cuencas ha motivado a algunos países a definir las para establecer soluciones *integrales* a problemas ambientales (Cotler, 2010).

Adicionalmente,

El sistema agua es transversal a todos los sistemas humanos y naturales y la cuenca es el marco funcional de relaciones espaciales entre los elementos biofísicos y humanos, cuya expresión puede ser evaluada a través del agua. Por ello, la cuenca constituye la unidad idónea para aproximarse al estudio de la evaluación del riesgo, la gestión de los recursos hídricos y el manejo del territorio ante el cambio climático (Murrieta *et al.*, 2010: 138).

El primer mapa consensuado de cuencas hidrográficas de México lo generaron, en 2007, tres agencias gubernamentales: INEGI, INE y Conagua, y de entonces a la fecha, se han realizado diversos ejercicios de demarcación que utilizan otros límites territoriales.¹ En este libro, se utiliza como base el estudio coordinado por Helena Cotler (2010), debido a que analiza una gran diversidad de variables relevantes para ofrecer el panorama geográfico más reciente sobre las principales condiciones socioambientales de las cuencas, incluyendo las interacciones y repercusiones de las actividades socioeconómicas sobre su integridad ecológica, y la priorización de todas las cuencas hidrográficas en función de temas estratégicos, que permiten apoyar el diseño y el mejoramiento de la política ambiental de México (Cotler *et al.*, 2007: 4).

Además, las variables del espléndido trabajo coordinado por Cotler (2010: 7) son:

- i. *Relevantes* para la explicación de la condición funcional de las cuencas.
- ii. *Consistentes* a nivel espacial (lo que permite lograr una cobertura nacional) y temporal.
- iii. *Interpretables*.
- iv. *Confiables* (construidos con una metodología sólida y validada).
- v. *Actualizados*.²

Estas cinco características son centrales para este capítulo.

Aún más, el trabajo coordinado por Cotler (2010) tiene una gran ventaja: está pensado y diseñado como *fuentes de información*. Cotler misma (2010) dice:

A partir del análisis de la información presentada en este estudio, pueden surgir muchas preguntas particulares sobre determinada cuenca o tema. Las respuestas requerirán necesariamente de una mayor intensidad de datos y/o de una expresión distinta de éstos [...]. Esperamos que esta nueva y distinta mirada al territorio nacional permita encontrar y proponer nuevas formas de estudio, de interpretación y de atención, gubernamental y social, que posibiliten un acercamiento diferenciado como territorios bioculturales, cuyo aprovechamiento y conservación requiere necesariamente de una planeación por cuencas (Cotler, 2010: 7).

¹ INEGI: Instituto Nacional de Estadística y Geografía; INE: Instituto Nacional de Ecología; Conagua: Comisión Nacional del Agua.

² En el excelente estudio coordinado por Cotler (2010), más que compilar todos los indicadores existentes, se retoman los que mejor expresan el estado de la estructura y el funcionamiento de las cuencas hidrográficas.

Esto es justamente lo que se intenta en este capítulo: interpretar de una manera diferente los datos tan valiosos que presentan Cotler y sus colegas sobre las cuencas hidrográficas de México, *en el marco del conjunto de ciudades del país*. El propósito es descubrir la dimensión urbana de la información ambiental y derivar líneas de acción más integrales, que empiecen a conjugar la planeación de ciudades con la planeación por cuencas hidrográficas.

Con el fin de lograr resultados más orientados a lo estratégico y más comprensibles, el análisis de este capítulo se concentra en las 50 ciudades más importantes del país, que representan 66.6 millones de habitantes equivalentes a 79.1% de la población urbana nacional.

Una advertencia sobre lo que sigue: cuando se dice que una ciudad está en una situación de *riesgo mediano o bajo*, no significa que el riesgo puede ser ignorado, dado que un riesgo mediano o bajo no expresa que la situación para la ciudad sea segura o inocua. Lo que indica la categoría cualitativa (i.e, alto, mediano, bajo) es, simplemente, una *medida relativa de riesgo* entre las diversas ciudades del país.

2. Disponibilidad natural media anual de agua

La disponibilidad natural de agua representa el volumen de agua neto por año existente en un territorio. A escala nacional, se calcula a partir de la suma de la precipitación y el volumen de agua escurrido proveniente del extranjero, menos el volumen correspondiente a la evapotranspiración y el que escurre a otros países (Bunge, 2010a).

Esto se puede expresar de la siguiente manera:

$$\text{Disponibilidad natural media} = (Pp + \text{Importaciones}) - (Et + \text{Exportaciones})$$

Donde:

- Pp*: Precipitación
- Importaciones*: Agua que escurre al territorio nacional proveniente de otros países
- Et*: Evapotranspiración
- Exportaciones*: Agua que escurre del territorio nacional hacia otros países

La disponibilidad natural de agua es equivalente al concepto de aguas renovables que se maneja en las *Estadísticas del Agua en México* (Conagua, 2008), y hace referencia al volumen de agua que cada año se renueva por precipitación. En el estudio coordinado por Cotler (2010), la disponibilidad natural anual de agua (o el volumen de aguas renovables) para cada una de las 393 cuencas de México se estimó interpolando los datos que ofrece Conagua para las 37 regiones hidrológicas en que divide al país, considerando la precipitación media anual de cada territorio, y los coeficientes de escurrimiento e infiltración estimados por Conagua (2010). Finalmente, para facilitar la comparación de los resultados entre cuencas de tamaños tan diversos, el valor resultante de la disponibilidad natural de agua se dividió entre la superficie de cada cuenca. Así, la cartografía de Bunge (2010a) que sintetiza los resultados, muestra la disponibilidad natural de agua por kilómetro cuadrado.

La latitud de México provoca que sólo se registren precipitaciones en algunos meses del año. Esto contrasta con lo que ocurre en países y regiones localizados en latitudes más favorables, como el norte de los Estados Unidos y diversos países europeos que registran periodos de precipitación más prolongados. Esta situación de México complica la gestión del agua porque implica mayor costo de la infraestructura requerida para el almacenamiento y drenaje del agua, que por lo general es altamente inequitativo, y que provoca que los asentamientos más pobres estén en situación de mucha mayor vulnerabilidad a inundaciones y escasez de agua (Bunge, 2010a).

En términos espaciales, las cuencas localizadas en el centro y norte del país registran baja disponibilidad natural de agua, debido a que su precipitación media anual es menor a 500 mm. Sin embargo, la *paradoja económica del agua* es que en estas cuencas es donde se concentra una gran proporción de población y de actividades económicas (véanse capítulos anteriores de este libro).

Esto contrasta con la situación en la península de Yucatán (y en prácticamente todo el sureste), donde la disponibilidad natural media de agua es alta, pero concentra menos de 10% de la población del país. No obstante, en el sur y sureste de México se detecta el mayor número de habitantes sin acceso al servicio de agua potable. A esta situación la podríamos llamar la *paradoja social del agua*. Por ejemplo, en los estados de Chiapas y Oaxaca, sólo uno de cada cuatro habitantes (alrededor de 73%) tiene acceso a agua potable, mientras que en el Distrito Federal, Aguascalientes y Coahuila, más de 97% de las personas cuentan con el servicio. Las primeras conclusiones son interesantes: *i.* la magnitud poblacional no se relaciona con la disponibilidad de agua potable; y,

ii. la abundancia de agua tampoco está relacionada con la disponibilidad social de agua potable (Bunge, 2010a).

La contaminación de los cuerpos de agua es un factor de gran importancia que limita su disponibilidad. En nuestro país, las aguas superficiales que escurren por ríos y arroyos o que se almacenan en lagos, lagunas y humedales representan 82% del agua renovable total del país. El resto del agua se encuentra en formaciones subterráneas. El grave problema es que una gran parte de las fuentes superficiales de agua muestran una calidad deficiente debido a que reciben descargas de aguas residuales sin tratamiento. Por esto, el agua para abastecimiento doméstico y público proviene básicamente de fuentes subterráneas, que tienen mejor calidad, pero que usualmente son sobreexplotadas para satisfacer las necesidades de los sectores agrícola e industrial (Bunge, 2010a).

Cabe mencionar que en ocasiones se ha planteado desalinizar el agua de mar para satisfacer las necesidades actuales y futuras de las regiones con baja disponibilidad natural de agua. Sin embargo, las tecnologías de desalinización aún no están maduras, y los costos económicos y ambientales que implican aún son superiores a sus beneficios. En estos momentos, la estrategia más viable es invertir para *modernizar la infraestructura hidráulica, minimizar las fugas de agua, e impulsar la cultura del ahorro* del recurso.

Debe destacarse que en México se ha fortalecido sistemáticamente la infraestructura abastecedora de agua potable, y la población con cobertura del servicio se ha incrementado de 75% en 1990 a 90.3% en 2008 (INEGI, 1990, 2000, 2005; Conagua, 2008). Sin embargo, en ocasiones esta nueva infraestructura ha tenido un impacto negativo sobre la funcionalidad de diversos ecosistemas (Bunge, 2010a).

2.1. La dimensión urbana de la disponibilidad natural de agua

Para estimar la situación de disponibilidad natural de agua a escala urbana, se localizaron las 50 principales ciudades del país (ciudades *Top 50*: que concentran 79.1% de la población urbana nacional) en el mapa de resultados por cuenca hidrológica de Bunge (2010a) (Cuadro 3.1.). Luego, las ciudades *Top 50* se clasificaron en cuatro categorías de acuerdo con su *volumen natural disponible promedio de agua por año*: i. bajo (0-100 hm³ / km² / año);³ ii. medio (100-350); iii. alto (350-1 200), y iv. muy alto (> 1 200) (véase Figura 3.1).

³ Hm³ es la abreviatura de hectómetro cúbico. Equivale a un cubo de cien metros por lado: mil millones de litros.

Cuadro 3.1
Principales 50 ciudades del país:
disponibilidad natural media anual de agua

Rango por población 2010	Ciudad	Población	Población acumulada	Población (%)	Población (%) acumulada	Volumen natural disponible de agua (hm ³ / km ² / año)
Volumen natural disponible de agua: bajo						
3	ZM de Monterrey	4 089 962	4 089 962	5.1	5.1	3
6	ZM de Tijuana	1 751 430	5 841 392	2.2	7.3	3
8	ZM de Juárez	1 332 131	7 173 523	1.7	8.9	3
9	ZM de La Laguna	1 215 817	8 389 340	1.5	10.4	3
11	ZM de San Luis Potosí-S. de GS	1 040 443	9 429 783	1.3	11.7	3
13	ZM de Mexicali	936 826	10 366 609	1.2	12.9	3
18	ZM de Chihuahua	852 533	11 219 142	1.1	14.0	3
19	ZM de Saltillo	823 128	12 042 270	1.0	15.0	3
23	ZM de Reynosa-Río Bravo	727 150	12 769 420	0.9	15.9	3
24	Hermosillo	715 061	13 484 481	0.9	16.8	3
34	ZM de Matamoros	489 193	13 973 674	0.6	17.4	3
39	ZM de Nuevo Laredo	384 033	14 357 707	0.5	17.9	3
46	ZM de Monclova-Frontera	317 313	14 675 020	0.4	18.2	3
48	Ciudad Victoria	305 155	14 980 175	0.4	18.6	3

Bajo (0-100) = 3
 Medio (100-350) = 2
 Alto (350-1,200) = 1
 Muy alto (>1,200) = 0

Rango por población 2010	Ciudad	Población	Población acumulada	Población (%)	Población (%) acumulada	Volumen natural disponible de agua (hm ³ / km ² / año)
49	Ciudad Obregón	303 126	15 283 301	0.4	19.0	3
50	ZM de Zacatecas-Guadalupe	298 167	15 581 468	0.4	19.4	3
Volumen natural disponible de agua: medio						
1	ZM del Valle de México	20 116 842	20 116 842	25.0	25.0	2
2	ZM de Guadalupe	4 434 878	24 551 720	5.5	30.5	2
4	ZM de Puebla-Tlaxcala	2 668 437	27 220 157	3.3	33.8	2
5	ZM de Toluca	1 846 116	29 066 273	2.3	36.1	2
7	ZM de León	1 609 504	30 675 777	2.0	38.1	2
10	ZM de Querétaro	1 097 025	31 772 802	1.4	39.5	2
14	ZM de Aguascalientes	932 369	32 705 171	1.2	40.7	2
15	ZM de Cuernavaca	876 083	33 581 254	1.1	41.8	2
17	ZM de Tampico	859 419	34 440 673	1.1	42.8	2
20	ZM de Morelia	807 902	35 248 575	1.0	43.8	2
26	Culiacán Rosales	675 773	35 924 348	0.8	44.7	2
27	ZM de Xalapa	666 535	36 590 883	0.8	45.5	2
30	Victoria de Durango	518 709	37 109 592	0.6	46.1	2
32	ZM de Pachuca	512 196	37 621 788	0.6	46.8	2

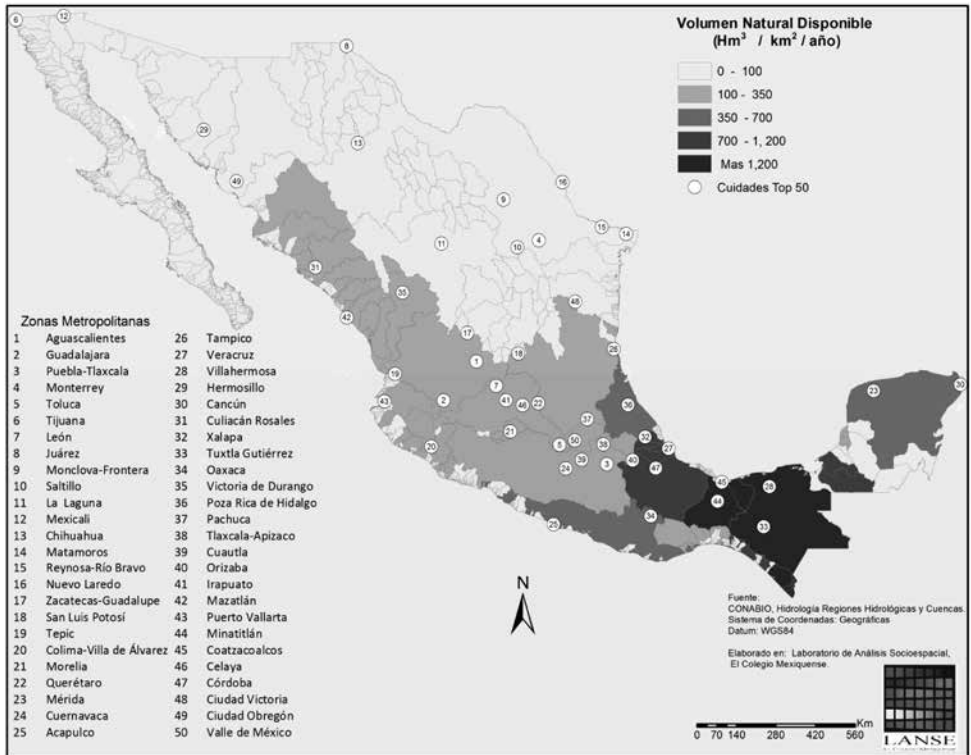
Rango por población 2010	Ciudad	Población	Población acumulada	Población (%)	Población (%) acumulada	Volumen natural disponible de agua (hm ³ / km ² / año)
33	ZM de Tlaxcala-Apizaco	499 567	38 121 355	0.6	47.4	2
35	ZM de Cuautla	434 147	38 555 502	0.5	47.9	2
36	ZM de Tepic	429 351	38 984 853	0.5	48.5	2
37	ZM de Orizaba	410 508	39 395 361	0.5	49.0	2
38	Irapuato	396 975	39 792 336	0.5	49.5	2
40	Mazatlán	381 583	40 173 919	0.5	50.0	2
41	ZM de Puerto Vallarta	379 886	40 553 805	0.5	50.4	2
44	Celaya	340 387	40 894 192	0.4	50.8	2
45	ZM de Colima-Villa de Álvarez	334 240	41 228 432	0.4	51.3	2
47	ZM de Córdoba	316 032	41 544 464	0.4	51.7	2
Volumen natural disponible de agua: alto						
12	ZM de Mérida	973 046	973 046	1.2	1.2	1
16	ZM de Acapulco	863 431	1 836 477	1.1	2.3	1
21	ZM de Veracruz	801 295	2 637 772	1.0	3.3	1
25	ZM de Cancún	677 379	3 315 151	0.8	4.1	1
29	ZM de Oaxaca	593 658	3 908 809	0.7	4.9	1
31	ZM de Poza Rica	513 518	4 422 327	0.6	5.5	1

Bajo (0-100) = 3
Medio (100-350) = 2
Alto (350-1,200) = 1
Muy alto (>1,200) = 0

Rango por población 2010	Ciudad	Población	Población acumulada	Población (%)	Población (%) acumulada	Volumen natural disponible de agua (hm ³ / km ² / año) Bajo (0-100) = 3 Medio (100-350) = 2 Alto (350-1,200) = 1 Muy alto (>1,200) = 0
42	ZM de Minatitlán	356 137	4 778 464	0.4	5.9	1
43	ZM de Coatzacoalcos	347 257	5 125 721	0.4	6.4	1
Volumen natural disponible de agua: muy alto						
22	ZM de Villahermosa	755 425	755 425	0.9	0.9	0
28	ZM de Tuxtla Gutiérrez	640 977	1 396 402	0.8	1.7	0
	Suma	63 648 055	...	79.1	...	...
	Suma resto urbano	16 773 247	...	20.9	...	...
	Total urbano	80 421 302	...	100.0	...	...

Fuente: Bunge, 2010a; Base de Datos Conapo, 2011, y cálculos propios.

Figura 3.1
Principales 50 ciudades del país: disponibilidad natural media anual de agua



Fuente: Cotler, 2010; y elaboración propia; realización: Laboratorio de Análisis Socioespacial de El Colegio Mexiquense.

Ciudades con volumen natural disponible de agua bajo

En términos generales, las ciudades con volumen natural disponible de agua (VolNatDA) *bajo* se localizan en las regiones Norte y Centro-Norte del país, incluyendo ciudades tan importantes como las ZM de Monterrey (una de las tres *megaciudades* de México), Tijuana, Ciudad Juárez, La Laguna (que están entre las 10 más pobladas de México) y la ZM de San Luis Potosí (que ocupa el lugar 11 en el *ranking* por población). Se debe destacar que en esta categoría están todas las ciudades de la franja fronteriza con los Estados Unidos, y algunos centros regionales de gran importancia como Hermosillo y Ciudad Obregón.

De las ciudades *Top 50*, 15.6 millones de habitantes viven en ciudades con VolNatDA bajo. Es decir: uno de cada cinco habitantes de las principales 50 ciudades del país están en esta situación, lo que debe ser considerado un insumo

muy importante para seleccionar las actividades económicas que se pueden localizar en cada una de estas áreas urbanas: que no sean altas consumidoras ni contaminadoras de agua (como ya lo está haciendo la ZM de San Luis Potosí) (véanse Figura 3.1 y cuadro 3.1).

Ciudades con volumen natural disponible de agua medio

La mitad de la población de las ciudades *Top 50* están en esta categoría (lo que equivale a 41.5 millones de habitantes), incluyendo dos megaciudades (las ZM del Valle de México y Guadalajara) y otras tan importantes como las ZM de Puebla-Tlaxcala, Toluca, León, Querétaro y Aguascalientes (salvo la ZM de Aguascalientes, las demás están entre las 10 más pobladas del país.) Las ciudades en esta categoría disponen de un recurso tan importante como el agua para el bienestar de sus ciudadanos y el desarrollo de las actividades productivas, pero deben ser cuidadosas en su manejo y administración. En particular, las ciudades de gran tamaño (las megaciudades del valle de México y Guadalajara) o en rápido crecimiento (las ZM de Puebla-Tlaxcala, Toluca y Querétaro especialmente) (cuadro 3.1).

Es notable cómo la actividad productiva nacional se concentra en las ciudades que están en las categorías de VolNatDA *bajo* y *medio*, lo que implica importantes retos en materia de manejo del agua para el presente y el futuro de estos asentamientos. Las ciudades en estas dos categorías son las *ciudades estratégicas* en materia de planeación del agua.

Ciudades con volumen natural disponible de agua alto y muy alto

Todas estas ciudades están localizadas en las regiones Sur y Sureste del país, así como en la Península de Yucatán. Se debe recordar que la Península de Yucatán, con un elevado VolNatDA, cuenta con dos motores económicos altamente dinámicos como son las ZM de Mérida y Cancún, lo que abre importantes opciones de desarrollo en toda esa región de aproximadamente 145 000 km². El problema es que ambas ZM están localizadas al norte de la península y son relativamente poco accesibles para el sur de Campeche y de Quintana Roo, que no tienen opciones importantes de nodos que articulen y propulsen el desarrollo urbano y regional (véase Figura 3.2).

Por su parte, las regiones del Sur y Sureste son las más rezagadas del país (tanto en términos económicos como sociales), y, sin embargo, tienen un *alto*

y *muy alto* VolNatDA. En estas regiones se localizan ciudades que no han demostrado una alta potencia motriz en el pasado reciente, como las ZM de Acapulco, Veracruz, Oaxaca, Poza Rica, Minatitlán y Coatzacoalcos (todas con altos niveles de VolNatDA), y otras que parecen estar en proceso de despegue como Villahermosa y Tuxtla Gutiérrez y que cuentan con niveles de VolNatDA muy altos.

Alrededor de 6.5 millones de personas se localizan en estas ciudades con niveles de VolNatDA *altos* y *muy altos*, pero lo dramático y contradictorio de la situación es que, por un lado, no se ha aprovechado cabalmente la disponibilidad de agua para impulsar las actividades económicas, pero tampoco se ha aprovechado la disponibilidad del recurso para dotar a la población del servicio de agua potable (estas regiones registran los índices de cobertura más bajos del país: Bunge, 2010a; véase el capítulo sobre disponibilidad de servicios básicos *tradicionales* de este libro), y, para completar el panorama, año con año sufren terribles embates de inundaciones. Esto demuestra que la disponibilidad del recurso no es elemento suficiente para impulsar el desarrollo, sino que se requieren esquemas adecuados para su planeación, manejo y administración.

Figura 3.2
Península de Yucatán



Fuente: Casa Catalá de la Península de Yucatán, A.C.

3. Déficit de tratamiento de aguas residuales

En nuestro país, las descargas de aguas residuales se clasifican en *municipales* e *industriales*. Las primeras son captadas en los sistemas de alcantarillado municipal, y las segundas son generadas por el sector industrial y deben ser tratadas por las industrias. En 2008 se trataban alrededor de 35% de las aguas residuales municipales y 18% de las aguas residuales industriales (Conagua, 2010). Para dimensionar estos porcentajes cabe hacer la comparación con la región latinoamericana, que, en promedio, trata 10% de las aguas residuales, mientras en Europa el promedio varía de 20% a 98% (Bunge, 2010b).

El indicador que se analiza en esta sección fue calculado a escala de cuenca hidrográfica por Bunge (2010b) y “considera únicamente las aguas residuales de origen público-urbano” (p. 92; que son las aguas municipales).⁴ Así que este indicador se estimó suponiendo que 75% de las aguas concesionadas para uso público-urbano se transforman en aguas residuales. De esta manera, el porcentaje tratado por cuenca resulta de dividir el volumen de aguas tratadas entre el volumen de aguas residuales generadas por municipio (Bunge, 2010b: 92) (Cuadro 3.2).

Un problema crítico en México es que gran parte de las aguas residuales *no tratadas* se vierten directamente en cuerpos de agua, lo que provoca su contaminación. Esta contaminación es más grave si las descargas se realizan en las partes más altas de las cuencas porque los ríos y arroyos arrastrarán los contaminantes a lo largo de todo su recorrido. Esto genera graves problemas de salud, especialmente infecciones intestinales y respiratorias, que son la principal causa de muerte en niños menores de cinco años (Bunge, 2010b). Conagua estima que si se controla el saneamiento en una región, se podría reducir en un tercio (32%) la frecuencia de enfermedades diarreicas (Conagua, 2008).

A escala de cuenca, sólo la quinta parte trata más del 50% de sus aguas residuales. Es importante señalar que las cuencas “que aparecen sin déficit de tratamiento de aguas residuales pueden ser resultado de un error en la información oficial reportada” (Bunge, 2010b: 92), más que de la eficiencia de los diversos procesos de tratamiento que se utilizan en el país (véase Cuadro 3.2).

Los datos indican, conservadoramente, que 64% de las plantas de tratamiento del país vierten sus aguas tratadas en cuerpos de agua naturales (ríos, arroyos, esteros, acuíferos o en el mar, Cuadro 3.3). Como la mayor parte del

⁴ Si bien Conagua ofrece información sobre el “caudal tratado”, no cuenta con datos de la cantidad de aguas residuales generadas.

Cuadro 3.2
Procesos de tratamiento de aguas residuales, 2007
(millones de litros [hm³] por año)

<i>Tipo de proceso</i>	<i>Plantas en operación</i>	<i>Caudal tratado</i>	<i>% caudal tratado</i>
Lodos activados	417	35.14	44.0
Lagunas de estabilización	645	14.24	18.0
Primario avanzado	14	8.68	11.0
Lagunas aireadas	26	6.08	8.0
Filtros biológicos	74	3.56	4.0
Primario avanzado	13	2.07	3.0
Zanjas de oxidación	20	2.18	3.0
Otros	501	7.35	9.0
Total	1 710	79.30	100.0

Fuente: Bunge, 2010b.

Cuadro 3.3
Plantas de tratamiento y caudal de aguas residuales que se vierten a los distintos cuerpos receptores, 2007

<i>Cuerpo receptor</i>	<i>% plantas que vierten</i>	<i>% caudal vertido</i>
Ríos y arroyos	33.0	51.0
Reutilización en riego	20.0	16.0
Suelo	10.0	3.0
Cuerpo artificial (presas, canales, drenes)	6.0	8.0
Mar	2.0	6.0
Reutilización en industria	1.0	5.0
Lagunas, esteros, marismas y pantanos	8.0	3.0
Acuífero	4.0	2.0
Lago	1.0	2.0
No especificado	14.0	5.0

Fuente: Bunge, 2010b.

caudal tratado no remueve la totalidad de los patógenos y sólidos suspendidos, pocas veces se cumple con la norma NOM-001-SEMARNAT-1996 y los cuerpos de agua resultan severamente contaminados. Cuando el agua residual no tratada se vierte en cuerpos de agua, se afecta a las comunidades más marginadas que no disponen de servicio de agua entubada y que consumen agua directamente de reservorios naturales o artificiales (Bunge, 2010b: 95).

A escala de cuenca, los análisis especializados muestran que la probable explicación de los niveles de saneamiento de aguas residuales se debe más a la fortaleza de las instituciones locales y a la buena planeación de las plantas de tratamiento, que a las condiciones económicas de las regiones. El reto, entonces, es concienciar a los sectores de la sociedad para impulsar la construcción de la infraestructura de saneamiento bien planeada que requiere el desarrollo de las regiones y ciudades del país.

3.1. La dimensión urbana del déficit de tratamiento de aguas residuales

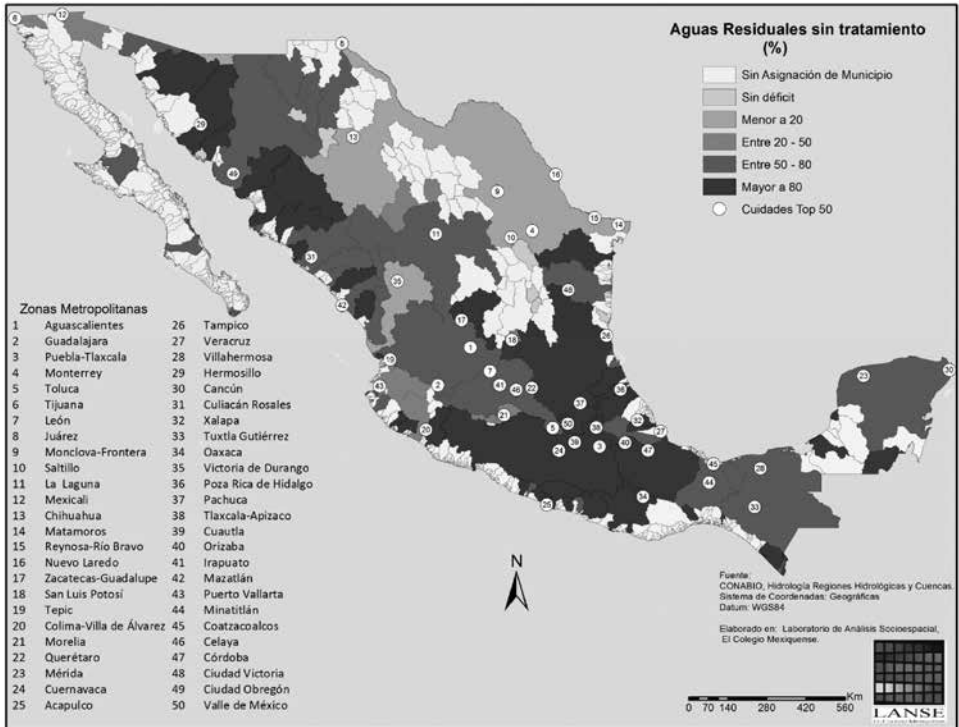
Las ciudades *Top 50* se clasificaron en cuatro categorías de acuerdo con su déficit de volumen de tratamiento de aguas residuales: *i.* muy alto (> 80%); *ii.* alto (de 50% a 80%); *iii.* medio (de 20% a 49%); y *iv.* bajo (< 20%) (Figura 3.3; Cuadro 3.4).

Ciudades con déficit de tratamiento de aguas residuales muy alto

En esta categoría se encuentra la ciudad más importante del país (la ZM del Valle de México: 20.1 millones de habitantes) y la ZM de Puebla-Tlaxcala, que es la cuarta ciudad más poblada de México (2.7 millones de habitantes). Si a estas dos ciudades se le añade la ZM de Cuernavaca (876 000 habitantes), Pachuca (512 000 habitantes), Tlaxcala-Apizaco (600 000 habitantes) y Cuautla (434 000 habitantes), resulta que alrededor de 25.2 millones de habitantes de la megalópolis de la ciudad de México, la *región urbana* más importante del país, están en situación de alto déficit de tratamiento de aguas residuales. En otras palabras, la red de ciudades que debería ser ejemplo nacional en este tema es la más rezagada.

En total, 28.8 millones de habitantes (equivalentes a 36.8% de la población de las ciudades *Top 50*) viven en ciudades con muy alto déficit de tratamiento de aguas residuales, categoría donde conviven ciudades de alto calado como

Figura 3.3
Principales 50 ciudades del país: déficit de tratamiento de aguas residuales



Fuente: Cotler, 2010; y elaboración propia; realización: Laboratorio de Análisis Socioespacial de El Colegio Mexiquense.

la ZM del Valle de México, centros de gran importancia regional (como la ZM de Hermosillo) y capitales estatales con gran necesidad de reciclar agua (por ejemplo: la ZM de Zacatecas-Guadalupe).

Ciudades con déficit de tratamiento de aguas residuales alto

Del total de las ciudades *Top 50*, 23 están en esta categoría. Destaca el hecho de que se incluyen grandes ciudades como las ZM de Guadalajara (la segunda más poblada del país: 4.4 millones de habitantes), Toluca (1.8 millones de habitantes), León (1.6 millones), La Laguna (1.2 millones), Querétaro (1.1 millones), Mérida (973 000 habitantes) o Aguascalientes (932 000). Esto provoca que, en total, uno de cada cinco habitantes de las ciudades *Top 50* (20.4 millones) viva en ciudades con alto déficit de tratamiento de aguas residuales. En otras palabras: 61.2% de la población de las ciudades *Top 50* registran déficits

Cuadro 3.4
Principales 50 ciudades del país: déficit de tratamiento de aguas residuales

Rango por población 2010	Ciudad	Población	Población acumulada	Población (%)	Población (%) acumulada	Déficit de tratamiento de aguas residuales >
Ciudades con déficit > 80%						
1	ZM del Valle de México	20 116 842	20 116 842	25.0	25.0	3
4	ZM de Puebla-Tlaxcala	2 668 437	22 785 279	3.3	28.3	3
15	ZM de Cuernavaca	876 083	23 661 362	1.1	29.4	3
16	ZM de Acapulco	863 431	24 524 793	1.1	30.5	3
24	Hermosillo	715 061	25 239 854	0.9	31.4	3
29	ZM de Oaxaca	593 658	25 833 512	0.7	32.1	3
31	ZM de Poza Rica	513 518	26 347 030	0.6	32.8	3
32	ZM de Pachuca	512 196	26 859 226	0.6	33.4	3
33	ZM de Tlaxcala-Apizaco	499 567	27 358 793	0.6	34.0	3
35	ZM de Cuautla	434 147	27 792 940	0.5	34.6	3
42	ZM de Minatitlán	356 137	28 149 077	0.4	35.0	3
48	Ciudad Victoria	305 155	28 454 232	0.4	35.4	3

80% = 3
 50%-80% = 2
 20%-49% = 1
 < 20% = 0

Rango por población 2010	Ciudad	Población	Población acumulada	Población (%)	Población (%) acumulada	Déficit de tratamiento de aguas residuales > 80% = 3 50%-80% = 2 20%-49% = 1 < 20% = 0
50	ZM de Zacatecas-Guadalupe	298 167	28 752 399	0.4	35.8	3
Ciudades con déficit de 50% a 80%						
2	ZM de Guadalajara	4 434 878	4 434 878	5.5	5.5	2
5	ZM de Toluca	1 846 116	6 280 994	2.3	7.8	2
7	ZM de León	1 609 504	7 890 498	2.0	9.8	2
9	ZM de La Laguna	1 215 817	9 106 315	1.5	11.3	2
10	ZM de Querétaro	1 097 025	10 203 340	1.4	12.7	2
12	ZM de Mérida	973 046	11 176 386	1.2	13.9	2
14	ZM de Aguascalientes	932 369	12 108 755	1.2	15.1	2
17	ZM de Tampico	859 419	12 968 174	1.1	16.1	2
21	ZM de Veracruz	801 295	13 769 469	1.0	17.1	2
22	ZM de Villahermosa	755 425	14 524 894	0.9	18.1	2
25	ZM de Cancún	677 379	15 202 273	0.8	18.9	2
26	Culiacán Rosales	675 773	15 878 046	0.8	19.7	2
27	ZM de Xalapa	666 535	16 544 581	0.8	20.6	2
28	ZM de Tuxtla Gutiérrez	640 977	17 185 558	0.8	21.4	2
36	ZM de Tepic	429 351	17 614 909	0.5	21.9	2
37	ZM de Orizaba	410 508	18 025 417	0.5	22.4	2

Rango por población 2010	Ciudad	Población	Población acumulada	Población (%)	Población (%) acumulada	Déficit de tratamiento de aguas residuales > 80% = 3 50%-80% = 2 20%-49% = 1 < 20% = 0
40	Mazatlán	381 583	18 407 000	0.5	22.9	2
41	ZM de Puerto Vallarta	379 886	18 786 886	0.5	23.4	2
43	ZM de Coatzacoalcos	347 257	19 134 143	0.4	23.8	2
44	Celaya	340 387	19 474 530	0.4	24.2	2
45	ZM de Colima-Villa de Álvarez	334 240	19 808 770	0.4	24.6	2
47	ZM de Córdoba	316 032	20 124 802	0.4	25.0	2
49	Ciudad Obregón	303 126	20 427 928	0.4	25.4	2
Ciudades con déficit de 20% a 50%						
6	ZM de Tijuana	1 751 430	1 751 430	2.2	2.2	1
11	ZM de San Luis Potosí-S. de GS	1 040 443	2 791 873	1.3	3.5	1
13	ZM de Mexicali	936 826	3 728 699	1.2	4.6	1
20	ZM de Morelia	807 902	4 536 601	1.0	5.6	1
Ciudades con déficit < 20%						
3	ZM de Monterrey	4 089 962	4 089 962	5.1	5.1	0
8	ZM de Juárez	1 332 131	5 422 093	1.7	6.7	0
18	ZM de Chihuahua	852 533	6 274 626	1.1	7.8	0
19	ZM de Saltillo	823 128	7 097 754	1.0	8.8	0
23	ZM de Reynosa-Río Bravo	727 150	7 824 904	0.9	9.7	0

Rango por población 2010	Ciudad	Población	Población acumulada	Población (%)	Población (%) acumulada	Déficit de tratamiento de aguas residuales > 80% = 3 50%-80% = 2 20%-49% = 1 < 20% = 0
30	Victoria de Durango	518 709	8 343 613	0.6	10.4	0
34	ZM de Matamoros	489 193	8 832 806	0.6	11.0	0
38	Irapuato	396 975	9 229 781	0.5	11.5	0
39	ZM de Nuevo Laredo	384 033	9 613 814	0.5	12.0	0
46	ZM de Monclova-Frontera	317 313	9 931 127	0.4	12.3	0
	Suma	63 648 055	...	79.1	...	...
	Suma resto urbano	16 773 247	...	20.9	...	...
	Total Urbano	80 421 302	...	100.0	...	...

Fuente: Bunge 2010b; Conapo 2011. Cálculos propios.

muy altos o altos. Esto es, casi dos de cada tres habitantes de las principales 50 ciudades del país están sobreexuestos a los riesgos sanitarios de vivir en esta condición, especialmente los niños.

Ciudades con déficit de tratamiento de aguas residuales medio y bajo

Cuatro ciudades se ubican en la categoría de *déficit medio*: dos fronterizas con los Estados Unidos y muy vinculadas entre sí (las ZM de Tijuana: una de las 10 ciudades más pobladas de México, y Mexicali), y dos localizadas en el interior del país (las ZM de San Luis Potosí, ciudad de más de un millón de habitantes que ocupa el lugar 11 en la jerarquía de ciudades por población, y Morelia). Estas cuatro ciudades suman 4.5 millones de personas, equivalentes a 5.6% del total de la población de las ciudades *Top 50*. Dado el tamaño de estas ciudades y las capacidades financieras de algunas de ellas (especialmente de las ZM de San Luis Potosí y Morelia), se puede decir que han realizado importantes esfuerzos por reducir sus déficits de tratamiento de aguas residuales. Esto es particularmente valioso en los casos que registran bajos volúmenes naturales disponibles de agua, justamente como las ZM de Tijuana, Mexicali y San Luis Potosí.

En la categoría de *déficit bajo* se ubican 10 ciudades. Varias de ellas muy importantes como las ZM de Monterrey (la tercera megaciudad de México) y Ciudad Juárez, que forma parte de las ciudades millonarias del país (1.3 millones de habitantes). Es interesante notar que mientras las grandes ciudades fronterizas con los Estados Unidos de la Región Noroeste (las ZM de Tijuana y Mexicali) están en situación de déficit medio, las ciudades fronterizas de las regiones Norte y Noreste están en situación de déficit bajo (las ZM de Ciudad Juárez, Reynosa-Río Bravo, Matamoros y Nuevo Laredo). Esto demuestra que, en general, las ciudades de la frontera norte están realizando esfuerzos muy importantes en materia de saneamiento, quizá por su cercanía cultural y técnica con los Estados Unidos. Un *efecto de demostración* similar también parece ocurrir en ciudades como la ZM de Chihuahua (que está muy vinculada con la de Ciudad Juárez) y las ZM de Saltillo y Monclova-Frontera, que interactúan intensamente con la ZM de Monterrey.

Vale mencionar dos ciudades que están en esta categoría de déficit bajo, que deberían ser estudiadas en mayor detalle por el éxito que han tenido en materia de saneamiento: Victoria de Durango (518 000 habitantes) e Irapuato (397 000). Mientras que sus ciudades vecinas registran desempeños poco alentadores en materia de saneamiento, estas dos ciudades despuntan a nivel nacional.

4. Presión hídrica en las ciudades de México

La presión hídrica de una región es el porcentaje de agua extraída respecto a la disponibilidad natural media total. El incremento de la población y los cambios en los patrones de consumo de agua (de las personas y las actividades) incrementan la demanda de agua, y la falta de saneamiento afecta la disponibilidad del recurso de buena calidad (véase sección 2 de este capítulo).⁵

Para muestra, un dato: entre 1900 y 1995, la población se triplicó, mientras que el consumo de agua se multiplicó por seis. En los cambios de los patrones de consumo influyen de manera muy importante las nuevas tecnologías, que permiten ahora realizar actividades donde antes las limitaciones biofísicas impedían su realización. Por ejemplo, la edificación de ciudades en lugares con muy poca disponibilidad de agua, como Las Vegas (Estados Unidos) o Dubái (Emiratos Árabes), o la realización de actividades como los vergeles en zonas áridas de Israel o de la península de Baja California. Adicionalmente, en nuestro país la construcción de presas ha alterado 31% de los ríos del país, y la agricultura, principalmente, ha contribuido a la sobreexplotación de 15% de los acuíferos de México. La actividad que más agua consume es la agrícola y luego viene el consumo en los asentamientos humanos (Bunge, 2010c).

A todo esto se le deben adicionar los efectos del *cambio climático*. Para los próximos años se esperan aumentos en la temperatura y disminuciones en la precipitación, lo que provocará que prácticamente todas las regiones del país dispongan de menos agua (véase sección 5 de este capítulo). La Norma del Consejo Mundial del Agua (*World Water Council*) determina que un territorio está sometido a fuerte presión hídrica cuando se explota más de 40% del agua naturalmente disponible (véase Cuadro 3.5).

Bunge (2010c) construye un mapa que muestra la presión hídrica por cuenca, considerando la disponibilidad natural de agua y el crecimiento poblacional hasta 2030, utilizando datos de Conagua y del Conapo. Se reconoce que los datos relacionados con el recurso agua son poco exactos, ya que es muy complicado valorar la disponibilidad natural media de agua y es imposible controlar los volúmenes reales de extracción del recurso. Sin embargo, las es-

⁵ Recuérdese que en México apenas 30% de las aguas residuales son tratadas y la mayoría de ellas, tratadas o no, se descargan en cuerpos de agua naturales que posteriormente consume la población más pobre (Bunge, 2010b).

timaciones aproximadas de Bunge (2010c) resultan muy útiles, especialmente si se considera el *principio precautorio* para planear el desarrollo de las ciudades y sus regiones.⁶ Si se localizan las ciudades de México en la cartografía de Bunge (2010c), es posible develar la situación de las áreas urbanas en términos de su presión hídrica.

En términos generales, se puede observar que, a escala nacional, 33% de las cuencas hidrográficas registran una fuerte presión hídrica, y en términos de población total (urbana y rural), 53% vive en cuencas que están en esta condición. Como es de esperarse, usualmente las cuencas con disponibilidad natural baja de agua están sometidas a mayor presión hídrica. En general, estas cuencas se localizan en el norte y centro de México. Sin embargo, las cuencas del norte tienen una tasa de crecimiento poblacional más alta, por lo que es de esperarse que la presión hídrica en estas regiones será mayor en el futuro próximo, si no se toman las medidas correctivas correspondientes.

Las cuencas con menor presión hídrica se ubican al sur y sureste del país. El problema es que en estas regiones la tasa de crecimiento poblacional es superior al promedio nacional, lo que anticipa mayor demanda de agua. Sin embargo, estos datos aún deben matizarse, porque no se conoce en su totalidad y con precisión el nivel de contaminación de las fuentes de agua (Bunge, 2010c).

4.1. La dimensión urbana de la presión hídrica

Las 50 ciudades más pobladas del país (que concentran 79.1% de la población urbana nacional) se clasificaron en cuatro categorías, de acuerdo con los niveles de presión hídrica de las cuencas hidrográficas en las que se localizan: *i.* fuerte (cuando la explotación del recurso es $>$ de 40%); *ii.* moderado fuerte (cuando la explotación del recurso está entre 20 y 40%); *iii.* moderado (cuando la explotación del recurso está entre 10% y 20%), y *iv.* escaso (cuando la explotación del recurso es $<$ 10%). Como se puede ver, esta clasificación se corresponde con la Norma del Consejo Mundial del Agua (*World Water Council*) (véanse cuadros 3.5 y 3.6).

⁶ “El principio de precaución supone situaciones en las que el gobernante debe ejercer la prudencia a fin de tomar decisiones sobre determinados productos o actividades de los que se sospecha, con un cierto fundamento, que son portadores de riesgo para la sociedad pero sin que se tenga a mano una prueba definitiva y contundente de tal riesgo. En tales supuestos, la autoridad debe hacer un esfuerzo de prudencia, es decir, de una adecuada apreciación de las circunstancias del caso, para lograr el equilibrio entre dos extremos: por un lado, el temor irracional ante lo novedoso por el sólo hecho de ser novedoso, y por el otro lado, una pasividad irresponsable ante prácticas o productos que pueden resultar gravemente nocivos para la salud pública o el medio ambiente” (Andorno, 2002:1333).

Cuadro 3.5
Categorías de la presión hídrica

<i>Presión hídrica</i>	<i>Explotación del recurso (%)</i>
Escasa	< 10%
Moderada	Entre 10% y 20%
Media-fuerte	Entre 20% y 40%
Fuerte	> 40%

Fuente: Bunge, 2010c.

Ciudades con presión hídrica fuerte

En esta categoría están dos de las tres megaciudades del país: la más poblada, la ZM del Valle de México, y la ZM de Monterrey (tercera en el *ranking* nacional, junto con ciudades intensamente vinculadas a esta ciudad, como la ZM de Monclova-Frontera); siete ciudades millonarias: las ZM de Toluca, Tijuana, León, Ciudad Juárez, La Laguna, Querétaro y San Luis Potosí; cuatro ciudades potencialmente millonarias para 2020: las ZM de Mexicali, Chihuahua, Saltillo y Morelia; el resto de las grandes ciudades de la frontera con los Estados Unidos (que se añaden a las ya mencionadas: las ZM de Tijuana, Mexicali y Ciudad Juárez): las ZM de Reynosa-Río-Bravo, Matamoros y Nuevo Laredo; los motores socioeconómicos del noroeste del país: Hermosillo, Culiacán y Ciudad Obregón; tres capitales estatales de escala demográfica menor (las ZM de Colima y Zacatecas-Guadalupe, y Ciudad Victoria); un destino de playa estratégico para el país: la ZM de Puerto Vallarta; y dos ciudades del eje de ciudades del Bajío (que se suman a las ya mencionadas ZM de León y Querétaro), Irapuato y Celaya (véanse Figura 3.4 y Cuadro 3.6).

Todas estas ciudades, muy importantes la gran mayoría, enfrentarán fuertes presiones hídricas en el futuro próximo y menor disponibilidad de agua, lo que se verá agravado por el calentamiento global, por su crecimiento demográfico, por la localización de nuevas actividades urbanas altas consumidoras de agua y por la intensidad de las actividades agrícolas en sus regiones circundantes.

En total, los habitantes que viven en ciudades con fuerte presión hídrica suman 43.2 millones de habitantes: 53.7% de la población urbana nacional.

Cuadro 3.6
Cincuenta ciudades más pobladas del país: niveles de presión hídrica de las cuencas hidrográficas donde se localizan

Rango por población 2010	Ciudad	Población	Población acumulada	Población (%)	Población acumulada	Nivel de presión hídrica (explotación del recurso %) Fuerte (> 40%) = 3 Medio fuerte (20-40%) = 2 Moderado (10-20%) = 1 Escaso (< 10%) = 0
Ciudades en cuencas con nivel de presión hídrica fuerte (explotación del recurso > 40%)						
1	ZM del Valle de México	20 116 842	20 116 842	25.0	25.0	3
3	ZM de Monterrey	4 089 962	24 206 804	5.1	30.1	3
5	ZM de Toluca	1 846 116	26 052 920	2.3	32.4	3
6	ZM de Tijuana	1 751 430	27 804 350	2.2	34.6	3
7	ZM de León	1 609 504	29 413 854	2.0	36.6	3
8	ZM de Juárez	1 332 131	30 745 985	1.7	38.2	3
9	ZM de La Laguna	1 215 817	31 961 802	1.5	39.7	3
10	ZM de Querétaro	1 097 025	33 058 827	1.4	41.1	3
11	ZM de San Luis Potosí-S. de GS	1 040 443	34 099 270	1.3	42.4	3
13	ZM de Mexicali	936 826	35 036 096	1.2	43.6	3
18	ZM de Chihuahua	852 533	35 888 629	1.1	44.6	3

Rango por población 2010	Ciudad	Población	Población acumulada	Población (%)	Población (%) acumulada	Nivel de presión hídrica (explotación del recurso %) Fuerte (> 40%) = 3 Medio fuerte (20-40%) = 2 Moderado (10-20%) = 1 Escaso (<10%) = 0
19	ZM de Saltillo	823 128	36 711 757	1.0	45.6	3
20	ZM de Morelia	807 902	37 519 659	1.0	46.7	3
23	ZM de Reynosa-Río Bravo	727 150	38 246 809	0.9	47.6	3
24	Hermosillo	715 061	38 961 870	0.9	48.4	3
26	Culiacán Rosales	675 773	39 637 643	0.8	49.3	3
34	ZM de Matamoros	489 193	40 126 836	0.6	49.9	3
38	Irapuato	396 975	40 523 811	0.5	50.4	3
39	ZM de Nuevo Laredo	384 033	40 907 844	0.5	50.9	3
41	ZM de Puerto Vallarta	379 886	41 287 730	0.5	51.3	3
44	Celaya	340 387	41 628 117	0.4	51.8	3
45	ZM de Colima-Villa de Álvarez	334 240	41 962 357	0.4	52.2	3
46	ZM de Mondlova-Frontera	317 313	42 279 670	0.4	52.6	3
48	Ciudad Victoria	305 155	42 584 825	0.4	53.0	3
49	Ciudad Obregón	303 126	42 887 951	0.4	53.3	3
50	ZM de Zacatecas-Guadalupe	298 167	43 186 118	0.4	53.7	3

Rango por población 2010	Ciudad	Población	Población acumulada	Población (%)	Población (%) acumulada	Nivel de presión hídrica (explotación del recurso %) Fuerte (> 40%) = 3 Medio fuerte (20-40%) = 2 Moderado (10-20%) = 1 Escaso (< 10%) = 0
Ciudades en cuencas con nivel de presión hídrica medio fuerte (explotación del recurso 20%-40%)						
2	ZM de Guadalajara	4 434 878	4 434 878	5.5	5.5	2
4	ZM de Puebla-Tlaxcala	2 668 437	7 103 315	3.3	8.8	2
14	ZM de Aguascalientes	932 369	8 035 684	1.2	10.0	2
15	ZM de Cuernavaca	876 083	8 911 767	1.1	11.1	2
16	ZM de Acapulco	863 431	9 775 198	1.1	12.2	2
17	ZM de Tampico	859 419	10 634 617	1.1	13.2	2
32	ZM de Pachuca	512 196	11 146 813	0.6	13.9	2
33	ZM de Tlaxcala-Apizaco	499 567	11 646 380	0.6	14.5	2
35	ZM de Cuautla	434 147	12 080 527	0.5	15.0	2
36	ZM de Tepic	429 351	12 509 878	0.5	15.6	2
Ciudades en cuencas con nivel de presión hídrica moderado (explotación del recurso 10%-20%)						
21	ZM de Veracruz	801 295	801 295	1.0	1.0	1
30	Victoria de Durango	518 709	1 320 004	0.6	1.6	1
31	ZM de Poza Rica	513 518	1 833 522	0.6	2.3	1
40	Mazatlán	381 583	2 215 105	0.5	2.8	1

Rango por población 2010	Ciudad	Población	Población acumulada	Población (%)	Población acumulada	Nivel de presión hídrica (explotación del recurso %) Fuerte (> 40%) = 3 Medio fuerte (20-40%) = 2 Moderado (10-20%) = 1 Escaso (<10%) = 0
Ciudades en cuencas con nivel de presión hídrica escaso (explotación del recurso < 10%)						
12	ZM de Mérida	973 046	973 046	1.2	1.2	0
22	ZM de Villahermosa	755 425	1 728 471	0.9	2.1	0
25	ZM de Cancún	677 379	2 405 850	0.8	3.0	0
27	ZM de Xalapa	666 535	3 072 385	0.8	3.8	0
28	ZM de Tuxtla Gutiérrez	640 977	3 713 362	0.8	4.6	0
29	ZM de Oaxaca	593 658	4 307 020	0.7	5.4	0
37	ZM de Orizaba	410 508	4 717 528	0.5	5.9	0
42	ZM de Minatitlán	356 137	5 073 665	0.4	6.3	0
43	ZM de Coatzacoalcos	347 257	5 420 922	0.4	6.7	0
47	ZM de Córdoba	316 032	5 736 954	0.4	7.1	0
	Suma	63 648 055	...	79.1	...	...
	Suma resto urbano	16 773 247	...	20.9	...	...
	Total urbano	80 421 302	...	100.0	...	...

Fuente: Bunge, 2010c; Conapo, 2011. Cálculos propios.

Figura 3.4

Cincuenta ciudades más pobladas del país: niveles de presión hídrica de las cuencas hidrográficas donde se localizan



Fuente: Cotler, 2010; y elaboración propia; realización: Laboratorio de Análisis Socioespacial de El Colegio Mexiquense.

Ciudades con nivel de presión hídrica media-fuerte

Sólo 10 ciudades de las *Top 50* están en esta categoría, pero una es la segunda megaciudad del país (la ZM de Guadalajara), otra ocupa el cuarto lugar del *ranking* nacional (la ZM de Puebla-Tlaxcala, que está conformando una región urbana con otra ZM que se encuentra en esta categoría de presión hídrica: la ZM de Tlaxcala-Apizaco), cuatro son ciudades potencialmente millonarias para el 2020 (las ZM de Aguascalientes, Cuernavaca, Acapulco y Tampico), dos son capitales estatales (la ZM de Pachuca, que está creciendo con rapidez, y la ZM de Tepic), y una es ciudad de escala demográfica menor, pero de cierta importancia regional (la ZM Cuautla).

Estas ciudades están en alto riesgo de pasar a la categoría de presión hídrica *fuerte* en poco tiempo. Se requiere un monitoreo muy puntual y diseñar medidas que impidan que se intensifique la presión hídrica.

En total, estas ciudades suman 12.5 millones de habitantes, 15.6% de la población urbana nacional. Si no se tomaran las medidas adecuadas y las seis ciudades más grandes de esta categoría pasaran a la de presión hídrica fuerte, el total de población viviendo en esta condición sería de 53.8 millones de personas, equivalentes a 66.9% de la población urbana del país. En otras palabras: dos de cada tres habitantes urbanos vivirían en condiciones de presión hídrica fuerte. Dada la insuficiente planeación y acción en materia hídrica en el país, este escenario parece, incluso, conservador.

Ciudades con nivel de presión hídrica moderado

En esta categoría se encuentran sólo cuatro de las ciudades *Top 50* de México. Dos son puertos y destinos turísticos de mediana importancia: las ZM de Veracruz y de Mazatlán, otro es un asentamiento petrolero de la Región del Golfo: la ZM de Poza Rica, y uno más es una capital estatal (Victoria de Durango). Estas cuatro ciudades suman apenas 2.2 millones de habitantes (2.8% de la población urbana nacional), y están en una condición de presión hídrica que deben, cuando menos, mantener en el largo plazo. Éste ya sería un buen logro.

Ciudades con nivel de presión hídrica escaso

Las ciudades en esta categoría no registran actualmente problemas de presión hídrica. Todas se localizan en la parte sur y sureste del país, y en la península de Yucatán. Destacan por su escala demográfica y por su papel socioeconómico regional, las ZM de Mérida y Villahermosa y, en menor medida, Tuxtla Gutiérrez; la presencia de Cancún, que es el destino turístico más importante del país y gran captador de divisas; dos capitales estatales con desarrollo de baja velocidad relativa, como lo son las ZM de Oaxaca y Xalapa; y diversas ciudades del corredor urbano de Veracruz: las ZM de Orizaba, Minatitlán, Coatzacoalcos y Córdoba, que se localizan en la cuenca del río Coatzacoalcos, una de las cuencas del país con mayor disponibilidad natural de agua per cápita y por kilómetro cuadrado. No obstante, en las ciudades petroleras (las ZM de Minatitlán, Coatzacoalcos) falta información sobre la *calidad* del agua disponible. Las ciudades sin problemas de presión hídrica suman 5.7 millones de habitantes (7.1% del total de la población urbana nacional).

5. Riesgo potencial a la diversidad y la salud humana derivado de las actividades económicas

El impacto ambiental de las actividades económicas ha implicado en México el deterioro gradual del entorno. Estos efectos negativos sobre el agua, por ejemplo: la diversidad y la salud humana, requieren atenderse de forma integral. En este contexto, es evidente la necesidad de impulsar el crecimiento económico de manera balanceada con la protección y conservación ambiental, lo que significa satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras. Esto es, promover las actividades económicas y simultáneamente fomentar la diversidad y el mejor manejo del agua, reducir el consumo de recursos y la contaminación, y, en general, impulsar la protección del medioambiente (Zarco, Espinosa y Mazari, 2010).

En esta sección se utiliza la ponderación del riesgo a los ecosistemas y la salud humana derivado de la actividad económica de Zarco, Espinosa y Mazari (2010), que se apoya en métodos multicriterio y de análisis espacial. Si bien el riesgo no puede evitarse, es necesario *ponderarlo y priorizarlo*. Para esto se requiere conocer los impactos potenciales de las actividades económicas, considerando los insumos que requiere cada una, la presión de cada actividad sobre los recursos naturales y sus efectos sobre la diversidad y la población humana, entre otros aspectos.

En esta sección, el objetivo es determinar las ciudades que presentan riesgos potenciales más elevados de acuerdo con los niveles de riesgo de las cuencas donde se localizan. Los indicadores de riesgo potencial que se manejan utilizan variables reportadas en censos económicos (INEGI, 2004). Se consideran 15 subsectores y 39 ramas de actividad económica clave, a partir de una evaluación de sus impactos en la diversidad y la salud humana (véase Cuadro 3.7). Para evaluar el riesgo por actividad económica se definieron ocho grupos de variables: 1. *productos utilizados* (i.e., fertilizantes, pesticidas, tintes, agentes espesantes, disolventes, arsénico, plomo, mercurio); 2. *residuos líquidos generados* (i.e., aceites, lubricantes, efluentes que contienen contaminantes); 3. *residuos sólidos generados* (i.e., metales, asbestos, catalizadores usados conteniendo cobalto, molibdeno, níquel, óxido de hierro, óxido de cromo, óxido de cobre, óxido de zinc, hierro; contenedores contaminados con plaguicidas); 4. *presión sobre los recursos naturales* (i.e., uso, consumo, contaminación del suelo, vegetación, agua superficial, agua subterránea); 5. *impacto sobre la diversidad* (i.e., esta-

blecimiento de monocultivos, bioacumulación de contaminantes en la cadena alimenticia, incremento en la resistencia de las plagas a los productos fitosanitarios, afectación a la fauna del suelo, erosión genética [pérdida de variedades endémicas], afectación a las especies acuáticas); 6. *cambio de uso del suelo y fragmentación* (i.e., fragmentación de los sistemas naturales, homogeneización del paisaje, deforestación, afectación no sólo a nivel de vegetación sino también del funcionamiento del ecosistema); 7. *degradación de hábitats* (i.e., afectación de los procesos reguladores naturales, perturbación de la estructura del suelo, reducción o eliminación del aporte de la materia orgánica del suelo, contaminación del agua por residuos tóxicos de pesticidas, alteración de los flujos de escurrimiento superficial), y 8. *efectos en la salud humana a corto y largo plazos* (aguda, crónica).

Cuadro 3.7
Sectores y subsectores de actividad económica considerados

<i>Código INEGI</i>	<i>Actividad</i>
111	Agricultura
1125	Acuicultura animal
112	Ganadería
1131	Silvicultura
1132	Viveros forestales y recolección de productos forestales
1133	Tala de árboles
1141	Pesca
2111	Extracción de petróleo y gas
2121	Minería de carbón mineral
2122	Minería de minerales metálicos
2123	Minería de minerales no metálicos
2211	Generación, transmisión y suministro de energía hidroeléctrica
NA	Generación de energía nuclear
2221	Captación, tratamiento y suministro de agua
2361	Edificación residencial
2362	Edificación no residencial
2371	Construcción de obras para el abastecimiento de agua, petróleo, gas, electricidad y telecomunicaciones

<i>Código INEGI</i>	<i>Actividad</i>
2373	Construcción de vías de comunicación
2379	Otras construcciones de ingeniería civil u obra pesada
3112	Molienda de granos y semillas oleaginosas
3113	Elaboración de azúcar, chocolates, dulces y similares
3116	Matanza, empacado y procesamiento de carne de ganado y aves
311	Industria alimentaria
3121	Industria de las bebidas
3122	Industria del tabaco
313	Fabricación de insumos textiles
3161	Curtido y acabado de cuero y piel
321	Industria de la madera
322	Industria del papel
323	Impresión e industrias conexas
324	Fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón
3251	Fabricación de productos químicos básicos
3253	Fabricación de fertilizantes, pesticidas y otros agroquímicos
3254	Fabricación de productos farmacéuticos
3256	Fabricación de jabones, limpiadores y preparaciones de tocador
3259	Fabricación de otros productos químicos
325	Industria química
326	Industria del plástico y del hule
3271	Fabricación de productos a base de arcilla y minerales refractarios
3272	Fabricación de vidrio y productos de vidrio
3273	Fabricación de cemento y productos de concreto
3311	Industria básica del hierro y del acero
3313	Industria del aluminio
3314	Industria de metales no ferrosos, excepto el aluminio
3315	Moldeo por fundición de piezas metálicas
332	Fabricación de productos metálicos
334	Fabricación de equipos de computación, comunicación, medición y de otros equipos, componentes y accesorios eléctricos

Código INEGI	Actividad
335	Fabricación de equipo de generación eléctrica y aparatos accesorios eléctricos
481	Transporte aéreo
4861	Transporte de petróleo crudo por ductos
5621	Manejo de desechos, servicios y remediación
622	Hospitales
8122	Lavanderías y tintorerías
8129	Servicios de revelado de fotografías

Fuente: Zarco, Espinosa y Mazari, 2010.

La información se tomó del *Censo Económico* (INEGI, 2004), del *Censo Agrícola, Ganadero y Forestal* (INEGI, 2007), y del *Anuario Estadístico* (Pemex, 2009). Por su parte, la ponderación del impacto de las actividades económicas se realizó mediante técnicas de modelación, incorporando criterios cualitativos y cuantitativos (Zarco, Espinosa y Mazari, 2010).

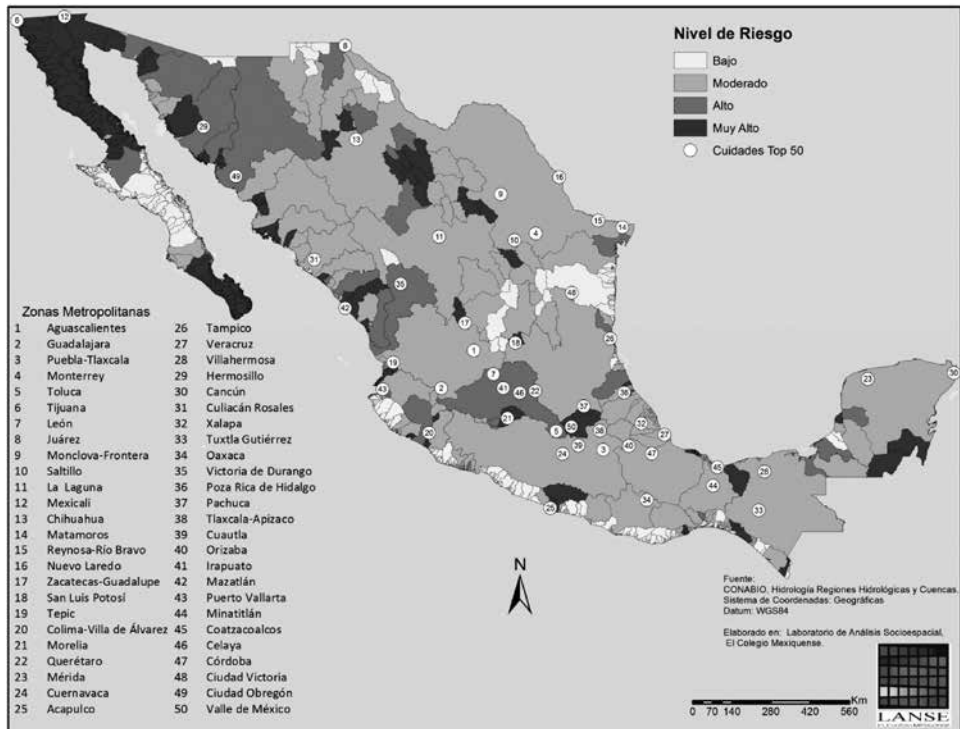
En México, las 10 actividades productivas de más alto riesgo potencial sobre la población y la diversidad son: *i.* extracción de petróleo y gas; *ii.* industria básica del hierro y del acero; *iii.* fabricación de fertilizantes, pesticidas y otros agroquímicos; *iv.* minería relacionada con minerales metálicos; *v.* fabricación de productos químicos básicos; *vi.* curtido y acabado de cuero y piel; *vii.* industria de metales no ferrosos excepto aluminio; *viii.* fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón; *ix.* agricultura, y *x.* hospitales (Zarco, Espinosa y Mazari, 2010).

Es interesante cómo los objetivos de política pueden ser incompatibles. Por ejemplo: fomentar la creación de empleos en sectores intensivos en uso de conocimiento (SIUC) y la conservación del medioambiente, porque, como se observa, varios SIUC implican alto riesgo ambiental. Sin embargo, este dilema tiene solución si las actividades se realizan dentro de un marco regulatorio que proteja el medioambiente, si se apoyan en el principio precautorio y si existen supervisores sociales independientes que vigilen la operación segura de las actividades económicas. Lamentablemente, en México parece que esto es mucho pedir.

5.1. La dimensión urbana del riesgo potencial a la diversidad y la salud humana derivado de las actividades económicas

De acuerdo con los resultados de Zarco *et al.*, 2010, a escala de cuenca hidrográfica, las ciudades *Top 50* se clasificaron en tres categorías según el riesgo potencial a la diversidad y la salud humana derivado de las actividades económicas de la cuenca en la que se localizan: *i.* muy alto y alto; *ii.* moderado, y *iii.* bajo (Cuadro 3.8). Lo primero que llama la atención es que de las 50 ciudades más pobladas del país, ninguna se encuentra en la categoría de riesgo potencial bajo, lo que es muy indicativo de la situación de la población nacional: cuando menos 79.1% de la población urbana del país está expuesta a riesgos potenciales muy altos, altos o moderados (Figura 3.5; Cuadro 3.8).

Figura 3.5
Principales 50 ciudades del país: riesgo potencial a la diversidad y la salud humana derivado de las actividades económicas



Fuente: Cotler, 2010; y elaboración propia; realización: Laboratorio de Análisis Socioespacial de El Colegio Mexiquense.

Cuadro 3.8
Principales 50 ciudades del país: riesgo potencial a la diversidad y la salud humana derivado de las actividades económicas

Rango por población 2010	Ciudad	Población	Población acumulada	Población (%)	Población (%) acumulada	Riesgo potencial a la diversidad y la salud humana derivado de las actividades económicas Muy alto y alto = 3 Moderado = 2 Bajo = 1
Ciudades con riesgo muy alto y alto						
1	ZM del Valle de México	20 116 842	20 116 842	25.0	25.0	3
5	ZM de Toluca	1 846 116	21 962 958	2.3	27.3	3
6	ZM de Tijuana	1 751 430	23 714 388	2.2	29.5	3
7	ZM de León	1 609 504	25 323 892	2.0	31.5	3
8	ZM de Juárez	1 332 131	26 656 023	1.7	33.1	3
10	ZM de Querétaro	1 097 025	27 753 048	1.4	34.5	3
11	ZM de San Luis Potosí-S. de GS	1 040 443	28 793 491	1.3	35.8	3
13	ZM de Mexicali	936 826	29 730 317	1.2	37.0	3
16	ZM de Acapulco	863 431	30 593 748	1.1	38.0	3
20	ZM de Morelia	807 902	31 401 650	1.0	39.0	3
24	Hermosillo	715 061	32 116 711	0.9	39.9	3
30	Victoria de Durango	518 709	32 635 420	0.6	40.6	3
31	ZM de Poza Rica	513 518	33 148 938	0.6	41.2	3
38	Irapuato	396 975	33 545 913	0.5	41.7	3

Rango por población 2010	Ciudad	Población	Población acumulada	Población (%)	Población (%) acumulada	Riesgo potencial a la diversidad y la salud humana derivado de las actividades económicas Muy alto y alto = 3 Moderado = 2 Bajo = 1
40	Mazatlán	381 583	33 927 496	0.5	42.2	3
41	ZM de Puerto Vallarta	379 886	34 307 382	0.5	42.7	3
43	ZM de Coatzacoalcos	347 257	34 654 639	0.4	43.1	3
44	Celaya	340 387	34 995 026	0.4	43.5	3
45	ZM de Colima-Villa de Álvarez	334 240	35 329 266	0.4	43.9	3
49	Ciudad Obregón	303 126	35 632 392	0.4	44.3	3
50	ZM de Zacatecas-Guadalupe	298 167	35 930 559	0.4	44.7	3
Ciudades con riesgo moderado						
2	ZM de Guadalajara	4 434 878	4 434 878	5.5	5.5	2
3	ZM de Monterrey	4 089 962	8 524 840	5.1	10.6	2
4	ZM de Puebla-Tlaxcala	2 668 437	11 193 277	3.3	13.9	2
9	ZM de La Laguna	1 215 817	12 409 094	1.5	15.4	2
12	ZM de Mérida	973 046	13 382 140	1.2	16.6	2
14	ZM de Aguascalientes	932 369	14 314 509	1.2	17.8	2
15	ZM de Cuernavaca	876 083	15 190 592	1.1	18.9	2
17	ZM de Tampico	859 419	16 050 011	1.1	20.0	2
18	ZM de Chihuahua	852 533	16 902 544	1.1	21.0	2
19	ZM de Saltillo	823 128	17 725 672	1.0	22.0	2

Rango por población 2010	Ciudad	Población	Población acumulada	Población (%)	Población (%) acumulada	Riesgo potencial a la diversidad y la salud humana derivado de las actividades económicas Muy alto y alto = 3 Moderado = 2 Bajo = 1
21	ZM de Veracruz	801 295	18 526 967	1.0	23.0	2
22	ZM de Villahermosa	755 425	19 282 392	0.9	24.0	2
23	ZM de Reynosa-Río Bravo	727 150	20 009 542	0.9	24.9	2
25	ZM de Cancún	677 379	20 686 921	0.8	25.7	2
26	Culiacán Rosales	675 773	21 362 694	0.8	26.6	2
27	ZM de Xalapa	666 535	22 029 229	0.8	27.4	2
28	ZM de Tuxtla Gutiérrez	640 977	22 670 206	0.8	28.2	2
29	ZM de Oaxaca	593 658	23 263 864	0.7	28.9	2
32	ZM de Pachuca	512 196	23 776 060	0.6	29.6	2
33	ZM de Tlaxcala-Apizaco	499 567	24 275 627	0.6	30.2	2
34	ZM de Matamoros	489 193	24 764 820	0.6	30.8	2
35	ZM de Cuautla	434 147	25 198 967	0.5	31.3	2
36	ZM de Tepic	429 351	25 628 318	0.5	31.9	2
37	ZM de Orizaba	410 508	26 038 826	0.5	32.4	2
39	ZM de Nuevo Laredo	384 033	26 422 859	0.5	32.9	2
42	ZM de Minatitlán	356 137	26 778 996	0.4	33.3	2
46	ZM de Monclova-Frontera	317 313	27 096 309	0.4	33.7	2
47	ZM de Córdoba	316 032	27 412 341	0.4	34.1	2

Rango por población 2010	Ciudad	Población	Población acumulada	Población (%)	Población (%) acumulada	Riesgo potencial a la diversidad y la salud humana derivado de las actividades económicas Muy alto y alto = 3 Moderado = 2 Bajo = 1
48	Ciudad Victoria	305 155	27 717 496	0.4	34.5	2
	Suma	63 648 055	...	79.1	...	...
	Suma resto urbano	16 773 247	...	20.9	...	...
	Total urbano	80 421 302	...	100.0	...	...

Fuente: Zarco, Espinosa y Mazari, 2010; Conapo, 2011. Cálculos propios.

Ciudades con riesgo potencial muy alto y alto

De las 50 ciudades más pobladas del país, 21 registran riesgo potencial muy alto o alto para la diversidad y la salud humana, incluyendo la ZM del Valle de México, seis ciudades millonarias (las ZM de Toluca, Tijuana, León, Ciudad Juárez, Querétaro y San Luis Potosí) y una ciudad que ronda el millón de habitantes (la ZM de Mexicali: 937 000 habitantes), que suman 29.7 millones de personas. En total, la población que vive en condiciones de alto y muy alto riesgo a la salud humana por las actividades económicas que se desarrollan en sus ciudades y regiones suman 35.9 millones de habitantes, que equivalen a 44.7% de la población total de las ciudades del país. En otras palabras: casi uno de cada dos habitantes urbanos viven en condiciones de riesgo potencial muy alto o alto a la salud humana por la operación de actividades económicas (véanse Figura 3.5; Cuadro 3.8).

En esta categoría aparecen dos ciudades con actividades importantes vinculadas al petróleo: las ZM de Poza Rica y Coatzacoalcos. Sin embargo, no está en esta situación la ZM de Minatitlán, lo que indica que las dos primeras ciudades están dejando de hacer algunas cosas en materia de cuidado a la diversidad y la salud humana por riesgos de sus actividades económicas.

Resaltan también tres importantes ciudades turísticas de playa: las ZM de Acapulco y Puerto Vallarta y la ciudad de Mazatlán. Al ser centros estratégicos de captura de divisas por su atractivo turístico, se convierten en ciudades clave para instrumentar acciones correctivas en materia de prevención de riesgo a la diversidad y la salud humana. Ser área potencialmente peligrosa no es bueno para ningún centro turístico.

En la frontera nuevamente destacan por su pobre desempeño ambiental las ZM de Tijuana y Mexicali, aunque en materia de riesgo potencial muy alto y alto se suma la ZM de Ciudad Juárez. Se debe subrayar que no aparecen las demás ciudades importantes que se localizan sobre la frontera con los Estados Unidos y que tienen un *genoma económico* muy similar con las ciudades de riesgo muy alto y alto (véase el capítulo 2 de este mismo volumen), lo que indica que las actividades económicas no son determinantes en el riesgo a la diversidad y la salud humana, sino que intervienen otras variables igualmente importantes, como la fortaleza institucional y la concienciación de los riesgos ambientales y a la salud que implican ciertas actividades.

Ciudades con riesgo potencial moderado

En esta categoría deben mencionarse grandes ciudades que registran un mejor desempeño que las reportadas en la sección anterior: las ZM de Guadalajara, Monterrey, Puebla-Tlaxcala, La Laguna, Mérida y Aguascalientes, por mencionar las principales; deben ser ejemplo para otras, como las ZM del Valle de México, Toluca, Tijuana, León, Ciudad Juárez, Querétaro y San Luis Potosí, por citar las más importantes. Deben estudiarse más a fondo los casos de las ZM de Guadalajara, Monterrey y Puebla-Tlaxcala, para rescatar sus mejores prácticas y orientar a otras ciudades, incluso de menor tamaño, que muestran un desempeño ambiental más limitado.

Esto aplica también para algunas ciudades fronterizas de la Región Noreste: las ZM de Reynosa-Río Bravo, Matamoros y Nuevo Laredo registran un desempeño ambiental muy superior al de las ZM de Tijuana, Ciudad Juárez y Mexicali, a pesar de compartir el mismo *genoma económico* (ver capítulo 2).

Nuevamente, varias de las ciudades más vinculadas a la ZM de Monterrey muestran un mejor desempeño ambiental: las ZM de La Laguna, Saltillo, Monclova-Frontera y Ciudad Victoria y las de la frontera con los Estados Unidos en la Región Noreste. En este sentido, habría que preguntarse qué pasa con ciertas ciudades muy vinculadas a la ZM de Monterrey, que registran un desempeño ambiental de riesgo muy alto y alto para la diversidad y la salud humana, como las ZM de Querétaro y San Luis Potosí.

Algo similar ocurre con las ciudades que son destino turístico de playa (las ZM de Acapulco y Puerto Vallarta y la ciudad de Mazatlán), que deberían estudiar las prácticas de la ZM de Cancún, e incluso las de la ZM de Veracruz, que les han redituado un mejor desempeño ambiental en materia de riesgo potencial a la diversidad y a la salud humana.

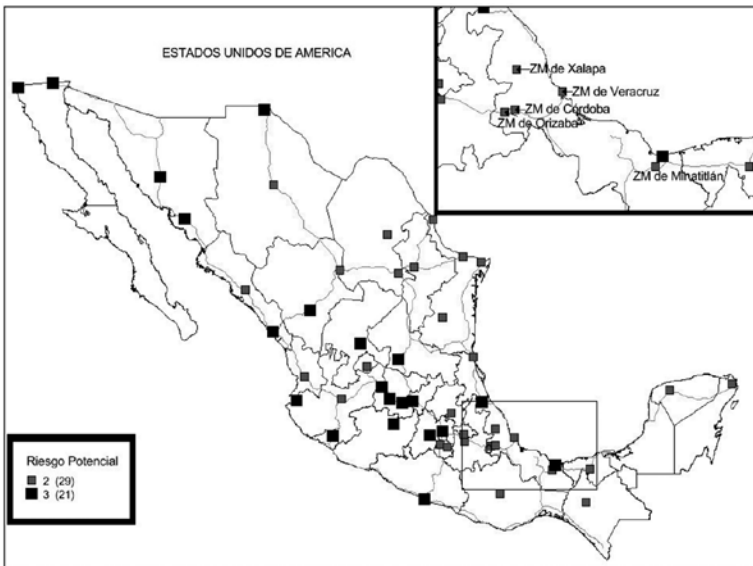
Los grandes motores económicos de las regiones Golfo, Sur y Península de Yucatán, también están en esta categoría de riesgo potencial moderado: las ZM de Mérida, Villahermosa, Cancún, Tuxtla Gutiérrez y Oaxaca, lo que devela un rasgo no muy difundido de las ventajas de esta región sobre el resto del país. Lo mismo ocurre con el corredor de ciudades de Veracruz, con el desempeño sobresaliente de las ZM de Veracruz, Xalapa, Orizaba, Minatitlán y Córdoba. Destaca, por su ausencia, la ZM de Coatzacoalcos (que se ubica en la categoría de riesgo potencial muy alto y alto), muy probablemente por su interacción con los complejos petroquímicos Pajaritos, Cangrejera y Morelos, que junto con el complejo de Cosoleacaque, producen anualmente alrededor de 13.0 millones

de toneladas de productos químicos (aunque lo mismo se podría decir de la ZM de Minatitlán) (Figura 3.6).

Al final, 27.7 millones de habitantes de las ciudades *Top 50* (34.5% del total urbano nacional) viven en condiciones de riesgo moderado a la diversidad y la salud humana, y ninguna ciudad de las 50 más pobladas del país registra riesgo potencial bajo.

Figura 3.6

Principales 50 ciudades del país: corredor de ciudades de Veracruz y el riesgo potencial a la diversidad y la salud humana derivado de las actividades económicas



Fuente: Mapas Google (2011); Zarco *et al.*, 2010. Cálculos propios.

6. Cambio climático: anomalías en la temperatura y la precipitación para los años 2020

El cambio climático (también referido como calentamiento global) es el problema ambiental más relevante en el siglo XXI (UNEP, 2011a). Se anticipa que sus impactos serán muy importantes sobre los sectores productivos, los recursos hídricos, los ecosistemas, la biodiversidad, la infraestructura, la salud pública y

en general sobre los sistemas naturales y humanos (UNEP, 2011b). Los efectos más relevantes del cambio climático son el incremento de la temperatura media, las variaciones en las precipitaciones y la elevación del nivel del mar, lo que se asocia a pérdida de glaciares, propagación de enfermedades y plagas, pérdida de biodiversidad y litoral costero, intensificación de sequías, lluvias, huracanes e intrusión salina, afectación en la disponibilidad y calidad de los recursos hídricos, cambios en la producción agrícola, impactos sociales y daños a la salud, entre muchos otros (Murrieta *et al.*, 2010: 138).

El cambio climático afectará más a las regiones que ya padecen escasez de agua (INE, 2009a), por lo que es importante adelantarse a los efectos e identificar las ciudades más vulnerables para tomar acciones preventivas y correctivas. En las ciudades de México el problema de abastecimiento de agua se agravará, no sólo por el aumento de la población, sino también por el cambio climático, que abatirá los niveles de los acuíferos (al disminuir la recarga y aumentar la evapotranspiración) y la reducción en los caudales de los cuerpos superficiales (Murrieta *et al.*, 2010: 138).

Quizá la medida más importante para enfrentar el cambio climático es reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Sin embargo, aunque desde hace tiempo se sabe que esto es lo que se debe hacer, poco se ha avanzado en materia de mitigación durante las pasadas décadas, por lo que la *adaptación* es la alternativa más relevante para reducir los riesgos. Adaptación, en este contexto, significa “integrar todos los ajustes necesarios para que los sistemas humanos y naturales disminuyan su vulnerabilidad, minimicen daños y aprovechen posibles beneficios de las nuevas condiciones climáticas” (PICC, 2007).

Murrieta *et al.* (2010) utilizan representaciones matemáticas del sistema climático de la Tierra (Modelos de Circulación General: MCG) para calcular proyecciones climáticas por cuenca hidrográfica, con el fin de conocer las amenazas y las vulnerabilidades de los sistemas naturales y humanos, y apoyar el diseño de medidas de adaptación que reduzcan el riesgo frente al cambio climático.

Las proyecciones se traducen cartográficamente a escala de cuenca, para contar con proyecciones de mayor resolución espacial y temporal en dos temas centrales: *i.* anomalías de temperatura (o diferencia entre la climatología futura y la histórica), y *ii.* anomalías de precipitación.

Ahora, si se localizan las ciudades del país sobre la cartografía de las proyecciones de Murrieta *et al.* (2010), se obtiene el *nivel de vulnerabilidad de las ciudades de México* en términos de alteraciones de temperatura y precipitación.

Esto es lo que se hace en esta sección para las 50 ciudades más pobladas del país (las que concentran 79.1% de la población urbana nacional).

6.1. La dimensión urbana del cambio climático: anomalías en la temperatura para los años 2020

Las proyecciones de Murrieta *et al.* (2010: 141) a escala de cuenca hidrográfica indican que no habrá cambios negativos de temperatura en ninguna cuenca del país. Esto es: en ninguna región o ciudad de México bajará la temperatura en los próximos años. Lo que se va a registrar son aumentos de temperatura diferenciados en el territorio, en un rango que va de 0.7°C a 1.1°C (aunque con diversos niveles de *incertidumbre*, que podrían ampliar el rango desde 0.5°C a 1.7°C).

Las 50 ciudades más pobladas del país se clasificaron en tres categorías de acuerdo con las proyecciones de alteración de temperatura derivada del calentamiento global, en función de la cuenca donde se localizan: *i.* alto (alteraciones de temperatura que van de 1.0°C a 1.1°C; *ii.* medio (alteraciones de 0.8°C a 0.9°C), y *iii.* bajo (< de 0.8°C hasta 0.7°C) (Figura 3.7; Cuadro 3.9).

De las ciudades *Top 50* (que concentran 79.1% de la población urbana nacional), sólo cinco se ubican en la categoría de altas alteraciones de temperatura (la ZM de Tijuana, Hermosillo, Culiacán Rosales, la ZM de Tepic y Mazatlán), 43 en la categoría intermedia, y dos en la categoría baja (las ZM de Mérida y Cancún).

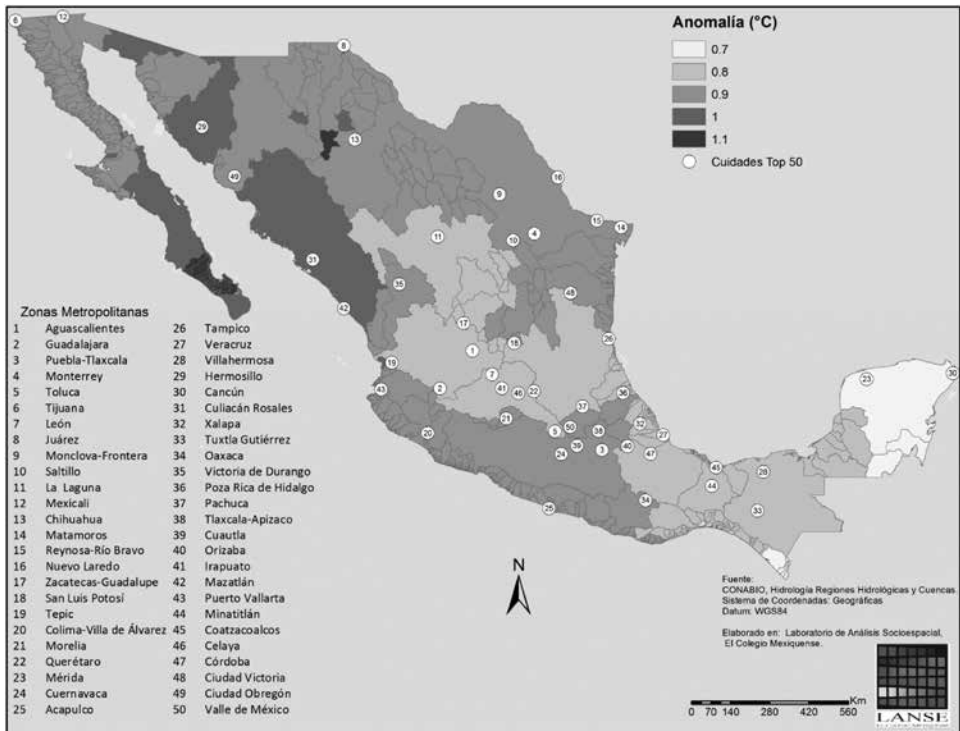
Ciudades con alteraciones de temperatura altas

Las cinco ciudades con *alteraciones de temperatura altas* (de 1.0°C a 1.1°C) se localizan en la Región Noroeste de México: la ZM de Tijuana (1.8 millones de habitantes), Hermosillo (715 000 habitantes), Culiacán de Rosales (675.8 mil habitantes) y Mazatlán (381.6 mil habitantes). En total: 3.9 millones de habitantes estarán en condición de alteraciones de temperatura altas en la década de los 2020.

No obstante, las proyecciones no indican las consecuencias puntuales de los cambios en las temperaturas, por lo que se requieren estudios específicos para determinarlos (Murrieta *et al.*, 2010: 141). Hasta el momento, lo único que se puede anticipar es que las anomalías de temperatura (aunadas a las de precipitación) derivadas del cambio climático producirán problemas en los

Figura 3.7

Principales 50 ciudades del país: cambio climático y efectos en la temperatura, 2020



Fuente: Cotler, 2010; y elaboración propia; realización: Laboratorio de Análisis Socioespacial de El Colegio Mexiquense.

sectores hídrico, agrícola, forestal, de la salud y de usos del suelo urbano (especialmente en las ciudades costeras), entre otros.

Ciudades con alteraciones de temperatura medias y bajas

En esta categoría (alteraciones de temperatura de 0.8°C a 0.9°C) están todas las grandes ciudades del país (salvo la ZM de Tijuana), incluyendo las megaciudades del Valle de México, Guadalajara y Monterrey. En total suman 58.0 millones de habitantes y representan 72.2% de la población urbana nacional.

Finalmente, sólo las ZM de Mérida y Cancún (1.6 millones de habitantes o 0.8% de la población urbana nacional) se clasifican en la categoría de alteraciones de temperatura bajas (< de 0.8°C a 0.7°C).

Cuadro 3.9
Principales 50 ciudades del país:
cambio climático y efectos en la temperatura, 2020

Rango por población 2010	Ciudad	Población	Población acumulada	Población (%)	Población (%) acumulada	Cambio climático: cambio en la temperatura, 2020 1-1.1 grados C = 3 0.8-0.9 grados C = 2 0.7 = 1
Ciudades con cambio de temperatura en 2020: de 1.0 a 1.1 grados centígrados						
6	ZM de Tijuana	1 751 430	1 751 430	2.2	2.2	3
24	Hermosillo	715 061	2 466 491	0.9	3.1	3
26	Culiacán Rosales	675 773	3 142 264	0.8	3.9	3
36	ZM de Tepic	429 351	3 571 615	0.5	4.4	3
40	Mazatlán	381 583	3 953 198	0.5	4.9	3
Ciudades con cambio de temperatura en 2020: de 0.8 a 0.9 grados centígrados						
1	ZM del Valle de México	20 116 842	20 116 842	25.0	25.0	2
2	ZM de Guadalajara	4 434 878	24 551 720	5.5	30.5	2
3	ZM de Monterrey	4 089 962	28 641 682	5.1	35.6	2
4	ZM de Puebla-Tlaxcala	2 668 437	31 310 119	3.3	38.9	2
5	ZM de Toluca	1 846 116	33 156 235	2.3	41.2	2
7	ZM de León	1 609 504	34 765 739	2.0	43.2	2
8	ZM de Juárez	1 332 131	36 097 870	1.7	44.9	2
9	ZM de La Laguna	1 215 817	37 313 687	1.5	46.4	2

Rango por población 2010	Ciudad	Población	Población acumulada	Población (%)	Población (%) acumulada	Cambio climático: cambio en la temperatura, 2020 1-1.1 grados C = 3 0.8-0.9 grados C = 2 0.7 = 1
10	ZM de Querétaro	1 097 025	38 410 712	1.4	47.8	2
11	ZM de San Luis Potosí-S. de GS	1 040 443	39 451 155	1.3	49.1	2
13	ZM de Mexicali	936 826	40 387 981	1.2	50.2	2
14	ZM de Aguascalientes	932 369	41 320 350	1.2	51.4	2
15	ZM de Cuernavaca	876 083	42 196 433	1.1	52.5	2
16	ZM de Acapulco	863 431	43 059 864	1.1	53.5	2
17	ZM de Tampico	859 419	43 919 283	1.1	54.6	2
18	ZM de Chihuahua	852 533	44 771 816	1.1	55.7	2
19	ZM de Saltillo	823 128	45 594 944	1.0	56.7	2
20	ZM de Morelia	807 902	46 402 846	1.0	57.7	2
21	ZM de Veracruz	801 295	47 204 141	1.0	58.7	2
22	ZM de Villahermosa	755 425	47 959 566	0.9	59.6	2
23	ZM de Reynosa-Río Bravo	727 150	48 686 716	0.9	60.5	2
27	ZM de Xalapa	666 535	49 353 251	0.8	61.4	2
28	ZM de Tuxtla Gutiérrez	640 977	49 994 228	0.8	62.2	2
29	ZM de Oaxaca	593 658	50 587 886	0.7	62.9	2
30	Victoria de Durango	518 709	51 106 595	0.6	63.5	2
31	ZM de Poza Rica	513 518	51 620 113	0.6	64.2	2

Rango por población 2010	Ciudad	Población	Población acumulada	Población (%)	Población (%) acumulada	Cambio climático: cambio en la temperatura, 2020 1-1.1 grados C = 3 0.8-0.9 grados C = 2 0.7 = 1
32	ZM de Pachuca	512 196	52 132 309	0.6	64.8	2
33	ZM de Tlaxcala-Apizaco	499 567	52 631 876	0.6	65.4	2
34	ZM de Matamoros	489 193	53 121 069	0.6	66.1	2
35	ZM de Cuautla	434 147	53 555 216	0.5	66.6	2
37	ZM de Orizaba	410 508	53 965 724	0.5	67.1	2
38	Irapuato	396 975	54 362 699	0.5	67.6	2
39	ZM de Nuevo Laredo	384 033	54 746 732	0.5	68.1	2
41	ZM de Puerto Vallarta	379 886	55 126 618	0.5	68.5	2
42	ZM de Minatitlán	356 137	55 482 755	0.4	69.0	2
43	ZM de Coatzacoalcos	347 257	55 830 012	0.4	69.4	2
44	Celaya	340 387	56 170 399	0.4	69.8	2
45	ZM de Colima-Villa de Álvarez	334 240	56 504 639	0.4	70.3	2
46	ZM de Monclova-Frontera	317 313	56 821 952	0.4	70.7	2
47	ZM de Córdoba	316 032	57 137 984	0.4	71.0	2
48	Ciudad Victoria	305 155	57 443 139	0.4	71.4	2
49	Ciudad Obregón	303 126	57 746 265	0.4	71.8	2
50	ZM de Zacatecas-Guadalupe	298 167	58 044 432	0.4	72.2	2

Rango por población 2010	Ciudad	Población	Población acumulada	Población (%)	Población (%) acumulada	Cambio climático: cambio en la temperatura, 2020 1-1.1 grados C = 3 0.8-0.9 grados C = 2 0.7 = 1
Ciudades con cambio de temperatura en 2020: de 0.7 grados centígrados						
12	ZM de Mérida	973 046	973 046	1.2	1.2	1
25	ZM de Cancún	677 379	1 650 425	0.8	2.1	1
	Suma	63 648 055	...	79.1	...	...
	Suma resto urbano	16 773 247	...	20.9	...	...
	Total Urbano	80 421 302	...	100.0	...	...

Fuente: Murrieta *et al.*, 2010; Conapo, 2011. Cálculos propios.

6.2. La dimensión urbana del cambio climático: anomalías en la precipitación para los años 2020

En el tema de la precipitación destaca la magnitud del cambio negativo de la precipitación media anual en las ciudades localizadas en las cuencas del noroeste del país y en la parte alta del golfo de California. El rango de alteraciones proyectadas va de 0.0% a -15%, aunque en algunos escenarios (por ejemplo, si aumenta la emisión de gases de efecto invernadero), las precipitaciones proyectadas disminuirían en algunas cuencas del noroeste hasta 20%, teniendo su extremo en la cuenca llamada El Tapón, en Sonora, donde las reducciones serían superiores a 20% (Murrieta *et al.*, 2010). Se debe destacar que solamente en varias cuencas ubicadas en Chihuahua y Coahuila, se presentarían incrementos en la precipitación de hasta 5% como máximo.

Las ciudades *Top 50* de México se clasificaron en tres categorías de acuerdo con la magnitud de sus alteraciones de precipitación: *i.* alta (-10 a -15%); *ii.* media (-5 a -10%), y *iii.* baja (-5 a 0%). Ninguna de las 50 ciudades más pobladas del país se localiza en cuencas donde se proyecten incrementos de precipitación.

Ciudades con alteraciones de precipitaciones altas

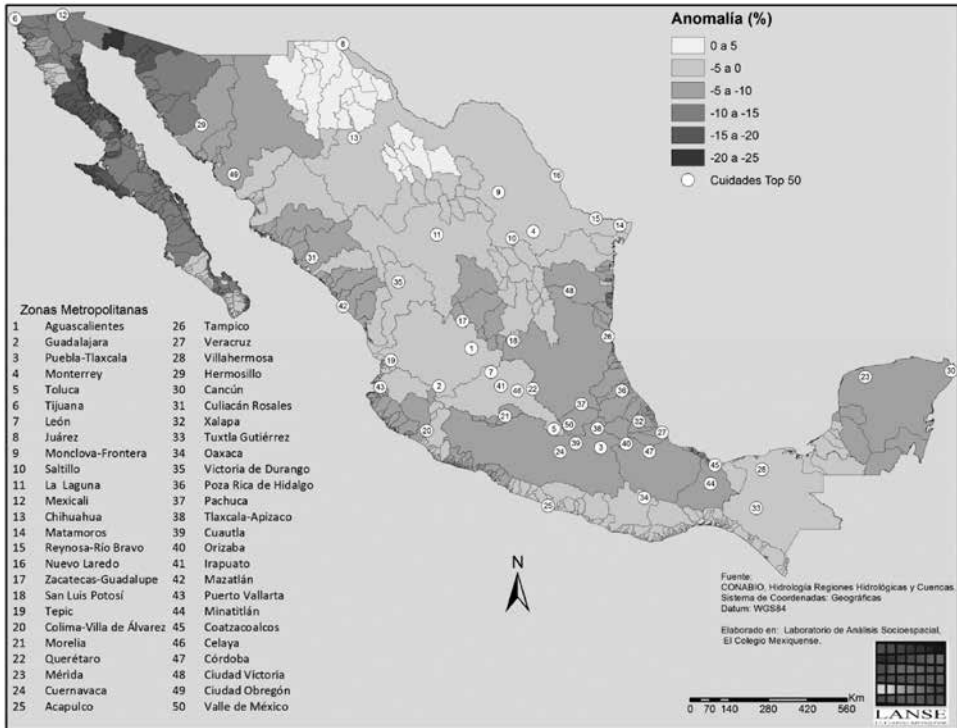
Cuatro ciudades se localizan en cuencas que registrarán reducciones altas de precipitación (entre 10 y 15%): las ZM de Tijuana (1.7 millones de habitantes) y Mexicali (936.8 mil habitantes), y las ciudades de Hermosillo (715 000 habitantes) y Ciudad Obregón (3030.1 mil habitantes). Todas se localizan en las cuencas de la Región Noroeste, donde las actividades agrícolas son muy importantes. Suman 3.7 millones de habitantes, que representan 4.6% del total de la población urbana de México (véanse Figura 3.8; Cuadro 3.10).

Ciudades con alteraciones de precipitación media

En esta categoría está la ciudad más poblada del país (la ZM del Valle de México) y otras ciudades que ya superan el millón de habitantes o que muy probablemente lo superarán en los próximos años, como las ZM de Puebla-Tlaxcala (2.7 millones de habitantes), Toluca (1.8 millones), Mérida (973 mil habitantes), Cuernavaca (876 000), Morelia (807 000) y Veracruz (801 000 habitantes).

En total, las ciudades en condición de alteraciones de precipitación media suman 34.0 millones de habitantes, equivalentes a 42.4% de la población urbana nacional. Esto significa que la población en condiciones de alteraciones

Figura 3.8
Principales 50 ciudades del país:
cambio climático y efectos en la precipitación, 2020



Fuente: Cotler, 2010; y elaboración propia; realización: Laboratorio de Análisis Socioespacial de El Colegio Mexiquense.

de precipitación alta y media llega a 37.7 millones de personas, casi la mitad de la población urbana del país (47%). Prácticamente uno de cada dos habitantes urbanos de México enfrentarán los efectos de disminuciones altas y medias en la precipitación media anual.

Ciudades con alteraciones de precipitación bajas

Las ciudades con disminuciones bajas en sus precipitaciones medias anuales (de 0 a -5%) se localizan predominantemente en las cuencas del norte, centro norte y sur del país. Debe mencionarse que en esta categoría están las megaciudades de Guadalajara y Monterrey, varias ciudades millonarias (las ZM de León, Ciudad Juárez, La Laguna, Querétaro y San Luis Potosí) y varias ciudades potencialmente millonarias para 2020 (que ahora son mayores a 800 000 habitantes) como las

Cuadro 3.10
Principales 50 ciudades del país: cambio climático y efectos en la precipitación, 2020

Rango por población 2010	Ciudad	Población	Población acumulada	Población (%)	Población acumulada	Cambio climático: cambio en la precipitación, 2020 (%)
Ciudades con cambio en la precipitación en 2020: de -10% a -15%						
6	ZM de Tijuana	1 751 430	1 751 430	2.2	2.2	3
13	ZM de Mexicali	936 826	2 688 256	1.2	3.3	3
24	Hermosillo	715 061	3 403 317	0.9	4.2	3
49	Ciudad Obregón	303 126	3 706 443	0.4	4.6	3
Ciudades con cambio en la Precipitación en 2020: de -5% a -10%						
1	ZM del Valle de México	20 116 842	20 116 842	25.0	25.0	2
4	ZM de Puebla-Tlaxcala	2 668 437	22 785 279	3.3	28.3	2
5	ZM de Toluca	1 846 116	24 631 395	2.3	30.6	2
12	ZM de Mérida	973 046	25 604 441	1.2	31.8	2
15	ZM de Cuernavaca	876 083	26 480 524	1.1	32.9	2
20	ZM de Morelia	807 902	27 288 426	1.0	33.9	2
21	ZM de Veracruz	801 295	28 089 721	1.0	34.9	2
25	ZM de Cancún	677 379	28 767 100	0.8	35.8	2
26	Culiacán Rosales	675 773	29 442 873	0.8	36.6	2
27	ZM de Xalapa	666 535	30 109 408	0.8	37.4	2
31	ZM de Poza Rica	513 518	30 622 926	0.6	38.1	2

-10 a -15 = 3
-5 a -10 = 2
0 a -5 = 1

Rango por población 2010	Ciudad	Población	Población acumulada	Población (%)	Población (%) acumulada	Cambio climático: cambio en la precipitación, 2020 (%)
33	ZM de Tlaxcala-Apizaco	499 567	31 122 493	0.6	38.7	2
35	ZM de Cuautla	434 147	31 556 640	0.5	39.2	2
37	ZM de Orizaba	410 508	31 967 148	0.5	39.7	2
40	Mazatlán	381 583	32 348 731	0.5	40.2	2
41	ZM de Puerto Vallarta	379 886	32 728 617	0.5	40.7	2
42	ZM de Minatitlán	356 137	33 084 754	0.4	41.1	2
43	ZM de Coatzacoalcos	347 257	33 432 011	0.4	41.6	2
45	ZM de Colima-Villa de Álvarez	334 240	33 766 251	0.4	42.0	2
47	ZM de Córdoba	316 032	34 082 283	0.4	42.4	2
Ciudades con cambio en la precipitación en 2020: de 0% a -5%						
2	ZM de Guadalajara	4 434 878	4 434 878	5.5	5.5	1
3	ZM de Monterrey	4 089 962	8 524 840	5.1	10.6	1
7	ZM de León	1 609 504	10 134 344	2.0	12.6	1
8	ZM de Juárez	1 332 131	11 466 475	1.7	14.3	1
9	ZM de La Laguna	1 215 817	12 682 292	1.5	15.8	1
10	ZM de Querétaro	1 097 025	13 779 317	1.4	17.1	1
11	ZM de San Luis Potosí-S. de GS	1 040 443	14 819 760	1.3	18.4	1
14	ZM de Aguascalientes	932 369	15 752 129	1.2	19.6	1

-10 a -15 = 3
-5 a -10 = 2
0 a -5 = 1

Rango por población 2010	Ciudad	Población	Población acumulada	Población (%)	Población (%) acumulada	Cambio climático: cambio en la precipitación, 2020 (%)
16	ZM de Acapulco	863 431	16 615 560	1.1	20.7	1
17	ZM de Tampico	859 419	17 474 979	1.1	21.7	1
18	ZM de Chihuahua	852 533	18 327 512	1.1	22.8	1
19	ZM de Saltillo	823 128	19 150 640	1.0	23.8	1
22	ZM de Villahermosa	755 425	19 906 065	0.9	24.8	1
23	ZM de Reynosa-Río Bravo	727 150	20 633 215	0.9	25.7	1
28	ZM de Tuxtla Gutiérrez	640 977	21 274 192	0.8	26.5	1
29	ZM de Oaxaca	593 658	21 867 850	0.7	27.2	1
30	Victoria de Durango	518 709	22 386 559	0.6	27.8	1
32	ZM de Pachuca	512 196	22 898 755	0.6	28.5	1
34	ZM de Matamoros	489 193	23 387 948	0.6	29.1	1
36	ZM de Tepic	429 351	23 817 299	0.5	29.6	1
38	Irapuato	396 975	24 214 274	0.5	30.1	1
39	ZM de Nuevo Laredo	384 033	24 598 307	0.5	30.6	1
44	Celaya	340 387	24 938 694	0.4	31.0	1
46	ZM de Monclova-Frontera	317 313	25 256 007	0.4	31.4	1
48	Ciudad Victoria	305 155	25 561 162	0.4	31.8	1
50	ZM de Zacatecas-Guadalupe	298 167	25 859 329	0.4	32.2	1

-10 a -15 = 3
-5 a -10 = 2
0 a -5 = 1

Rango por población 2010	Ciudad	Población	Población acumulada	Población (%)	Población (%) acumulada	Cambio climático: cambio en la precipitación, 2020 (%)
	Suma	63 648 055	...	79.1	...	...
	Suma resto urbano	16 773 247	...	20.9	...	...
	Total urbano	80 421 302	...	100.0	...	...

Fuente: Murrieta *et al.*, 2010; Conapo, 2011. Cálculos propios

$$-10 \text{ a } -15 = 3$$

$$-5 \text{ a } -10 = 2$$

$$0 \text{ a } -5 = 1$$

ZM de Aguascalientes, Acapulco, Tampico, Chihuahua y Saltillo, así como ciudades con rápido crecimiento y que ya juegan un rol socioeconómico muy relevante en sus regiones, como las ZM de Villahermosa (755 000 habitantes), Reynosa-Río Bravo (727 000 habitantes) y Tuxtla Gutiérrez (741 000).

Prácticamente todas las ciudades de la frontera norte incluidas en las ciudades *Top 50*, están en esta categoría, las ZM de: Ciudad Juárez, Reynosa-Río Bravo, Matamoros y Nuevo Laredo (salvo las ZM de Tijuana y Mexicali, que enfrentarán serios problemas de precipitación por el cambio climático en las siguientes décadas).

En total, la población que enfrentará alteraciones bajas de precipitación hasta 2030 suma 25.8 millones de habitantes, que equivalen a 32.2% de la población urbana del país.

6.3. Ciudades prioritarias por combinaciones de alteraciones extremas tanto de temperatura como de precipitación

Las ciudades prioritarias que requerirán atención especial son las que presentan una combinación extrema de impacto por incremento de temperatura cercano a 1.1°C (o 1.7°C si se incorpora el grado de incertidumbre) y disminución de precipitación mayor a 10% (Murrieta *et al.*, 2010). Así, las ciudades *Top 50* se han clasificado en cuatro categorías de acuerdo con la combinación que registran por aumentos en temperatura y disminuciones en precipitación: *i.* riesgo extremo; *ii.* muy alto; *iii.* alto, y *iv.* intermedio (véase Cuadro 3.11).⁷

Dos ciudades se ubican en la categoría de *combinaciones extremas* (llamada aquí riesgo extremo) de aumento de temperatura y reducción de precipitación por el cambio climático: la ZM de Tijuana (1.7 millones de habitantes) y Hermosillo (715 000 habitantes). Ambas registran una combinación de aumentos de temperatura cercanos a 1.1°C y una disminución de precipitación de al menos 10%.

En la categoría de *riesgo muy alto* están cuatro ciudades: la ZM de Mexicali (936.8 mil habitantes), Culiacán Rosales (675.7 mil habitantes), Mazatlán (381.5 mil habitantes) y Ciudad Obregón (303.1 mil habitantes). Las cuatro ciudades juegan un papel socioeconómico muy importante en sus respectivas regiones. Mazatlán se puede ver afectada en sus funciones portuarias en el futuro cercano por alteraciones en el nivel del mar, y Ciudad Obregón puede sufrir en su

⁷ El calificativo *extremo* se toma de Murrieta *et al.*, 2010: 141, cuando hablan de *combinaciones extremas*.

Cuadro 3.11
Principales 50 ciudades del país:
ciudades prioritarias por combinaciones de alteraciones de temperatura y precipitación, 2020

Rango	Ciudad	Población	Población acumulada	Población (%)	Población acumulada (%)	Cambio climático: cambio en la temperatura, 2020 1-1.1 grados C = 3 0.8-0.9 grados C = 2 0.7 = 1	Cambio climático: cambio en la precipitación, 2020 (%) -10 a -15 = 3 -5 a -10 = 2 0 a -5 = 1	Suma de riesgo por cambio climático riesgo extremo = 6 riesgo muy alto = 5 riesgo alto = 4 riesgo intermedio = 3
Ciudades con combinaciones de alteraciones en temperatura y precipitación que implican riesgo extremo (6) y muy alto (5)								
6	ZM de Tijuana	1 751 430	1 751 430	2.2	2.2	3	3	6
24	Hermosillo	715 061	2 466 491	0.9	3.1	3	3	6
13	ZM de Mexicali	936 826	3 403 317	1.2	4.2	2	3	5
26	Culiacán Rosales	675 773	4 079 090	0.8	5.1	3	2	5
40	Mazatlán	381 583	4 460 673	0.5	5.5	3	2	5
49	Ciudad Obregón	303 126	4 763 799	0.4	5.9	2	3	5
Ciudades con combinaciones de alteraciones en temperatura y precipitación que implican riesgo alto								
1	ZM del Valle de México	20 116 842	20 116 842	25.0	25.0	2	2	4
4	ZM de Puebla-Tlaxcala	2 668 437	22 785 279	3.3	28.3	2	2	4
5	ZM de Toluca	1 846 116	24 631 395	2.3	30.6	2	2	4
15	ZM de Cuernavaca	876 083	25 507 478	1.1	31.7	2	2	4
20	ZM de Morelia	807 902	26 315 380	1.0	32.7	2	2	4
21	ZM de Veracruz	801 295	27 116 675	1.0	33.7	2	2	4
27	ZM de Xalapa	666 535	27 783 210	0.8	34.5	2	2	4

Rango	Ciudad	Población	Población acumulada	Población (%)	Población (%) acumulada	Cambio climático: cambio en la temperatura, 2020 1-1.1 grados C = 3 0.8-0.9 grados C = 2 0.7 = 1	Cambio climático: cambio en la precipitación, 2020 (%) -10 a -15 = 3 -5 a -10 = 2 0 a -5 = 1	Suma de riesgo por cambio climático riesgo extremo = 6 riesgo muy alto = 5 riesgo alto = 4 riesgo intermedio = 3
31	ZM de Poza Rica	513 518	28 296 728	0.6	35.2	2	2	4
33	ZM de Tlaxcala-Apizaco	499 567	28 796 295	0.6	35.8	2	2	4
35	ZM de Cuautla	434 147	29 230 442	0.5	36.3	2	2	4
36	ZM de Tepic	429 351	29 659 793	0.5	36.9	3	1	4
37	ZM de Orizaba	410 508	30 070 301	0.5	37.4	2	2	4
41	ZM de Puerto Vallarta	379 886	30 450 187	0.5	37.9	2	2	4
42	ZM de Minatitlán	356 137	30 806 324	0.4	38.3	2	2	4
43	ZM de Coatzacoalcos	347 257	31 153 581	0.4	38.7	2	2	4
45	ZM de Colima-Villa de Álvarez	334 240	31 487 821	0.4	39.2	2	2	4
47	ZM de Córdoba	316 032	31 803 853	0.4	39.5	2	2	4
Ciudades con combinaciones de alteraciones en temperatura y precipitación que implican riesgo intermedio								
2	ZM de Guadalajara	4 434 878	4 434 878	5.5	5.5	2	1	3
3	ZM de Monterrey	4 089 962	8 524 840	5.1	10.6	2	1	3
7	ZM de León	1 609 504	10 134 344	2.0	12.6	2	1	3
8	ZM de Juárez	1 332 131	11 466 475	1.7	14.3	2	1	3
9	ZM de La Laguna	1 215 817	12 682 292	1.5	15.8	2	1	3
10	ZM de Querétaro	1 097 025	13 779 317	1.4	17.1	2	1	3

Rango	Ciudad	Población	Población acumulada	Población (%)	Población (%) acumulada	Cambio climático: cambio en la temperatura, 2020 1-1.1 grados C = 3 0.8-0.9 grados C = 2 0.7 = 1	Cambio climático: cambio en la precipitación, 2020 (%) -10 a -15 = 3 -5 a -10 = 2 0 a -5 = 1	Suma de riesgo por cambio climático riesgo extremo = 6 riesgo muy alto = 5 riesgo alto = 4 riesgo intermedio = 3
11	ZM de San Luis Potosí-S. de GS	1 040 443	14 819 760	1.3	18.4	2	1	3
12	ZM de Mérida	973 046	15 792 806	1.2	19.6	1	2	3
14	ZM de Aguascalientes	932 369	16 725 175	1.2	20.8	2	1	3
16	ZM de Acapulco	863 431	17 588 606	1.1	21.9	2	1	3
17	ZM de Tampico	859 419	18 448 025	1.1	22.9	2	1	3
18	ZM de Chihuahua	852 533	19 300 558	1.1	24.0	2	1	3
19	ZM de Saltillo	823 128	20 123 686	1.0	25.0	2	1	3
22	ZM de Villahermosa	755 425	20 879 111	0.9	26.0	2	1	3
23	ZM de Reynosa-Río Bravo	727 150	21 606 261	0.9	26.9	2	1	3
25	ZM de Cancún	677 379	22 283 640	0.8	27.7	1	2	3
28	ZM de Tuxtla Gutiérrez	640 977	22 924 617	0.8	28.5	2	1	3
29	ZM de Oaxaca	593 658	23 518 275	0.7	29.2	2	1	3
30	Victoria de Durango	518 709	24 036 984	0.6	29.9	2	1	3
32	ZM de Pachuca	512 196	24 549 180	0.6	30.5	2	1	3
34	ZM de Matamoros	489 193	25 038 373	0.6	31.1	2	1	3
38	Irapuato	396 975	25 435 348	0.5	31.6	2	1	3
39	ZM de Nuevo Laredo	384 033	25 819 381	0.5	32.1	2	1	3
44	Celaya	340 387	26 159 768	0.4	32.5	2	1	3

Rango	Ciudad	Población	Población acumulada	Población (%)	Población (%) acumulada	Cambio climático: cambio en la temperatura, 2020 1-1.1 grados C = 3 0.8-0.9 grados C = 2 0.7 = 1	Cambio climático: cambio en la precipitación, 2020 (%) -10 a -15 = 3 -5 a -10 = 2 0 a -5 = 1	Suma de riesgo por cambio climático riesgo extremo = 6 riesgo muy alto = 5 riesgo alto = 4 riesgo intermedio = 3
46	ZM de Monclova-Frontera	317 313	26 477 081	0.4	32.9	2	1	3
48	Ciudad Victoria	305 155	26 782 236	0.4	33.3	2	1	3
50	ZM de Zacatecas-Guadalupe	298 167	27 080 403	0.4	33.7	2	1	3
	Suma	63 648 055	...	79.1	...	...	...	...
	Suma resto urbano	16 773 247	...	20.9	...	...	...	...
	Total urbano	80 421 302	...	100.0	...	...	...	...

Fuente: Murrieta *et al.*, 2010; Conapo, 2011. Cálculos propios.

economía dada su especialización en actividades agrícolas. En ambas ciudades y en sus regiones circundantes bajará notablemente la precipitación (véase Cuadro 3.11.)

Ciudades prioritarias: riesgo extremo y muy alto

La población urbana del país en *riesgo extremo y muy alto* por aumentos de temperatura y reducciones de precipitación suma 4.7 millones de personas, que representan 5.9% del total de la población urbana nacional y se localizan exclusivamente en la Región Noroeste del país.

Ciudades en riesgo alto

Las ciudades en riesgo alto por la combinación de aumentos en la temperatura y descensos en la precipitación integran a 39.5% de la población urbana nacional (31.8 millones de habitantes). Destacan en esta categoría ciudades tan importantes como las ZM del Valle de México, Puebla-Tlaxcala y Toluca. También se incluyen algunas ciudades potencialmente millonarias para 2020, como las ZM de Cuernavaca, Morelia y Veracruz. En términos regionales, salvo excepciones (las ZM de Morelia, Tepic, Puerto Vallarta y Colima), el resto se localiza en el centro del país y en la parte del golfo de México.

Todas las ciudades de esta categoría muestran riesgos altos tanto en aumento de temperatura como en descenso de precipitación, salvo la ZM de Tepic, que resentirá aumentos importantes en su temperatura media anual, pero no en su nivel de precipitación.

Ciudades en riesgo intermedio

En esta categoría están dos de las tres megaciudades de México: las ZM de Guadalajara y Monterrey, cinco ciudades millonarias (las ZM de León, Ciudad Juárez, La Laguna, Querétaro y San Luis Potosí), seis ciudades potencialmente millonarias para 2020 (las ZM de Mérida, Aguascalientes, Acapulco, Tampico, Chihuahua y Saltillo) y otras con un gran potencial de crecimiento y desarrollo como las ZM de Villahermosa, Reynosa-Río Bravo, Cancún y Tuxtla Gutiérrez. El resto son ciudades menores a 600 000 habitantes, incluyendo cinco capitales estatales: Oaxaca (593.6 mil habitantes), Victoria de Durango (518.7 mil habi-

tantes), Pachuca (512.1 mil), Ciudad Victoria (302.1 mil habitantes) y Zacatecas-Guadalupe (298.1 mil habitantes).

En total, las ciudades en esta categoría suman 27.1 millones de habitantes, que representan 33.7% del total de la población urbana de México (véase Cuadro 3.11).

7. Grado de alteración del funcionamiento de las cuencas y nivel de presión esperado

Para muchos especialistas, las cuencas hidrológicas son la unidad espacial más adecuada para la planeación y gestión de los recursos naturales. No obstante, la obtención de una buena imagen de la situación de las cuencas en México es una tarea complicada. Con frecuencia no existen datos suficientes y no hay consenso de cómo se deben evaluar las condiciones de las cuencas, por lo que los resultados de diversas instituciones pueden ser divergentes e incluso contradictorios, lo que no ayuda a concentrar los esfuerzos de planeación.

Aunque en nuestro país se carece de información precisa para establecer con exactitud umbrales de degradación de las cuencas, sí están disponibles indicadores de externalidades que revelan las situaciones de deterioro de las cuencas. Sea por exceder su capacidad de retener, absorber y degradar contaminantes, o por modificar su capacidad de regeneración natural y de adaptación ante escenarios de cambio global (Cotler *et al.*, 2010).

Cotler *et al.* (2010) evaluaron la situación de deterioro de las cuencas hidrológicas de México, con el propósito de priorizarlas y orientar los esfuerzos de corrección. Utilizaron dos conjuntos de variables, uno relacionado con la alteración de la dinámica funcional de las cuencas (Cuadro 3.12) y el otro asociado a los niveles de presión que ejercerá el crecimiento proyectado de la población al 2030 y las tendencias de cambio de uso de suelo (tomando como antecedente el periodo 1976 a 2008).

El cambio de la cobertura vegetal es el principal detonador de la transformación de los ecosistemas, y genera procesos de degradación y pérdida de los servicios ambientales (i.e., alteración de los ciclos hidrológicos y biogeoquímicos, la introducción de especies exóticas y la pérdida de hábitat en general). Para incorporar esta categoría de variables en sus cálculos, Cotler *et al.* se apoyaron en la tendencia en el cambio de cobertura vegetal en las cuencas de México, de 1976 a 2008, medida como la pérdida anualizada (en ha/año). También

Cuadro 3.12 Variables consideradas para estimar la alteración funcional de las cuencas hidrológicas de México

<i>Indicador</i>	<i>Impacto en la dinámica funcional de las cuencas</i>
Índice de Transformación Humana de los Ecosistemas (Ithe)	Grado de transformación humana de los sistemas naturales: cambios en la conectividad, capacidad de infiltración, evapotranspiración, así como en la dirección de los flujos hídricos (escorrentía). Pérdida de biodiversidad y hábitat. Promueve procesos de erosión.
Degradación de suelos	Alteración del estado y de las funciones de los suelos: disminuye infiltración, aumenta evaporación y escorrentía, promueve generación de sedimentos y contaminación de cuerpos de agua.
Fragmentación de ríos y deterioro de zonas riparias	Segmentación, interrupción y desviación del caudal de los ríos por presas, diques, bordos, canales y carreteras: promueve cambios en la cantidad y calidad del agua y sedimentación, ocasionando pérdida de biodiversidad acuática. Cambios en el régimen hidrológico de la cuenca y el balance hídrico cuenca alta-cuenca baja. Pérdida y degradación de los sistemas riparios: pérdida de vegetación y fauna riparia, altera flujos hídricos, disminuye posibilidad de autodepuración hídrica y retención de sedimentos. Pérdida de hábitat y biodiversidad. Promueve el establecimiento de especies exóticas.
Presión hídrica	Proporción del volumen de agua extraída para usos consuntivos en relación con el agua naturalmente disponible: agotamiento del recurso hídrico, ausencia de caudal ecológico; desequilibrio hídrico.
Contaminación potencial difusa	Generación y concentración de contaminantes provenientes de agroquímicos: contaminación de suelos y de cuerpos de agua. Deterioro de la calidad de agua. Pérdida de funciones riparias.

Fuente: Cotler *et al.*, 2010.

incorporaron otro detonador importante, que es el cambio poblacional, por su importancia como consumidor de bienes y servicios ambientales y generador de externalidades negativas. La tasa de crecimiento poblacional de 2005 a 2030 implica mayor presión sobre las cuencas hidrográficas del país.

Ambas variables se agregaron en la categoría niveles de presión esperada, que pueden llegar a ser altos para 27% de las cuencas del país. La integración y comparación de todas las variables la realizaron mediante el diseño de un árbol de decisiones en un contexto analítico espacial multicriterio. De esta manera jerarquizaron las 393 cuencas hidrológicas del país y las clasificaron en función de su valor agregado final.

Los resultados de Cotler *et al.* (2010) muestran que 66% de las cuencas presentan un grado de deterioro de alto a extremo en su funcionamiento. Las cuencas con grados extremos de alteración se localizan sobre todo en el centro-orientado del país: la cuenca Lerma-Chapala, Cuitzeo, cuenca de México, Jamapa y La Antigua; en la frontera sur destacan los ríos Suchiate y Caohacán, y en el norte, el lago de Bustillos. A partir de las cuencas centrales más alteradas el deterioro se extiende hacia otras grandes cuencas como las de los ríos Balsas, Pánuco y Santiago, y de ahí hacia las cuencas más pequeñas que están en las regiones circundantes.

También se registran niveles muy altos de alteración en otras cuencas del país. En el Pacífico norte destacan: el estero La Inicial, los ríos Évora y Pericos, el lago de Santiaguillo y la laguna Agua Grande; en el Pacífico sur: los ríos La Sabana, La Estancia y Los Perros; y en el golfo de México: la cuenca del río Tolomé. Restablecer los componentes y procesos que determinan la dinámica funcional de una cuenca puede tomar años o incluso décadas, según el grado de deterioro, las dimensiones de la cuenca y la presión que resiente.

Considerando la dinámica funcional de las cuencas y sus niveles de presión, Cotler *et al.* (2010) reportan que 50% de las cuencas de México registran un grado de alteración de muy alto a extremo o un nivel de presión alto. De estas cuencas, 43 (23% del territorio nacional) requieren medidas *urgentes* para recuperar su funcionamiento ecohidrológico.

Veintiún cuencas (27% de la superficie del país) en situación de deterioro medio o bajo requieren una gestión preventiva, por la presión alta que resentirán en los próximos años, lo que podría dañar sus condiciones de manera acelerada. Finalmente, hay cinco cuencas (4% del territorio nacional) que presentan tanto una alteración de la dinámica funcional muy alta a extrema como niveles de presión altos: el estero La Inicial (en Sinaloa), los ríos Santiago (que

atraviesa Jalisco, Nayarit, Aguascalientes, Durango y Zacatecas), Los Perros (en Oaxaca) y Jamapa (en Veracruz), así como el lago Santa Ana (en Zacatecas y San Luis Potosí).

7.1. La dimensión urbana del grado de deterioro de la dinámica funcional de las cuencas y nivel de presión esperado

Las ciudades prioritarias por su grado de alteración del funcionamiento de las cuencas en las que se localizan y su nivel de presión esperado se clasificaron en cuatro categorías: *i.* ciudades prioritarias por su grado de deterioro de la dinámica funcional de las cuencas donde se localizan; *ii.* ciudades prioritarias por su nivel de presión esperado; *iii.* ciudades prioritarias de acuerdo con la combinación de ambos vectores de variables, y *iv.* ciudades no prioritarias (por mostrar bajo o nulo grado de alteración del funcionamiento de las cuencas en las que se localizan y también incrementos bajos o nulos en los niveles de presión esperados).

Ciudades no prioritarias

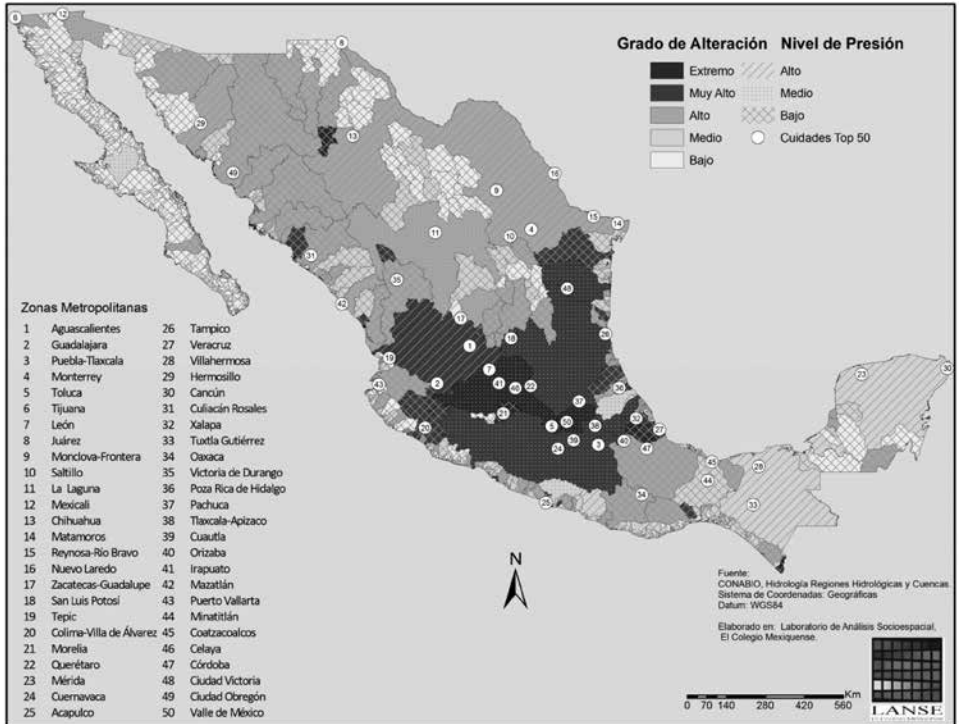
Diez de las ciudades *Top 50* más pobladas del país están clasificadas como *ciudades no prioritarias*, ya que no se prevén elevados niveles de deterioro de la dinámica funcional de las cuencas en las que se localizan ni problemas de Presión en los próximos años. Destaca una ciudad millonaria (la ZM de La Laguna) y otra potencialmente millonaria en 2020 (la ZM de Mexicali), dos capitales estatales (Victoria de Durango y la ZM de Oaxaca), tres centros socioeconómicos importantes del noroeste (Culiacán Rosales, Mazatlán y Ciudad Obregón), uno de los principales destinos turísticos de México (la ZM de Puerto Vallarta) y dos ciudades petroleras del corredor urbano de Veracruz: las ZM de Minatitlán y Coatzacoalcos (véanse Figura 3.9 y Cuadro 3.13).⁸

La población que vive en ciudades no prioritarias suma 5.7 millones de personas y representa 7.1% de la población urbana nacional.

⁸ Cabe subrayar que en este análisis no se consideró la *calidad* del agua disponible.

Figura 3.9

Cincuenta ciudades más pobladas del país: ciudades prioritarias según el grado de alteración de la dinámica de funcionamiento y el nivel de presión esperado de las cuencas hidrográficas donde se localizan



Fuente: Cotler, 2010; y elaboración propia; realización: Laboratorio de Análisis Socioespacial de El Colegio Mexiquense.

Ciudades prioritarias por su grado de deterioro de la dinámica funcional de las cuencas en las que se localizan

En esta categoría se ubica la ciudad más poblada del país (la ZM del Valle de México) y cuatro de las siguientes 10 ciudades con mayor población (las ZM de Puebla-Tlaxcala, Toluca, Querétaro y San Luis Potosí), tres ciudades potencialmente millonarias para 2020 (las ZM de Cuernavaca, Tampico y Morelia), cinco capitales estatales (las ZM de Xalapa, Pachuca, Tepic, Colima y Ciudad Victoria), una ciudad que está integrando una las grandes regiones urbanas de México (la ZM de Tlaxcala-Apizaco, que está vinculándose cada vez más con la ZM de Puebla-Tlaxcala) y otra que también está conformando una región urbana, aunque de escala intermedia (la ZM de Cuatla con la ZM de Cuernavaca), dos

Cuadro 3.13
Cincuenta ciudades más pobladas del país:
ciudades prioritarias según el grado de deterioro de la dinámica de funcionamiento
y el nivel de presión esperado de las cuencas hidrográficas donde se localizan

Rango por población 2010	Ciudad	Población	Población acumulada	Población (%)	Población (%) acumulada	Ciudades prioritarias de acuerdo con: deterioro de su dinámica funcional = DEDIF Nivel de presión esperado = NIPE Ambos ejes de variables = AEV No prioritaria = NOP
Ciudades prioritarias de acuerdo con ambos ejes de variables (deterioro de dinámica funcional y nivel de presión esperado):						
2	ZM de Guadalajara	4 434 878	4 434 878	5.5	5.5	AEV
7	ZM de León	1 609 504	6 044 382	2.0	7.5	AEV
14	ZM de Aguascalientes	932 369	6 976 751	1.2	8.7	AEV
21	ZM de Veracruz	801 295	7 778 046	1.0	9.7	AEV
37	ZM de Orizaba	410 508	8 188 554	0.5	10.2	AEV
47	ZM de Córdoba	316 032	8 504 586	0.4	10.6	AEV
50	ZM de Zacatecas-Guadalupe	298 167	8 802 753	0.4	10.9	AEV
Ciudades prioritarias de acuerdo con el deterioro de la dinámica funcional de las cuencas donde se localizan:						
1	ZM del Valle de México	20 116 842	20 116 842	25.0	25.0	DEDIF
4	ZM de Puebla-Tlaxcala	2 668 437	22 785 279	3.3	28.3	DEDIF
5	ZM de Toluca	1 846 116	24 631 395	2.3	30.6	DEDIF
10	ZM de Querétaro	1 097 025	25 728 420	1.4	32.0	DEDIF
11	ZM de San Luis Potosí-S. de GS	1 040 443	26 768 863	1.3	33.3	DEDIF

Rango por población 2010	Ciudad	Población	Población acumulada	Población (%)	Población (%) acumulada	Ciudades prioritarias de acuerdo con: deterioro de su dinámica funcional = DEDIF Nivel de presión esperado = NIPE Ambos ejes de variables = AEV No prioritaria = NOP
15	ZM de Cuernavaca	876 083	27 644 946	1.1	34.4	DEDIF
17	ZM de Tampico	859 419	28 504 365	1.1	35.4	DEDIF
20	ZM de Morelia	807 902	29 312 267	1.0	36.4	DEDIF
27	ZM de Xalapa	666 535	29 978 802	0.8	37.3	DEDIF
31	ZM de Poza Rica	513 518	30 492 320	0.6	37.9	DEDIF
32	ZM de Pachuca	512 196	31 004 516	0.6	38.6	DEDIF
33	ZM de Tlaxcala-Apizaco	499 567	31 504 083	0.6	39.2	DEDIF
35	ZM de Cuautla	434 147	31 938 230	0.5	39.7	DEDIF
36	ZM de Tepic	429 351	32 367 581	0.5	40.2	DEDIF
38	Irapuato	396 975	32 764 556	0.5	40.7	DEDIF
44	Celaya	340 387	33 104 943	0.4	41.2	DEDIF
45	ZM de Colima-Villa de Álvarez	334 240	33 439 183	0.4	41.6	DEDIF
48	Ciudad Victoria	305 155	33 744 338	0.4	42.0	DEDIF
Ciudades prioritarias de acuerdo con el nivel de presión esperado en las cuencas donde se localizan:						
3	ZM de Monterrey	4 089 962	4 089 962	5.1	5.1	NIPE
6	ZM de Tijuana	1 751 430	5 841 392	2.2	7.3	NIPE
8	ZM de Juárez	1 332 131	7 173 523	1.7	8.9	NIPE
12	ZM de Mérida	973 046	8 146 569	1.2	10.1	NIPE

Rango por población 2010	Ciudad	Población	Población acumulada	Población (%)	Población (%) acumulada	Ciudades prioritarias de acuerdo con: deterioro de su dinámica funcional = DEDIF Nivel de presión esperado = NIPE Ambos ejes de variables = AEV No prioritaria = NOP
16	ZM de Acapulco	863 431	9 010 000	1.1	11.2	NIPE
18	ZM de Chihuahua	852 533	9 862 533	1.1	12.3	NIPE
19	ZM de Saltillo	823 128	10 685 661	1.0	13.3	NIPE
22	ZM de Villahermosa	755 425	11 441 086	0.9	14.2	NIPE
23	ZM de Reynosa-Río Bravo	727 150	12 168 236	0.9	15.1	NIPE
24	Hermosillo	715 061	12 883 297	0.9	16.0	NIPE
25	ZM de Cancún	677 379	13 560 676	0.8	16.9	NIPE
28	ZM de Tuxtla Gutiérrez	640 977	14 201 653	0.8	17.7	NIPE
34	ZM de Matamoros	489 193	14 690 846	0.6	18.3	NIPE
39	ZM de Nuevo Laredo	384 033	15 074 879	0.5	18.7	NIPE
46	ZM de Monclova-Frontera	317 313	15 392 192	0.4	19.1	NIPE
Ciudades no prioritarias de acuerdo con el deterioro de la dinámica funcional y al nivel de presión esperado de las cuencas donde se localizan:						
9	ZM de La Laguna	1 215 817	1 215 817	1.5	1.5	NOP
13	ZM de Mexicali	936 826	2 152 643	1.2	2.7	NOP
26	Culiacán Rosales	675 773	2 828 416	0.8	3.5	NOP
29	ZM de Oaxaca	593 658	3 422 074	0.7	4.3	NOP
30	Victoria de Durango	518 709	3 940 783	0.6	4.9	NOP
40	Mazatlán	381 583	4 322 366	0.5	5.4	NOP

Rango por población 2010	Ciudad	Población	Población acumulada	Población (%)	Población (%) acumulada	Ciudades prioritarias de acuerdo con: deterioro de su dinámica funcional = DEDIF Nivel de presión esperado = NIPE Ambos ejes de variables = AEV No prioritaria = NOP
41	ZM de Puerto Vallarta	379 886	4 702 252	0.5	5.9	NOP
42	ZM de Minatitlán	356 137	5 058 389	0.4	6.3	NOP
43	ZM de Coatzacoalcos	347 257	5 405 646	0.4	6.7	NOP
49	Ciudad Obregón	303 126	5 708 772	0.4	7.1	NOP
	Suma	63 648 055	...	79.1	...	...
	Suma resto urbano	16 773 247	...	20.9	...	...
	Total urbano	80 421 302	...	100.0	...	...

Fuente: Coler et al., 2010. Conapo, 2011. Estimaciones propias.

ciudades del corredor urbano del Bajío (Irapuato y Celaya) y una de corte petrolero que pertenece al corredor urbano de Veracruz (la ZM de Poza Rica).

Todas estas ciudades son prioritarias en uno de los dos vectores de variables consideradas y requieren *medidas urgentes de corrección*. Suman 33.7 millones de habitantes, lo que significa que cuatro de cada 10 habitantes urbanos de México (42.0%) están en esta circunstancia hídrica (Cuadro 3.13).

Ciudades prioritarias por su nivel de presión esperado

En esta categoría están importantes ciudades del norte del país: una de las tres megaciudades de México (la ZM de Monterrey) y ciudades intensamente vinculadas con ella (las ZM de Saltillo y Monclova Frontera), las grandes ciudades de la frontera con los Estados Unidos (salvo la ZM de Mexicali, las ZM de Tijuana, Ciudad Juárez, incluyendo a su ciudad asociada: la ZM de Chihuahua, Reynosa-Río Bravo, Matamoros y Nuevo Laredo), los cuatro motores socioeconómicos del Sur, Sureste y la Península de Yucatán (las ZM de Mérida, Villahermosa, Cancún y Tuxtla Gutiérrez), una ciudad potencialmente millonaria para 2020 (la ZM de Acapulco) y el centro regional no fronterizo más importante de la Región Noroeste (Hermosillo).

Todas son ciudades que recibirán fuertes corrientes migratorias en el futuro y, por tanto, resentirán mayor presión hídrica. En total suman 15.4 millones de habitantes, que equivalen a 19.1% del total de la población urbana en 2010 (Cuadro 3.13).

Ciudades prioritarias por la combinación de ambos vectores de variables

Éstas son las ciudades de *la más alta prioridad* para el país, porque presentan una combinación extrema de grado de deterioro de la dinámica funcional de las cuencas en las que se localizan y nivel de presión esperado. Son siete ciudades de tamaño diverso, que deberían ser el centro de acciones correctivas inmediatas. Cuatro de estas ciudades son de escala demográfica y económica considerable, comenzando por la ZM de Guadalajara (la segunda más poblada del país), la ZM de León (la séptima ciudad más poblada de México), y las ZM de Aguascalientes y Veracruz (ambas ciudades potencialmente millonarias en 2020). Las restantes tres ciudades son de escala demográfica menor: las ZM de Orizaba y Córdoba (en el corredor urbano de Veracruz) y una capital estatal (la

ZM de Zacatecas-Guadalupe). En conjunto, estas ciudades de la *más alta prioridad* suman 8.8 millones de habitantes, que representan 10.9% de la población urbana total nacional.

Si se quisiera ser aún más puntual en la concentración de esfuerzos de política medioambiental, se podría decir que la ZM de Guadalajara es la ciudad de *mayor prioridad en el país*, ya que concentra la mitad de la población urbana (50.4% para ser exactos) que se encuentra en situación de alto grado de deterioro de la dinámica funcional de las cuencas en las que se localizan y alto nivel de presión esperado.

8. Temas clave del capítulo

La manera como se divide el territorio puede determinar los resultados de los análisis urbanos y regionales. Por eso es importante destacar que la *cuenca hidrográfica* constituye la unidad idónea para aproximarse al estudio de la evaluación del riesgo, la gestión de los recursos hídricos y el manejo del territorio ante el cambio climático. La razón: el *sistema agua es transversal* a todos los sistemas humanos y naturales, y la cuenca es el *marco funcional* de relaciones espaciales entre los elementos biofísicos y humanos, cuya expresión puede ser *evaluada* a través del agua.

En materia de la *disponibilidad natural media anual de agua*, lo mejor que pueden hacer las ciudades mexicanas es invertir en la modernización y minimización de fugas de agua en la infraestructura hidráulica e impulsar la cultura del ahorro del recurso. Sin embargo, es común que a los gobernantes no les atraigan estas inversiones que *no se ven* y que las entiendan como *enterrar el dinero*, porque no les generan imagen.

Las ciudades con *volumen natural disponible de agua* (VolNatDA) *bajo* se localizan en las regiones Norte y Centro-Norte del país, incluyendo todas las ciudades de la franja fronteriza con los Estados Unidos. Uno de cada cinco habitantes de las principales 50 ciudades de México está en esta situación. En el otro extremo están alrededor de 6.5 millones de personas que se localizan en ciudades con niveles de VolNatDA *altos y muy altos*.

México enfrenta dos paradojas clave en disponibilidad de agua. La *paradoja económica del agua* es que donde se concentra una gran proporción de población y de actividades económicas se registra baja disponibilidad natural de agua. La *paradoja social del agua* es que donde más abunda el recurso, existe menor

disponibilidad y ocurren las mayores catástrofes naturales vinculadas al agua. Moraleja: la disponibilidad del recurso no es suficiente para impulsar la disponibilidad de agua y el desarrollo de las ciudades, sino que se requieren esquemas adecuados para su planeación, manejo y administración.

Entre las ciudades con *déficit de tratamiento de aguas residuales muy alto* se encuentran, entre otras, dos de las ciudades más pobladas del país: la ZM del Valle de México y la ZM de Puebla-Tlaxcala. Si se les suman las ZM de Cuernavaca, Pachuca, Tlaxcala-Apizaco y Cuautla, que también están en esta condición, resulta que alrededor de 25.2 millones de habitantes de la *región urbana* de la ciudad de México están en condiciones de *alto déficit* de tratamiento de aguas residuales. La red de ciudades que debería ser ejemplo nacional es la más rezagada. Al final, 28.8 millones de habitantes del país viven en ciudades con *muy alto* déficit de tratamiento de aguas residuales.

En condiciones de *presión hídrica fuerte* están dos de las tres megaciudades del país: la más poblada, la ZM del Valle de México, y la ZM de Monterrey; siete ciudades millonarias: las ZM de Toluca, Tijuana, León, Ciudad Juárez, La Laguna, Querétaro y San Luis Potosí; cuatro ciudades potencialmente millonarias para 2020: las ZM de Mexicali, Chihuahua, Saltillo y Morelia; todas las ciudades importantes de la frontera con los Estados Unidos; los motores socioeconómicos del noroeste del país: Hermosillo, Culiacán y Ciudad Obregón; tres capitales estatales de escala demográfica menor (las ZM de Colima y Zacatecas-Guadalupe, y Ciudad Victoria); un destino de playa estratégico para el país: la ZM de Puerto Vallarta; y cuatro ciudades del eje de ciudades del Bajío: las ZM de León y Querétaro, Irapuato y Celaya.

Estas ciudades enfrentarán fuertes presiones hídricas en el futuro próximo y menor disponibilidad de agua, lo que se verá agravado por el calentamiento global, por su crecimiento demográfico, por la localización de nuevas actividades urbanas de alto consumo de agua y por la intensidad de las actividades agrícolas en sus regiones circundantes. En total, los habitantes que viven en ciudades con fuerte presión hídrica suman 43.2 millones de habitantes: 53.7% de la población urbana nacional.

De las 50 ciudades más pobladas del país, 21 registran *riesgo potencial muy alto* o *alto* para la *diversidad y la salud humana* por las actividades económicas que se desarrollan en sus espacios urbanos y regionales. En esta condición están la ZM del Valle de México, seis ciudades millonarias (las ZM de Toluca, Tijuana, León, Ciudad Juárez, Querétaro, San Luis Potosí) y una ciudad que ronda el millón de habitantes (la ZM de Mexicali), que suman 29.7 millones de personas.

En total, la población urbana que vive en condiciones de *alto* y *muy alto* riesgo a la salud humana suma 35.9 millones de habitantes, que equivalen a 44.7% de la población total de las ciudades del país.

A causa del *cambio climático*, dos ciudades se ubican en la categoría de riesgo extremo por razones de *aumento de temperatura* y *reducción de precipitación*: la ZM de Tijuana y Hermosillo. Adicionalmente, en la categoría de *riesgo muy alto* están cuatro ciudades: la ZM de Mexicali, Culiacán Rosales, Mazatlán y Ciudad Obregón. La población urbana del país en *riesgo extremo* y *muy alto* por aumentos de temperatura y reducciones de precipitación suma 4.7 millones de personas, que representan 5.9% del total de la población urbana nacional y se localizan exclusivamente en la Región Noroeste de México.

Son siete las ciudades prioritarias por la *combinación extrema* del *grado de deterioro de la dinámica funcional de sus cuencas* y su *nivel de presión esperado*, que requieren acciones correctivas urgentes: las ZM de Guadalajara, León, Aguascalientes, Veracruz, Orizaba, Córdoba y Zacatecas-Guadalupe. Estas ciudades de la *más alta prioridad* suman 8.8 millones de habitantes (10.9% de la población urbana total nacional). La ZM de Guadalajara es la ciudad de *mayor prioridad en el país*, ya que concentra la mitad de la población urbana que se encuentra en situación de combinación extrema.

