



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO



Captación y uso sustentable del agua de lluvia en la Ciudad de México

Tesis que para obtener el grado de Maestro
en Diseño Industrial presenta:

Isaac Acosta Fuentes

Director de Tesis:

M.D.I. Brenda García Parra

Sinodales:

M.D.I. Ana María Losada Alfaro

Mtra. María del Carmen Bernárdez de la Granja

M.D.I. Guillermo Octaviano Gazano Izquierdo

Dr. José Arturo Gleason Espíndola

**Posgrado en Diseño Industrial
Maestría en Diseño Industrial
Universidad Nacional Autónoma de México
México, 2010**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

*Dedicado a la
Arq. Teresa Ocejo Cázares y al
Mtro. Antonio Abad Sánchez,
con afecto.*

ÍNDICE

Introducción	VII
Capítulo 1	1
Marco teórico	
1.1 Introducción	3
1.2 Definiciones	4
1.3 Marco teórico mínimo	7
1.3.1 Teoría básica	8
1.3.2 Teoría central	12
1.3.3 Teoría de datos	14
Capítulo 2	17
Delimitación del problema	
2.1 Introducción	19
2.2 Dimensión económica	19
2.3 Dimensión social	23
2.4 Dimensión ecológica	28
2.5 Delimitación del problema y ámbito de intervención del diseño	32
Capítulo 3	25
Antecedentes históricos de la relación población-agua en la Ciudad de México	
3.1 Introducción	37
3.2 Una propuesta de periodización	38
3.3 Las estructuras hidráulicas para el suministro y el desalojo de agua	50

3.4 La captación de agua de lluvia desde una perspectiva histórica	52
3.5 Diseño en torno del agua a lo largo de la historia	54
Capítulo 4	57
La captación de agua de lluvia en la Ciudad de México. Una visión desde el diseño.	
4.1 Introducción	59
4.2 Las tecnologías existentes	60
4.2.1 Tecnologías para la captación y el almacenamiento del agua de lluvia	61
4.3 Algunas experiencias de captación de agua de lluvia en la Ciudad de México	77
4.4 Criterios generales para la captación de agua pluvial en la Ciudad de México	78
4.5 Conclusión	94
Capítulo 5	97
Prospectiva de la captación pluvial en la Ciudad de México	
5.1 Introducción	99
5.2 Escenarios futuros	99
5.3 La opinión de los expertos	102
5.4 Participación de actores	105
5.5 La intervención del diseño industrial en el desarrollo de la visión prospectiva	123
Conclusiones	125
Anexos	136
Bibliografía	151

INTRODUCCIÓN

El trabajo de investigación que aquí se presenta aborda el análisis de una fuente alternativa de abasto de agua para la Ciudad de México (Distrito Federal); temática crucial para el presente y el futuro de la capital de la República Mexicana. La compleja y cada vez más aguda problemática que implica abastecer de recursos hídricos a los habitantes de esta ciudad demanda la participación de los ciudadanos, desde sus diferentes espacios de actuación cotidiana y de reflexión y acción profesional.

La Ciudad de México se encuentra localizada en una cuenca a más de 2000 metros de altura sobre el nivel del mar. Junto con los municipios pertenecientes al Estado de México (la Zona Metropolitana de la Ciudad de México) constituye la zona urbana de mayor extensión en el país. Su crecimiento demográfico y su desarrollo urbano plantean retos importantes para la viabilidad de la calidad de vida de sus pobladores. Con la finalidad de acotar el tema de investigación se ha optado por delimitar el análisis a la Ciudad de México. Esto no significa que la Zona Metropolitana de la Ciudad posea un menor valor para su análisis, sino que su dimensión y expansión urbana y demográfica implican un mayor esfuerzo de investigación que excede a los objetivos del trabajo.

El objetivo principal de este texto es aportar un conjunto de criterios para la implementación de sistemas de captación y aprovechamiento doméstico del agua de lluvia que se precipita sobre la ciudad. Es un problema que debe ser abordado con la perspectiva de diversas disciplinas. Aquí se propone un enfoque desde el Diseño Industrial, buscando que la aportación de este documento contribuya a ampliar la participación de los diseñadores en la comprensión del tema y al desarrollo de propuestas de intervención mejor planteadas en el contexto de las necesidades de los habitantes de la ciudad.

El enfoque de diseño se especifica en términos de la reflexión sobre la tecnología para la captación, almacenamiento y aprovechamiento pluvial y su vinculación al contexto de la Ciudad de México, considerando sus características socioeconómicas, históricas y ambientales. El análisis de este vínculo es una tarea del diseño, cuyas consecuencias son benéficas tanto en la teoría como en la práctica.

La metodología para llevar a cabo este proceso de investigación ha implicado un análisis de información documental local y de experiencias internacionales; la búsqueda y examen de situaciones reales de captación pluvial urbana y la consulta directa con expertos en la materia. En primera instancia se llevó a cabo una revisión del concepto de desarrollo sustentable, con la finalidad de dotar de un marco teórico elemental dentro del cual se inscriba la visión de diseño. Esta reflexión se emprendió con un perfil crítico, es decir, sin dar por sentada la relación entre diseño y sustentabilidad. Antes bien, se indaga la profundidad de tal vinculación y se enfatiza la necesidad de someter a un cuestionamiento riguroso aquello que hoy se ostenta como diseño sustentable. Este ejercicio de reflexión teórica contribuye de modo importante para esclarecer los alcances de una intervención de diseño en la captación pluvial urbana con pretensiones de favorecer la interacción perdurable entre la sociedad y su entorno ambiental.

El objeto de estudio del trabajo de investigación tiene como rasgo principal la delimitación del espacio de captación pluvial al ámbito doméstico. Se ha dejado fuera del análisis las experiencias y las propuestas de captación pluvial en el ámbito del espacio público, las edificaciones dedicadas a la producción y a la prestación de servicios, así como las edificaciones que alojan instituciones gubernamentales e instituciones privadas. Sin negar la importancia de estos espacios para la conformación de una propuesta integral, se ha dado prioridad al análisis de la captación pluvial en la vivienda por ser éste ámbito el que demanda un cambio en la actuación ciudadana con respecto al agua y porque, porcentualmente, implica una elevada proporción del consumo de recursos hídricos en el medio urbano.

El trabajo tiene la siguiente estructura y contenido. El primer capítulo está dedicado a la reflexión sobre los conceptos de sustentabilidad y diseño, así como la presentación del marco referencial más básico que ha dado pie al desarrollo de la investigación. Se hace una mención especial de la propuesta para la Gestión Integral de Recursos Hídricos en razón de exponer los puntos de acuerdo y desacuerdo en cuanto a la misma. El objetivo de este capítulo es el de proporcionar al documento de una base conceptual mínima en cuanto a la relación entre diseño y sustentabilidad.

El segundo capítulo tiene por objeto la delimitación de la problemática de estudio: la captación y aprovechamiento pluvial doméstico considerando tres ejes dimensionales del concepto de sustentabilidad: la sociedad, la economía y el ambiente. Este capítulo tiene por objetivo arribar a una expresión sintética de las necesidades de intervención del Diseño Industrial en la problemática delimitada.

El tercer capítulo implica la revisión de las etapas históricas que podrían caracterizar la evolución de la relación de los habitantes de la Ciudad de México con los recursos hídricos. Este ejercicio de reflexión histórica tiene por objetivo mostrar que los rasgos negativos de la relación entre población y agua en la ciudad han sido precedidos por el dominio de un sistema económico y político que no ha contemplado la dimensión ecosistémica de la actividad humana.

El cuarto capítulo presenta un análisis del sistema de captación y aprovechamiento pluvial desagregándolo en sus diferentes subsistemas. El enfoque de este análisis da prioridad a la valoración de la tecnología. En este capítulo se presenta un escenario hipotético para evaluar la viabilidad de la captación y aprovechamiento de la lluvia en la Ciudad de México y se delinean los rasgos principales de un conjunto de propuestas de intervención del diseño.

En el quinto capítulo se discute la perspectiva de cambio hacia el futuro en relación a la implementación de sistemas de captación pluvial en el hábitat ya construido y el que será construido. En este capítulo se da énfasis a las posibilidades de participación en este proceso de cambio a diferentes actores sociales y se hace un conjunto de propuestas sobre la intervención del diseño en función de las necesidades de esos diferentes actores.

Como parte de las conclusiones se presentan un conjunto de propuestas de intervención para la captación y el aprovechamiento del agua pluvial. Estas propuestas son el producto de la investigación y pretenden constituir una guía para los diseñadores en razón de problemas prácticos para la implementación de sistemas a nivel domiciliario, pero sin perder de vista la comprensión del tema a nivel urbano y social.

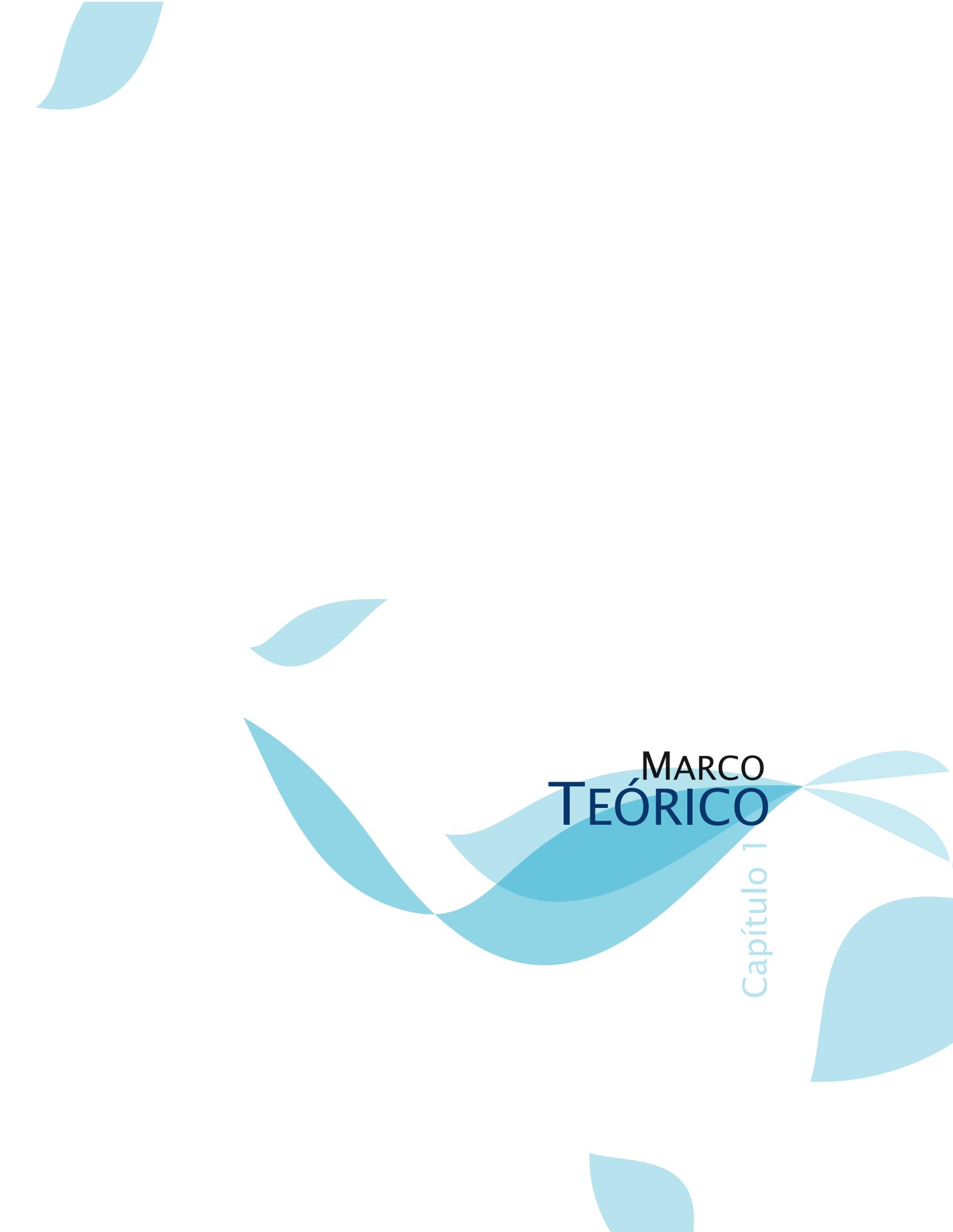
Con el desarrollo de este trabajo no solamente se ha profundizado en la comprensión del tema, sino que las preconcepciones se fueron desechando y las ideas rescatables decantando hasta quedar expuestas con mayor objetividad. La hipótesis inicial de trabajo suponía la viabilidad técnica de la captación y aprovechamiento pluvial a nivel domiciliario. Este trabajo arriba a la conclusión de que tal objetivo sí es viable en el contexto de la Ciudad de México. Por otro lado esta validación se acotó al encontrar los límites para la implementación y la operación de los sistemas de captación.

Se pasó de la suposición del agua de lluvia como una fuente alternativa suplementaria de agua para la ciudad a la concepción como una fuente alternativa complementaria. Esta conclusión condujo a desarrollar un punto de vista más amplio sobre los problemas de abasto y consumo del agua en el medio urbano y del amplísimo campo de intervención para el diseñador industrial en esta temática.

Finalmente, en el trabajo se trata de mostrar que la relación entre sustentabilidad y diseño no se establece al margen del contexto socioeconómico y ambiental y que cada situación particular implica retos específicos para el diseñador, que se modifican con el transcurso del tiempo.

AGRADECIMIENTOS

Un reconocimiento a la Universidad Nacional Autónoma de México al dar cabida a la realización de este trabajo. Se dedica un agradecimiento a cada uno de los académicos que con paciencia y atención han revisado este documento: a la M.D.I. Brenda García Parra, a la M.D.I. Ana María Losada Alfaro, a la Mtra. Carmen Bernárdez de la Granja, al M.D.I. Guillermo Gazano Izquierdo y al Dr. Arturo Gleason Espíndola. También un agradecimiento al Mtro. Antonio Abad Sánchez, quien dedicó su tiempo para revisar y comentar diferentes aspectos del texto, y al Dr. Manuel Anaya Garduño por sus amables opiniones vertidas en una entrevista. Todos ellos hicieron observaciones y críticos comentarios que han enriquecido la visión del autor. Desde luego, ninguno de ellos tiene responsabilidad alguna en los errores y omisiones que este trabajo presenta. Una mención especial para la Lic. Ruth Acosta Fuentes, por su trabajo de edición del documento y un agradecimiento a la Mtra. María Esther Sánchez Martínez por sus oportunas recomendaciones durante la etapa final, previa a la presentación del texto. Para todos, un sincero reconocimiento.



MARCO TEÓRICO

Capítulo 1

Capítulo 1

MARCO TEÓRICO

1.1 Introducción

El objetivo general de este trabajo es establecer un compendio de criterios de intervención para el diseño industrial en la captación y uso sustentable del agua de lluvia en la Ciudad de México. Se busca realizar un aporte a la solución de un problema importante en nuestra ciudad, estableciendo los vínculos entre el uso del agua por los habitantes del lugar; la infraestructura tecnológica disponible y la deseable, y las características materiales y culturales que definen a los espacios domésticos.

En este capítulo se realizará una presentación de las premisas conceptuales para el análisis del problema y un marco teórico mínimo para alcanzar el objetivo antes enunciado.

El volumen de agua disponible en nuestro país se reduce en relación al crecimiento demográfico. Desde la década de los años setenta del siglo pasado esa tendencia negativa se propaga a un ritmo de -1.6% anual y es posible que continúe hasta el año 2030. De esto se desprende la urgente necesidad de hacer más eficiente el abasto de agua y de un uso más racional.

De acuerdo con lo anterior, el diseño tiene un importante papel en la planeación de los usos de los recursos que sustentan la vida de la gente. La atención del diseñador a los problemas implicados en el consumo de recursos naturales es un aspecto central en el ejercicio de la profesión y, en relación con este trabajo, se trata de una premisa para su desarrollo. Cuando nos referimos al papel del diseño como un instrumento de un proceso más amplio de planeación se lo visualiza en una doble perspectiva. Primero, desde un punto de vista organizativo, el diseño es un instrumento para lograr innovación en el marco de una estrategia para enfrentar un problema en el que están implicados sujetos sociales y medios materiales. La innovación es fundamental en nuestro problema debido a las resistencias que puede tener un cambio en la manera en que accedemos al agua. Por otro lado, visualizamos el diseño como un instrumento retórico, cuyo fin es la persuasión

de la gente en torno de objetivos y prácticas en cuanto a su cultura material¹. Estas dos visiones cobran un sentido aun más relevante en el contexto actual, en el que la presión que ejercemos sobre nuestro medio natural y los recursos de los que disponemos nos obliga a tomar mejores decisiones para preservarlos.

Victor Margolin realiza un planteamiento claro del objetivo de equilibrio ecológico como tarea del diseño en su artículo “Global Expansion or Global Equilibrium? Design and the World Situation”². En este documento, Margolin discute la contradicción entre un modelo de expansión de la producción industrial y el consumo masificado frente a la necesidad de un modelo que atienda las necesidades humanas al tiempo que procura mantener un equilibrio con las posibilidades regenerativas en el medio natural. El artículo de Margolin constituye una base argumental para la exposición de la presente investigación.

1.2 Definiciones

En primer lugar, *lluvia* es la precipitación de agua en la atmósfera producida por la condensación del vapor de agua contenido en el aire, que se produce cuando las masas de aire son forzadas a elevarse y a enfriarse. Cuando el agua condensada alcanza un punto crítico se hace más pesada y se precipita. De acuerdo con el tipo de mecanismo que lleva a esas masas de aire a elevarse las precipitaciones pueden ser frontales, convectivas u orográficas.

Denominamos *captación de agua de lluvia* al proceso de cosecha de precipitación pluvial colectada en el medio urbano. Implica los subsistemas de captura, almacenamiento y distribución del agua.

Se entiende al *desarrollo sustentable* como “la capacidad de las generaciones presentes para legar a las generaciones futuras un ambiente sano y limpio con recursos naturales suficientes para enfrentar y cubrir sus propias necesidades de desarrollo y bienestar”.⁴ El objetivo del desarrollo sustentable, de acuerdo con el informe de la Organización de las Naciones Unidas titulado “Nuestro Futuro Común” dice lo siguiente: “satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las del futuro para atender sus propias necesidades.” El desarrollo sustentable implica la atención y equilibrio de tres ámbitos de desarrollo: el ecológico, el social y el económico.

¹ En esta parte nos apoyamos principalmente en Richard Buchanan y en Alejandro Tapia en cuanto a su concepción del diseño como un arte liberal que desempeña una función retórica. Ver Bibliografía.

² Margolin, Victor; *Global Expansion or Global Equilibrium? Design and the World Situation*, Design Issues, Vol. 12, no. 2, verano 1996.

⁴ Saldívar, Américo, *De la economía ambiental al desarrollo sustentable*, Programa Universitario del Medio Ambiente, UNAM, México, 1998, p. 38.

Por otro lado, la disciplina del diseño es un área de conocimiento cuya finalidad es la solución de problemas, tal como Herbert Simon lo define en su texto “Las ciencias de lo artificial”.⁵ Esta definición no es una proposición concluyente sobre nuestra disciplina, sino que es una propuesta que permite una amplia interpretación de la disciplina con suficiencia para el tipo de cuestión que estamos abordando.

Ezio Manzini argumenta a favor del concepto “*ecología de lo artificial*” en su texto “*Ecología de lo artificial y decisiones de proyecto*”⁶. Un aspecto central en la argumentación de este autor es que un diseño orientado al equilibrio ecológico implica un vínculo entre tecnología, medio ecológico y necesidades humanas (en un amplio sentido).

Lo *ecológico* se refiere al análisis y comprensión de los seres vivos y sus relaciones con los elementos que conforman su entorno, en particular las relaciones establecidas por el cambio y transporte de materia y energía.

El enfoque de la sustentabilidad genera criterios que deben ser atendidos por el diseño. No obstante, el diseño industrial tiene su propio ámbito específico de atención, como lo advierte Gui Bonsiepe: “*La interface es el dominio central, al cual el diseñador orienta su atención. A través del diseño de la interface, él articula el espacio de acción para el usuario.*”⁸ En cuanto a ello, podría pensarse que los criterios de sustentabilidad son elementos externos que se incorporan al diseño de un objeto, pero esto no debe ser así. De lo que se trata es que los objetos diseñados con criterios de sustentabilidad muevan al usuario a valorar el uso eficiente y económico de los recursos, preservándolos e integrándolos en su vida cotidiana como medios para vivir mejor.

Diversos enfoques, como el *diseño verde*, el *eco diseño* o el *diseño sustentable* dan prioridad de atención a determinadas variables en el proceso de diseño. Hay visiones centradas en los materiales y su huella ecológica mientras que otros hacen énfasis en los procesos productivos y su impacto ambiental. Visiones más amplias han arribado al desarrollo de métodos para apoyar el proceso de proyectar con base en el análisis del ciclo de vida de los productos. De modo más reciente la atención se ha comenzado a dirigir a cuestiones sobre la semiótica de los espacios, productos y mensajes desarrollados con apego a criterios de protección ambiental.⁹

⁵ Simon, Herbert; *Las Ciencias de lo Artificial*, COMARES, Granada, 2006.

⁶ Manzini, Ezio; *Ecología de lo artificial y decisiones de proyecto*, ARTEFACTOS, *Hacia una nueva ecología del ambiente artificial*, Celeste Ediciones, Madrid, 1996.

⁸ Bonsiepe, Gui; *Las Siete Columnas del Diseño*, Universidad Autónoma Metropolitana, México, 1993.

⁹ Para una revisión de esta temática consultar las tesis de Maestría en Diseño Industrial: García Parra, Brenda; *Ecodiseño digital*, Facultad de Arquitectura, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 2006 y Segrera Portillo, Arturo; *Hacia un modelo ambiental en el diseño*, Facultad de Arquitectura, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 1998.

Retomando a diversos autores¹⁰ se propone la siguiente definición: *El diseño para la sustentabilidad es el proceso de configuración formal del vínculo dinámico entre el ambiente natural y las necesidades humanas, mediado por el ámbito de lo artificial¹¹, procurando la satisfacción de esas necesidades en el presente y en el futuro, así como la minimización de los impactos ecológicos y la preservación de los ambientes bióticos.*

El espacio físico y la escala del objeto de estudio en la investigación

El espacio que hemos ubicado para el desarrollo de esta investigación es el de la Ciudad de México¹³, debido a su complejidad y densidad poblacional. De acuerdo con el Censo de Población 2005, realizado por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), habitábamos la Ciudad de México 8´720,916 personas. La Ciudad de México ocupa un territorio de 1,484 km², de los cuales 794 km² son área urbana¹⁴. Estos indicadores nos proporcionan una idea de la “dimensión” de la problemática abordada. Los problemas del desarrollo sustentable implican escalas regionales en el ambiente y sus ecosistemas y diversidad de relaciones entre sus componentes.

En particular enfatizaremos nuestro interés en los sitios de habitación, por ser estos los puntos de mayor demanda de agua en el espacio urbano. El espacio doméstico habitacional constituye el ámbito principal de consumo de agua, pero su carácter privado no debe establecerse como un criterio para diferenciar el uso del recurso hídrico. Es decir, el consumo privado de agua es un asunto de interés público.

Por otro lado, no menospreciamos el papel del espacio público, que está definido por su acceso comunitario y no restringido y cuyo ordenamiento y regulación se encuentra a cargo de las autoridades públicas¹⁵. El espacio público tiene una relevancia en la vida cotidiana y es un sitio que recibe fuerte impacto de las acciones de autoridades gubernamentales y de sujetos con intereses privados. Por ello, no solamente es un espacio en el que el diseñador puede intervenir a nivel de la generación de propuestas de ordenamiento, mobiliario, movilidad, manejo de residuos, etc., sino que implica el escenario de interacción cotidiana de la mayoría de las personas en el medio urbano y esto

¹⁰ En particular nos apoyamos en los trabajos de Víctor Papanek, Ezio Manzini y Victor Margolin. Ver Bibliografía.

¹¹ Todo aquello que ha sido generado por algún proceso de transformación de lo natural con un plan deliberado por el hombre.

¹³ A lo largo de este documento nos referiremos al Distrito federal como Ciudad de México de manera indistinta.

¹⁴ Ver Estadísticas del Medio Ambiente del Distrito Federal y Zona Metropolitana 2002, INEGI, México, 2005.

¹⁵ Un autor que ha tratado con el concepto de espacio público es Jürgen Habermas (ver el texto *Historia y crítica de la opinión pública, la transformación estructural de la vida pública*), quien discute el concepto en cuanto a las relaciones de poder entre ciudadanos y el Estado, que se expresan como un conflicto en la sociedad moderna en ese espacio.

implica o abre la posibilidad a la planeación de mejores formas de interacción social y ambiental a partir de la ubicación de necesidades específicas en el contexto urbano actual.

El uso del agua en el espacio público y sus vínculos hacia el uso en el medio doméstico son cuestiones que nos parecen relevantes. No significa que pasemos por alto el uso del agua con fines industriales o productivos, pero aquí partimos de una premisa que consideramos significativa: la sociedad debe generar reglas, hábitos e ideas en torno al uso sustentable del agua en su proceder cotidiano y más directo en cuanto a su responsabilidad, esto es, en sus actividades domésticas diarias. En términos del diseño se trata de arribar a criterios de proyectación que resulten significativos en un nivel cultural.

1.3 Marco teórico mínimo

En la siguiente parte del documento se expone un marco teórico mínimo para la investigación sobre la captación y uso sustentable del agua de lluvia en la Ciudad de México. La exposición consiste de tres apartados que corresponden con una síntesis de la teoría básica, la teoría central y la teoría de datos. En el siguiente esquema se sintetiza este primer acercamiento a la base teórica de nuestra temática:



Figura 1. Esquema del marco teórico

El enfoque teórico de esta investigación parte de dos áreas de teoría básica: por una parte lo tecnológico, con una revisión de los medios existentes en torno a la captación del agua; y por otro lado lo social, con atención en la problematización del espacio doméstico y la organización urbana.

1.3.1 Teoría básica

La propuesta de la Gestión Integral de los Recursos Hídricos en Áreas Urbanas

La Gestión Integral de los Recursos Hídricos en Áreas Urbanas (GIRH) es un conjunto de recomendaciones sugeridas por Global Development Research Center (GDRC)²³ en el marco de la problemática de abasto de agua para los ciudadanos en todo el mundo. En síntesis la GIRH propone los siguientes principios para orientar el manejo de los recursos hídricos en los espacios urbanos:

- La GIRH debe ser aplicada a nivel local
- La integración de la gestión del agua y el ambiente es un aspecto crítico
- Se requiere una aproximación sistémica a la problemática de la gestión de los recursos hídricos
- Participación total de todos los actores, incluyendo trabajadores y comunidad
- Atención a la dimensión social
- Desarrollo de la capacidad de construcción
- Disponibilidad de información y capacidad para usarla para formular políticas y predecir resultados
- Precios que reflejen la totalidad de los costos y subsidios dirigidos
- Soporte del gobierno central a través de la creación y mantenimiento de un ambiente adecuado
- Adopción de las mejores prácticas y tecnologías existentes
- Financiamiento permanente y sustentado
- Equidad en la ubicación de los recursos hídricos
- Reconocimiento del agua como un bien económico
- Fortalecimiento del papel de la mujer en la gestión del agua

Este conjunto de lineamientos dan sustento al planteamiento de una gestión abarcadora del agua en sus múltiples dimensiones (ecológica, social y ambiental). Si bien la GIRH recoge la necesidad de orientar la gestión urbana del agua con una perspectiva social, implica un problema importante: asigna al mercado una eficacia mágica para lograr una adecuada interacción entre necesidades sociales y ecología.

²³ Consultar la página web: www.gdrc.org

En relación a esto hay que decir que el mercado no constituye un mecanismo para mejorar o limitar las situaciones de inequidad. En particular el abasto de agua en la Ciudad de México es un caso que tiene por rasgo distintivo su profunda inequidad social.

LA GIRH tiene aportes interesantes a la concepción de la problemática del abasto hídrico urbano. Por una parte promueve la diversificación de las fuentes de abasto, incluyendo la cosecha de agua de lluvia. Por otro lado hace énfasis en que la gestión debe incorporar la participación ciudadana y lo hace desde un nivel local. Ambos aspectos son destacados aportes a la concepción de las propuestas desarrolladas en esta investigación.

El espacio público como ámbito de interacción social y tecnológica

La esfera de lo público como problema social

Las afirmaciones sobre el espacio público en los siguientes párrafos se apoyan en el texto “*The Structural Transformation of the Public Sphere, An Inquiry into a Category of Bourgeois Society*” de Jürgen Habermas (1989)²⁴. El espacio público posee un conjunto de características de corte social que lo significan como un ámbito de relevancia para la problemática socioeconómica y de sustentabilidad del medio urbano. En las sociedades modernas los espacios públicos están organizados funcionalmente con respecto al sistema económico y político, en el que lo determinante es su accesibilidad. Históricamente, con el surgimiento del liberalismo como paradigma dominante en la organización política moderna, la separación entre lo público y lo privado se ha profundizado.

El desarrollo histórico de la esfera pública dentro de la modernidad ha significado la despersonalización de la autoridad pública y la emergencia de la denominada “sociedad civil” como agente social que actúa e interactúa en el espacio público. No obstante, la constitución de la esfera pública en la sociedad moderna marca una escisión de lo público y lo privado que se erige como signo dominante. Por lo tanto, el espacio público se convierte en un escenario que muestra esas contradicciones. La esfera pública se constituye en un ámbito de legitimación de las clases dominantes, al tiempo que es también un espacio para el desarrollo de los conflictos y los acuerdos sociales.

Lo anterior tiene relevancia para el planteamiento de cambios en los hábitos de consumo de recursos, como el agua. Los patrones de consumo del agua no están al margen de la separación de las esferas pública y privada. Las decisiones de consumo se visualizan, en la sociedad moderna capitalista, como decisiones que se toman en la esfera de lo privado regidas por el mercado. Los cambios en los patrones de consumo del agua, con criterios de sustentabilidad, implican acuerdos en la esfera de lo público, aun y cuando el espacio de captación del agua es el espacio doméstico inmediato. Esto implica la necesidad de un

²⁴ Habermas, Jürgen; *The Structural Transformation of the Public Sphere, An Inquiry into a Category of Bourgeois Society*, MIT, Polity Press, Chicago, 1989.

paradigma diferente y trascendente de la escisión entre lo público y lo privado, para dar significado y viabilidad a la sustentabilidad en torno de la captación y uso agua pluvial.

Captación de agua de lluvia en el medio urbano

Heather Kinkade-Levario propone una división de los métodos de “cosecha” (harvesting) de agua de lluvia en dos grandes áreas; por una parte lo que denomina *sistemas de cosecha* y, por otro lado, la *captura pasiva* de agua pluvial.²⁵

Los sistemas de cosecha se instrumentan para recolectar agua de techos y sistemas de captación de agua pluvial que no se ha depositado sobre el suelo.

Los sistemas de captura pasiva se realizan, principalmente, con agua pluvial que se ha depositado sobre el suelo.

Alternativas tecnológicas existentes en la Ciudad de México

Las alternativas existentes para desarrollar la captación de agua pluvial en espacios públicos de la Ciudad de México son básicamente dos, que corresponden a sistemas pasivos de captura de acuerdo con la clasificación anterior:

- Pozos de absorción
- Pavimentación permeable

Pozos de absorción

El denominado “Plan Verde”²⁶ de la Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal, en su *Estrategia 1* contempla el punto de los pozos de absorción. El objetivo del Gobierno de la ciudad es ampliar la red existente e instrumentar acciones de recarga del acuífero para alcanzar una meta de 2.5m³/s de infiltración. A su vez se propone que en el año 2015 se logre reducir en 90% las áreas de suelo desnudo y desarrollar infraestructura de contención de suelo para incentivar la recarga, disminuir la erosión y el azolve del drenaje.

Otros autores han trabajado la temática de los pozos de absorción. En particular Sergio Martínez y Juan Manuel Sánchez, con una perspectiva desde la ingeniería, proponen el desarrollo de una red de pozos de absorción cuyo objetivo central es la recarga dirigida del acuífero de la Zona Metropolitana.

²⁵ Kinkade-Levario, Heather; *Design for Water, Rainwater harvesting, Stormwater catchment and Alternate water reuse*, New Society Publishers, Canadá, 2007.

²⁶Ver <http://www.sma.df.gob.mx/sma/planverde/index.php?op=agua#menu> (20 de noviembre de 2007) contempla al tema del agua en la Ciudad, mediante las siguientes estrategias: 1) alcanzar el equilibrio del acuífero, 2) reducir el consumo de agua de uso doméstico, 3) reducir las pérdidas en la red, 4) incrementar la reutilización y el tratamiento del agua, 5) crear parques lacustres en Tláhuac y Xochimilco.

Pavimento permeable

Bonifacio Fernández, del Centro de Aguas Urbanas de la Universidad Católica de Chile,²⁷ ha desarrollado una síntesis de los dos principales tipos de sistemas de pavimentación permeable más rentables debido a su bajo costo y eficiencia: el pavimento de hormigón permeable y el pavimento de adoquín permeable. El primero ofrece la totalidad de la superficie pavimentada como área de infiltración, mientras que el segundo ofrece los intersticios entre adoquines como área de captación. Las áreas que son susceptibles de ser cubiertas con pavimento impermeable son diversas: calles y avenidas, andadores, patios, etc.

Un aspecto importante es que las dos alternativas presentadas (pozos de absorción y pavimentación permeable) son sistemas que se presentan funcionando de manera integrada y también como alternativas que pueden actuar de modo independiente.

Variantes de sistemas de captación

Felipe Aguilar Flores en su tesis “Posibilidades técnicas del uso de dispositivos de infiltración de agua”,²⁸ presenta una descripción detallada de las que denomina “estructuras de infiltración” en cinco tipos:

- 1) pozos secos
- 2) trincheras de infiltración
- 3) pozos de infiltración
- 4) tanques de detención
- 5) cubetas de detención

Un sistema diferente, en el marco de las alternativas de sustentabilidad para los espacios urbanos, es el de las denominadas *azoteas verdes*. Estos sistemas consisten en la implementación de cubiertas vegetales (de modo directo o indirecto) sobre las azoteas de casas habitación y edificaciones con el objetivo de expandir las áreas verdes urbanas para la captación de bióxido de carbono, entre otros.²⁹ Aunque ésta no es propiamente una

²⁷ Fernández L, Bonifacio; Pedro Rivera y José P. Montt; *Con bajo impacto hidrológico-ambiental: uso de pavimentos permeables*, Revista BIT, noviembre de 2003.

²⁸ Ver la tesis de licenciatura Aguilar Flores, Felipe; *Posibilidades técnicas del uso de dispositivos de infiltración de agua en las cuencas del suroeste del Distrito Federal*, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 2007. En su investigación, el autor presenta una descripción detallada de la estructuras de infiltración.

²⁹ La Ciudad de México tiene una superficie de 148,655 hectáreas. En el año 2000 se estimó en las “*Estadísticas Medioambientales de la Ciudad de México y su Zona Metropolitana*”, publicación de Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), una cantidad de 7.0 m² de áreas verdes por habitante. Esto significa aproximadamente 6,023 hectáreas de áreas verdes, 4.1% de la superficie total de la ciudad. De acuerdo a una población 8’605,239 habitantes, reportadas por el Censo General de Población, INEGI, 2000.

tecnología desarrollada con la finalidad de captar agua de lluvia, está íntimamente relacionada con la temática de este trabajo.

1.3.2 Teoría central

El enfoque general de la sustentabilidad

El eje estructural de este trabajo se contiene en el enfoque orientado hacia la sustentabilidad. Este último posee diversas maneras de ser entendido, no solamente desde la perspectiva de cada disciplina, sino desde la postura ideológica de los diversos autores. Al respecto, la síntesis lograda por Richard Hyde en su texto “The environmental brief”³⁰ es un buen resumen de las diferentes tendencias en el amplio campo de la sustentabilidad. En el esquema de Hyde se puede apreciar que las posturas de la sustentabilidad se ubican en tres niveles de transformación social (mantenimiento del *status quo*, reforma y transformación) y se distribuyen bipolarmente en cuanto al grado en que sus resultados impactan en la equidad social (inequidad y equidad) y el impacto ambiental (alto y bajo impacto ambiental).

La evaluación es un área de especial interés para corroborar el impacto en los tres niveles de la sustentabilidad: lo económico, lo social y lo ecológico. Existen diversas maneras de evaluar el nivel de sustentabilidad. Se ha preferido el denominado *Modelo de Presión-Estado-Respuesta* (PER)³¹ debido a los siguientes motivos:

- Es un modelo que permite verificar los tres niveles de la sustentabilidad (economía, ambiente y sociedad) con tres momentos (la presión sobre los recursos naturales, el estado de los recursos naturales y la respuesta de los diferentes actores sociales a la problemática planteada).
- Permite verificar el flujo de la información entre los diferentes niveles (diacronía) al tiempo que expresa una visión de conjunto del problema (sincronía).

El siguiente esquema presenta una panorámica general de la aplicación de este modelo a la captación y uso del agua de lluvia en el espacio urbano. Este esquema está basado en la *Propuesta Metodológica* de Américo Saldívar en su texto “De la economía ambiental al desarrollo sustentable”.

³⁰ Hyde, Richard; *The environmental brief: pathways to green design*, Taylor and Francis, New York, 2006.

³¹ Sobre la aplicación del Modelo de Estado-Presión-Respuesta consultar Saldívar, Américo; *De la economía ambiental al desarrollo sustentable*, Facultad de Economía, Programa Universitario del Medio Ambiente, UNAM, México, 1998, pp. 192 y 193 y el texto Hyde, Richard; *The environmental brief: pathways to green design*, Taylor and Francis, New York, 2006.

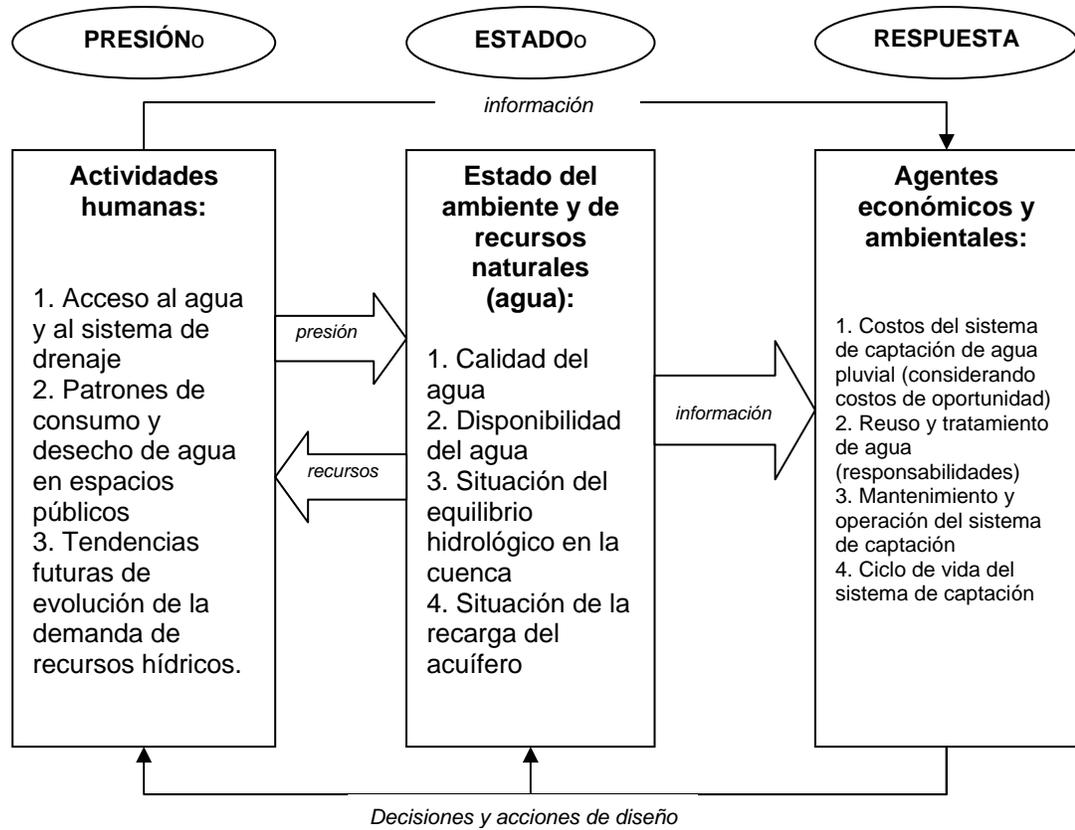


Figura 2. Modelo de Presión-Estado-Respuesta

En la base del esquema se señala que las decisiones y las acciones tomadas por los actores sociales constituyen los argumentos para el diseño y que su impacto afecta tanto al nivel ambiental como al nivel económico del sistema.

La evaluación del sistema de captación de agua de lluvia se debe realizar en cada etapa del sistema. Es decir, debe evaluarse, mediante el análisis de indicadores particulares la *presión*, el *estado* y la *respuesta* del sistema, con y sin captación de agua de lluvia y entre diferentes alternativas.

El enfoque particular de la sustentabilidad para el diseño

Como una expresión retórica³², el diseño propone conductas, valores e ideales a los usuarios, en cuanto a la cultura material y a la cultura en general. En ese sentido, el diseño sustentable de los sistemas de captación y uso de agua pluvial debe articularse con las necesidades sociales al tiempo que propone e incentiva una conducta ecológica en los usuarios.

El concepto que subyace en esta visión es el de equilibrio. Este concepto se toma de Ezio Manzini, para quien la perspectiva de la ecología del ambiente artificial implica tres valores principales: 1) garantizar el equilibrio del ambiente físico, 2) mantener la riqueza sensorial de la experiencia humana y 3) mantener la riqueza relacional de la experiencia humana entendida como la diversidad de las formas de comunicación.³³

1.3.3 Teoría de datos

Referencias estadísticas

Los datos estadísticos y cuantitativos, para fundamentar los argumentos de esta investigación provienen principalmente de:

- **Comisión Nacional del Agua** (<http://www.cna.gob.mx/conagua/Default.aspx>)
- **Instituto Nacional de Geografía e Informática** (<http://www.inegi.gob.mx/inegi/default.aspx>)
- **Instituto Mexicano de Tecnología del Agua** (<http://www.imta.gob.mx/>)
- **Centro Internacional de Demostración y Capacitación en Aprovechamiento de Agua de Lluvia** (<http://www.cidcall.org.mx/>)
- **Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal** (<http://www.sma.df.gob.mx/sma/index.php>)

Cuantificación del volumen de agua pluvial captable

Para la estimación de la cantidad de agua de lluvia que es susceptible de ser captada se emplea la siguiente ecuación:³⁴

³² Ver Tapia, Alejandro; *El Diseño gráfico en el espacio social*, Editorial Designio, Colección Teoría y práctica, México, 2004.

³³ Manzini, Ezio; *Artefactos*, Celeste ediciones, Madrid, 1966.

³⁴ Consultar texto: Pürschell Walfang, *La captación y el abastecimiento de agua potable*, Urma Ediciones, Grijalbo, México, 1965. También se recomienda la consulta del documento “*Guía de diseño para captación del agua de lluvia*”, Organización Mundial de la Salud, Lima, Perú, 2001; para algunas variantes sobre las funciones matemáticas para realizar los cálculos de captación y demanda.

$$Q = (F) (N) (\Psi)$$

en donde:

F = superficie de captación (m^2)

N = precipitación anual ($1.00 \text{ mm}/m^2=1.0 \text{ lt.}/m^2$)

$\Psi = 1-(\Psi_1 + \Psi_2)$ = coeficiente de escorrentía³⁵

Ψ_1 = coeficiente de evaporación

= 0.2 hasta 0.3 en clima medio

= 0.5 hasta 0.6 en clima caluroso o ventoso;

Ψ_2 = coeficiente de filtración

= 0.05 para techados y patios soleados

³⁵ Escorrentía es la lámina de agua que circula en una cuenca de drenaje o la altura en milímetros de agua de lluvia escurrida y extendida en función de la pendiente del terreno.



DELIMITACIÓN DEL **PROBLEMA**

Capítulo 2

Capítulo 2

DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

2.1 Introducción

El objetivo principal de este capítulo es delimitar el ámbito de intervención del diseño industrial en la captación y uso sustentable de agua de lluvia en la Ciudad de México. Para lograrlo se realiza una síntesis de la problemática en sus vertientes económica, social y ecológica, en congruencia con la visión de sustentabilidad de la que hemos partido.

2.2 Dimensión económica

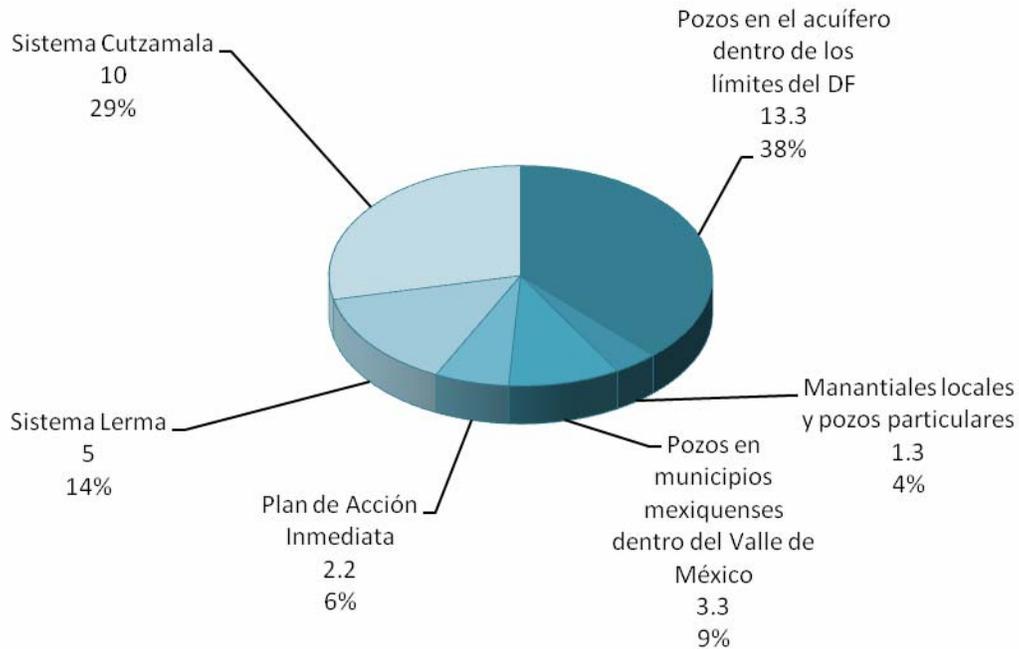
Abasto

El abasto de agua para la ciudad se genera a través de dos sistemas: la extracción de agua del acuífero “Zona Metropolitana de la Ciudad de México” y por el abasto de aguas superficiales. La mayor parte del abasto proviene de la extracción de agua del subsuelo. En la gráfica siguiente podemos ver que la extracción de agua de pozos en el Distrito Federal y en la Zona Metropolitana representa aproximadamente 51% del volumen de abasto para la Ciudad.

Por el lado del abasto de fuentes superficiales, la Ciudad de México se surte de los caudales de la Cuenca del Cutzamala (29%), de la Cuenca del Lerma (14%) y de denominado Plan de Acción Inmediata (6%).¹

¹ Datos del texto *¿Guerra por el agua en el Valle de México?*, Programa Universitario de estudios sobre la Ciudad-UNAM, México, noviembre de 2005.

Caudales de abasto a la Ciudad de México metros cúbicos por segundo, 2005



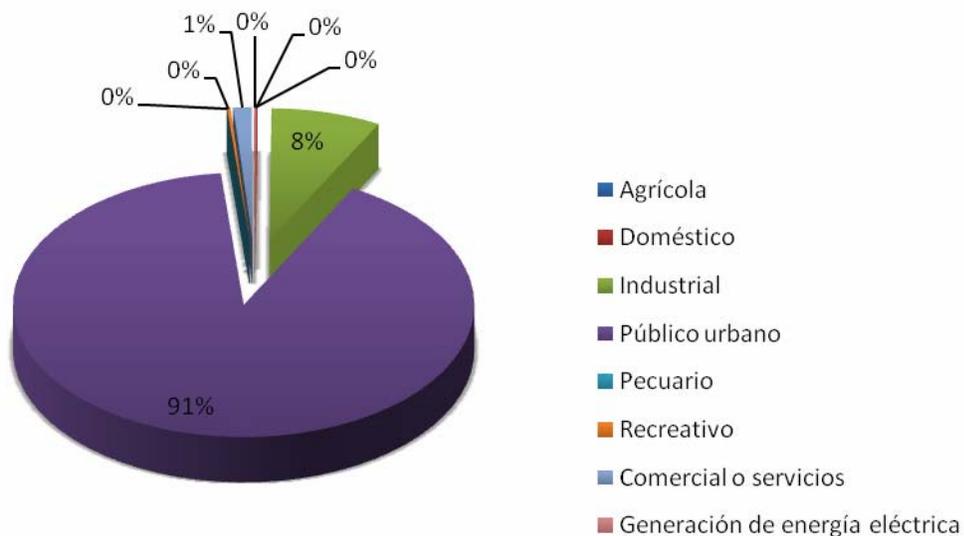
Gráfica 1. Caudales de abasto a la Ciudad de México

Fuente: Elaboración propia con datos del texto *¿Guerra por el agua en el Valle de México?*, coordinado por el Programa Universitario de estudios sobre la Ciudad-UNAM, México, noviembre de 2005.

Demanda

Por el lado de la demanda, el agua potable de la Ciudad de México es requerida en los siguientes términos: el 91% del agua es utilizada con fines domésticos y para el servicio urbano, mientras que 8% es empleada en la industria.

**Uso de agua del acuífero que abastece a la Ciudad de México
Extracción en Delegaciones 1990**



Gráfica 2. Uso de agua del acuífero que abastece a la Ciudad de México

Fuente: *Elaboración propia con datos del Informe “Determinación de la Disponibilidad de agua en el acuífero Zona Metropolitana de la Ciudad de México” elaborado por la Subdirección General Técnica de la Comisión Nacional del Agua, México, abril de 2002.*

Costos

En cuanto a los costos de extracción y distribución, en la gráfica siguiente podemos apreciar que el costo del agua proveniente de mantos acuíferos va de los 18 centavos por metro cúbico a los 32 centavos en el año 2001. El incremento se debe al aumento de la distancia. El costo por el abasto desde el sistema Cutzamala fue de 53 centavos y la tendencia para los proyectos futuros es de un incremento de aproximadamente 100%. Las tarifas para los usuarios tienen un importante subsidio gubernamental que va del

33.33% al 77.36% para el uso doméstico. Para el año 2010 se aplicará un nuevo esquema de tarifas que implicarán un aumento y una diferenciación por zona socioeconómica. En la siguiente gráfica podemos observar un comparativo de estos indicadores.



Figura 3. Costos y tarifas del agua en la Ciudad de México

Fuente: *Elaboración propia con datos del Informe “Determinación de la Disponibilidad de agua en el acuífero Zona Metropolitana de la Ciudad de México” elaborado por la Subdirección General Técnica de la Comisión Nacional del Agua, México, abril de 2002.*

La Comisión Nacional del Agua (CNA) estima que en el país existen pérdidas en el sistema de abasto del recurso de entre 30% y 50% en el medio urbano, principalmente debido a fugas.²

Perspectivas

Sobre las perspectivas de evolución una investigación para tesis de Maestría de la Universidad Nacional Autónoma de México concluye que, para el caso del Valle de México el grado de presión de la población sobre los recursos hídricos disponibles será de 138% en el año 2030.³ La misma investigación señala que el efecto principal de la escasez de agua en el centro del país será la limitación del crecimiento industrial.

² Ver *Water in Mexico*, Comisión Nacional del Agua, Subdirección General de Programación, México, 2006.

³ Esquivel Garduño, Gabriela; *Prospectiva de la demanda de agua en México*, Tesis de Maestría, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 2005.

En conclusión, dadas la dimensión económica del abasto y demanda de agua para la Ciudad de México, el costo de extracción y suministro del recurso tiende a incrementarse junto con la presión ejercida sobre los recursos disponibles.

2.3 Dimensión social

Patrón de consumo

A lo largo de este documento se empleará la siguiente tipología para el uso del agua en al ámbito doméstico. Esta tipología proviene de la estadística oficial generada por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). Aunque no es muy detallada, esta clasificación nos permitirá diferenciar los requerimientos de purificación del agua en el ámbito de la vivienda en el capítulo en el que se abordará el análisis de la tecnología para el aprovechamiento de los recursos pluviales:

Tipo de uso del agua en el ámbito doméstico. Tabla 1
Evacuación sanitaria
Higiene personal
Lavado de ropa
Otros usos

El uso del agua potable en el ámbito doméstico, principal espacio de consumo del recurso en el medio urbano de la Ciudad de México, se caracteriza del modo siguiente. El uso del agua para higiene personal emplea el 39%, la evacuación sanitaria 34%, el lavado de ropa 14% y otros usos el 13%. Un alto porcentaje del agua demandada se utiliza de manera ineficiente ya que la evacuación sanitaria y muchos de los denominados “otros usos” no requieren la utilización de agua potable.

Inequidad en la distribución del agua

Debido a su alta densidad poblacional, los habitantes del Valle de México tienen la menor disposición de agua de todo el país (182 m³/hab/año) y un grado de presión moderado sobre el recurso hídrico disponible.⁴ En ese contexto, los habitantes de la Ciudad de México tienen gran responsabilidad frente a un uso sustentable del agua. Las actividades a realizarse con el recurso proveniente del espacio público deben ser resultado de un consenso social, una racionalidad económica y criterios de equilibrio ecológico.

⁴ Estos datos provienen del texto *¿Guerra por el agua en el Valle de México?*, coordinado por el Programa Universitario de estudios sobre la Ciudad-UNAM, México, noviembre de 2005. El grado de presión se calcula por la división el volumen total de agua concesionado entre la disponibilidad natural media del recurso.

Un nivel de confort establece una demanda de agua de 196 litros diarios por habitante para la Ciudad de México⁵, pero la demanda real por habitante ha llegado a ser de 351 litros por día por habitante. Lo anterior es expresión de un uso inadecuado del recurso, pero visto más a fondo se debe considerar que el abasto de agua es profundamente desigual. Aunque la mayor parte de la población aparece en las estadísticas oficiales con servicio de agua entubada, en el año 2000 aproximadamente un millón de personas (en la Ciudad) recibían agua por tandeo⁶. Si a esto sumamos el volumen de agua que se pierde en fugas (aproximadamente 40%) entonces tenemos que una parte considerable de los habitantes de la ciudad tiene un abasto de agua inferior al recomendado por la Organización Mundial de la Salud (150 litros por habitante al día) mientras que un pequeño sector podría tener a su disposición varias veces ese volumen.

De acuerdo con las Estadísticas del Medio Ambiente del Distrito Federal y Zona Metropolitana del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) en el año 2000 se contabilizaron 2'103,752 viviendas en la Ciudad de México. De esas viviendas el 97.94% disponían de agua entubada mientras que el 1.33% no tenían este servicio. (Ver Anexo I)

Las viviendas que no disponían de agua entubada (en números absolutos) se ubicaron de manera más concentrada en determinadas Delegaciones Políticas de la ciudad como Tlalpan, Xochimilco, Iztapalapa, La Magdalena Contreras, Milpa Alta y Gustavo A. Madero. (Ver Anexo II)

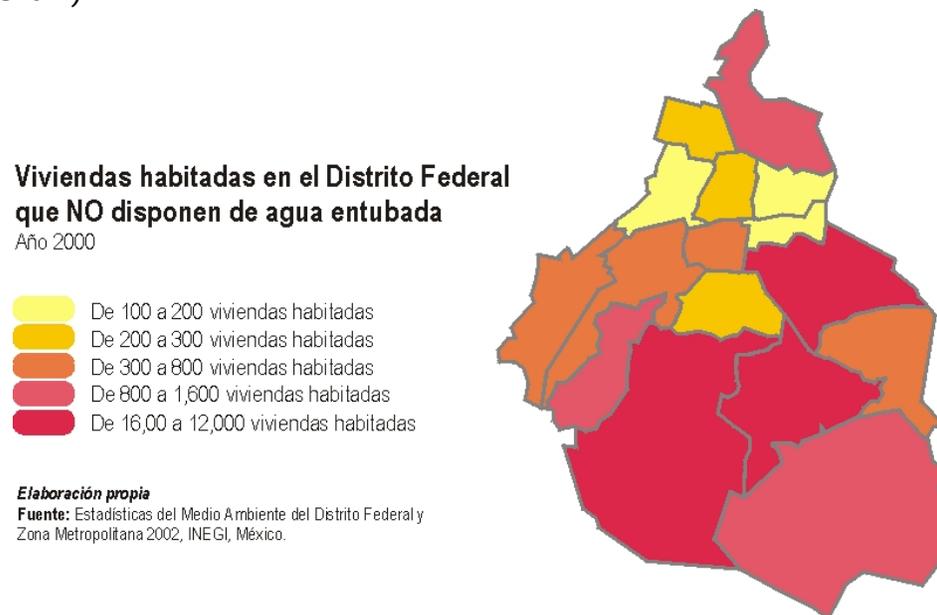


Figura 1. Disposición de agua entubada

⁵Los datos de este párrafo provienen de Hayde Izazola en el artículo *Agua y sustentabilidad en la Ciudad de México*, en http://revistas.colmex.mx/revistas/11/art_11_920_6374.pdf (20 de noviembre de 2007).

⁶ Esto significa que no reciben agua de manera regular y permanente, sino que el suministro se interrumpe periódicamente.

En el caso contrario, las delegaciones situadas más al centro de la ciudad presentaron una cobertura más amplia del servicio de agua entubada.

La situación es distinta si analizamos un poco más lo que ocurre al interior de cada delegación. Por ejemplo, si consideramos el porcentaje de viviendas sin agua entubada con respecto a las viviendas en cada delegación podemos observar que las delegaciones con más altos porcentajes de desatención son Tlalpan, Xochimilco, Milpa Alta, Iztapalapa, La Magdalena Contreras y Cuajimalpa.

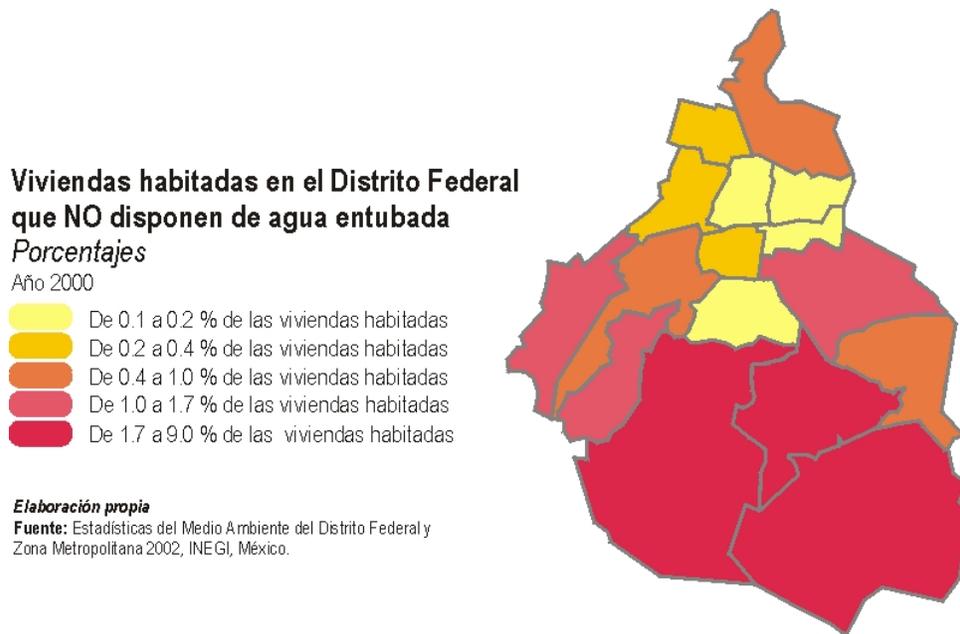


Figura 2. Disposición de agua entubada

Las tres delegaciones situadas al sur de la ciudad (Tlalpan, Xochimilco y Milpa Alta) que son afectadas por la falta de agua entubada ocupan amplias superficies de conservación y la urbanización de sus territorios no es del grado que se presenta en otras delegaciones. Un caso aparte se expresa en la delegación Iztapalapa, zona densamente poblada en la que la falta de agua entubada afecta a una gran cantidad de familias.

Frecuencia de suministro de agua potable

Un segundo nivel en el análisis nos conduce a observar la situación en cuanto al suministro de agua y en particular su frecuencia. En este caso lo que las Estadísticas del Medio Ambiente del Distrito Federal y Zona Metropolitana del INEGI reportan para el año 2000 es que las delegaciones Tlalpan, Xochimilco, Milpa Alta, Iztapalapa y Cuajimalpa tienen más del 10% de sus viviendas sin recepción diaria de agua, es decir, que el suministro tiene una frecuencia con intervalos de más de un día. En números

redondos las viviendas habitadas afectadas por esta problemática eran 214,896 en la ciudad. (Ver Anexo I)

Viviendas habitadas en el Distrito Federal que NO reciben suministro agua diariamente

Porcentajes

Año 2000

-  De 0.1 a 0.9 % de las viviendas habitadas
-  De 1.0 a 5.0 % de las viviendas habitadas
-  De 5.0 a 10.0 % de las viviendas habitadas
-  De 10.0 a 20.0 % de las viviendas habitadas
-  De 20.0 a 44.0 % de las viviendas habitadas

Elaboración propia

Fuente: Estadísticas del Medio Ambiente del Distrito Federal y Zona Metropolitana 2002, INEGI, México.

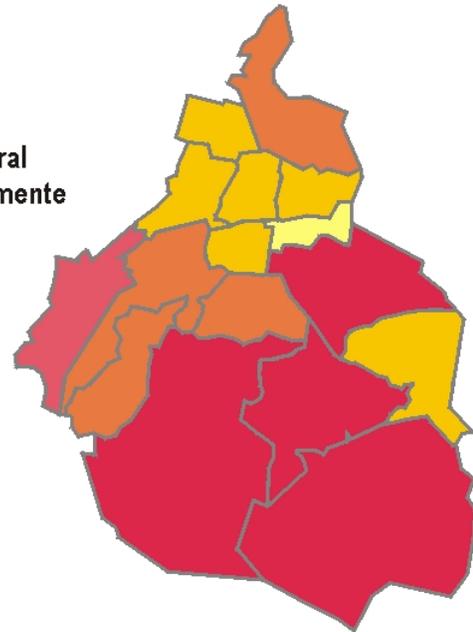


Figura 3. Frecuencia de suministro de agua

En términos absolutos las delegaciones más afectas por la falta de suministro diario son Tlalpan, Xochimilco, Iztapalapa y Gustavo A Madero.

Viviendas habitadas en el Distrito Federal que NO reciben suministro agua diariamente

Año 2000

-  De 1 a 1 mil de las viviendas habitadas
-  De 1 mil a 2 mil de las viviendas habitadas
-  De 2 mil a 5 mil de las viviendas habitadas
-  De 5 mil a 10 mil de las viviendas habitadas
-  De 10 mil a 100 mil de las viviendas habitadas

Elaboración propia

Fuente: Estadísticas del Medio Ambiente del Distrito Federal y Zona Metropolitana 2002, INEGI, México.

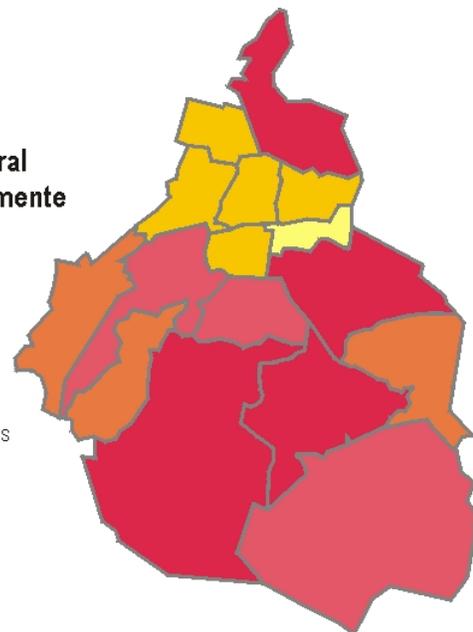


Figura 4. Frecuencia de suministro de agua

Un caso completamente diferente es el que se registra si ponemos nuestra atención en las viviendas que reportan una falta de frecuencia específica en el suministro de agua. Aquí las delegaciones más afectadas se encuentran entre las más céntricas: Miguel Hidalgo, Benito Juárez y Cuauhtémoc.

Viviendas habitadas en el Distrito Federal que NO tienen una frecuencia específica en el suministro agua

Porcentajes

Año 2000

- De 0.1 a 10.0 % de las viviendas habitadas
- De 10.0 a 15.0 % de las viviendas habitadas
- De 15.0 a 20.0 % de las viviendas habitadas
- De 20.0 a 22.0 % de las viviendas habitadas

Elaboración propia

Fuente: Estadísticas del Medio Ambiente del Distrito Federal y Zona Metropolitana 2002, INEGI, México.

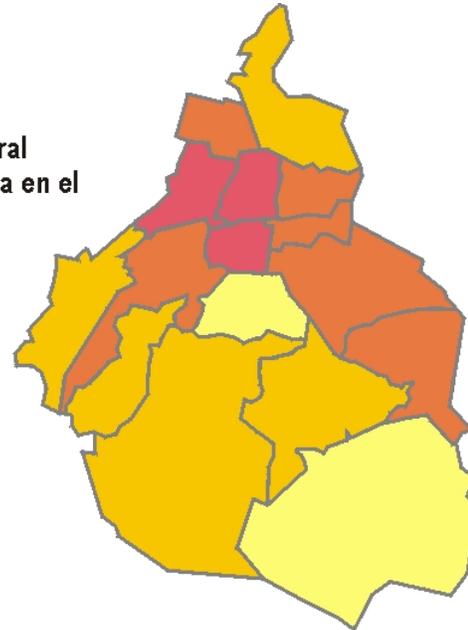


Figura 5. Frecuencia en el suministro de agua

Aunque el abastecimiento de agua potable a la población de la ciudad es mayoritaria a principios de siglo XXI, existe un rezago de atención que se profundiza en varias delegaciones: Tlalpan, Xochimilco, Iztapalapa. Las razones de estas deficiencias obedecen a situaciones diferentes en cada zona de la ciudad.

No obstante, un problema de mayor profundidad es la falta de regularidad en el suministro diario de agua, pues en este caso el problema alcanza a una gran cantidad de habitantes. Las delegaciones más afectadas por esta problemática son las antes señaladas y la delegación Gustavo A. Madero.

A partir de este brevísimo examen de la situación del abasto social de agua para la ciudad se pueden establecer criterios para la captación de agua de lluvia en relación a las necesidades sociales específicas.

Entre los criterios que se generan a partir de este análisis podemos señalar los siguientes:

- La captación de agua de lluvia en delegaciones céntricas tiene finalidades diferentes a la captación de agua de lluvia en delegaciones periféricas en razón de la dimensión de las necesidades sociales.

- Las delegaciones con desabasto de agua potable y falta de suministro regular presentan un vínculo directo entre la captación y el uso del agua de lluvia para necesidades humanas.
- Las delegaciones cuyos territorios ocupan superficies propicias para la recarga de mantos acuíferos poseen una característica que los hace atractivos en términos de sustentabilidad para desarrollar la captación del agua de lluvia.

2.4 Dimensión ecológica

Descripción general de la cuenca y explotación del acuífero

La Ciudad de México y su Zona Metropolitana⁷ forman parte de una cuenca de carácter lacustre cuya superficie en el fondo es de 1,431 km² a una altitud de entre 2,230 y 2,240 metros sobre el nivel del mar. La fuente principal de abasto de agua, como anteriormente señalamos, es el acuífero ubicado en el sur poniente de la cuenca con un área aproximada de 17% de la misma. Un aspecto central en la caracterización de la Cuenca del Valle de México es que se trata de una cuenca cerrada, es decir, que no tiene salidas naturales. Su desecación ha sido un proceso inducido que afecta el ciclo hidrológico normal de la región. La siguiente imagen nos muestra la fotografía de una maqueta que representa la Cuenca del Valle de México. La imagen está orientada en dirección noroeste desde la zona volcánica en el estado de Puebla. La parte que ocupa la Ciudad de México está ubicada desde el centro de la imagen hacia la esquina superior izquierda.

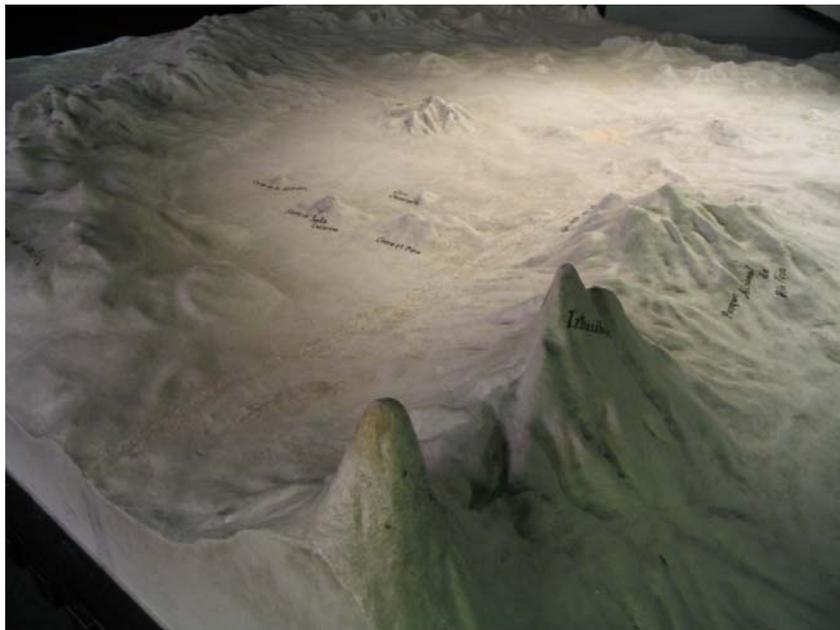


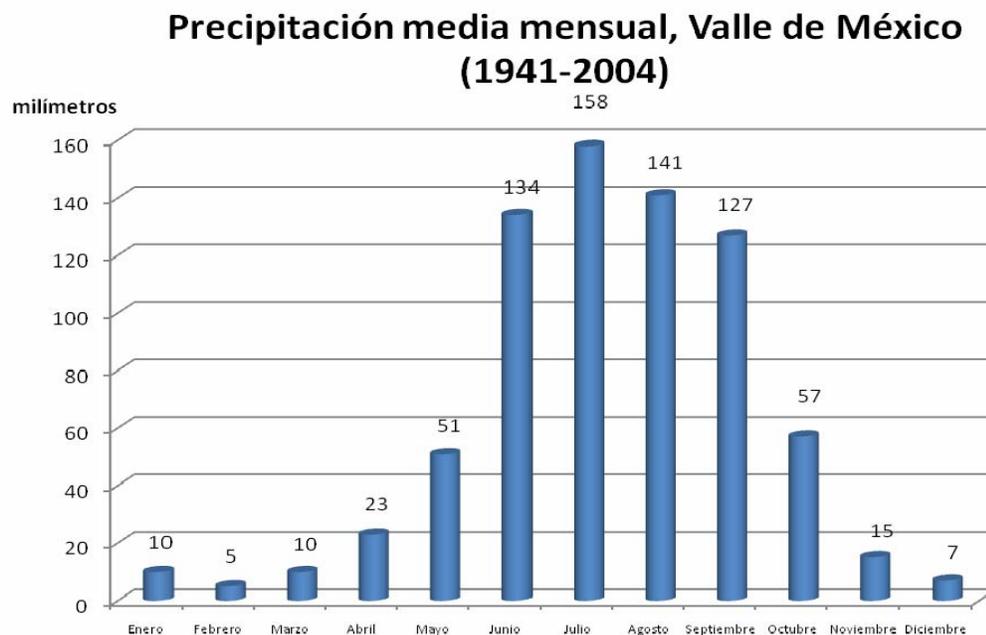
Figura 6. Maqueta de la Cuenca del Valle de México,

⁷ Los municipios que forman parte de la Zona Metropolitana son Atizapán de Zaragoza, Huixquilucan, Jilotzingo, Lerma, Naucalpan de Juárez, Tlanepantla de Baz y Xonacatlán.

Los datos de los que disponemos para evaluar la extracción de agua del acuífero, denominado Acuífero Zona Metropolitana de la Ciudad de México, son bastante viejos, pero advierten una situación que no se ha revertido a la fecha. En 1990 se calculó una extracción anual de 507'364,770 m³ contra una *Recarga natural e inducida* de 279'026,000 m³. El déficit, denominado *Cambio de Almacenamiento*, fue de 228'338,000 m³ anuales.⁸

Precipitación pluvial

La mayor parte de la Ciudad de México tiene un clima Templado Sub-Húmedo con una precipitación anual promedio de entre 500 y 600 mm. La mayor parte de la precipitación se presenta a partir del mes de junio hasta el mes de septiembre. En la siguiente gráfica podemos apreciar la información estadística con respecto a la precipitación en la cuenca a lo largo de un poco más de 40 años.



Fuente: Comisión Nacional del Agua, México, 2007.

Gráfica 4. Precipitación media mensual

La Comisión Nacional del Agua ha subdividido en tres zonas al acuífero “Zona Metropolitana de la Ciudad de México” para administrar su infraestructura hidráulica. Estas zonas son Xochimilco, Churubusco y Ciudad de México. De acuerdo con su

⁸ Datos tomados del estudio *Determinación de la Disponibilidad de Agua en el Acuífero Zona Metropolitana de la Ciudad de México*, Comisión Nacional del Agua, Subdirección General Técnica, Gerencia de Aguas Subterráneas, Subgerencia de Evaluación y Modelación Hidrogeológica, México, 2002.

estudio sobre *Determinación de la Disponibilidad de Agua en el Acuífero Zona Metropolitana de la Ciudad de México* anualmente se tiene un escurrimiento 127.1 millones de metros cúbicos. La mayor parte de estos escurrimientos medidos son desalajados de la cuenca a través del drenaje.

La cuenca del Valle de México es una región que por sus características hidrológicas y climáticas es susceptible de retener el agua que se precipita en la región. No obstante, el proceso de urbanización desarrollado por la capital del país y su zona conurbada ha distorsionado ese sistema natural.

El volumen de precipitación pluvial depositado anualmente en la Ciudad de México es expulsado de la cuenca con negativas consecuencias para la viabilidad futura de la propia ciudad.

En las figuras siguientes se puede apreciar la vecindad de las subcuencas en las inmediaciones de la Cuenca del Valle de México. Las imágenes se obtuvieron de la página electrónica de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio⁹). En la primera imagen se aprecian las cuencas y subcuencas hidrológicas de la región central de la República Mexicana. En la segunda imagen se muestra la división política estatal en relación con las subcuencas hidrológicas:

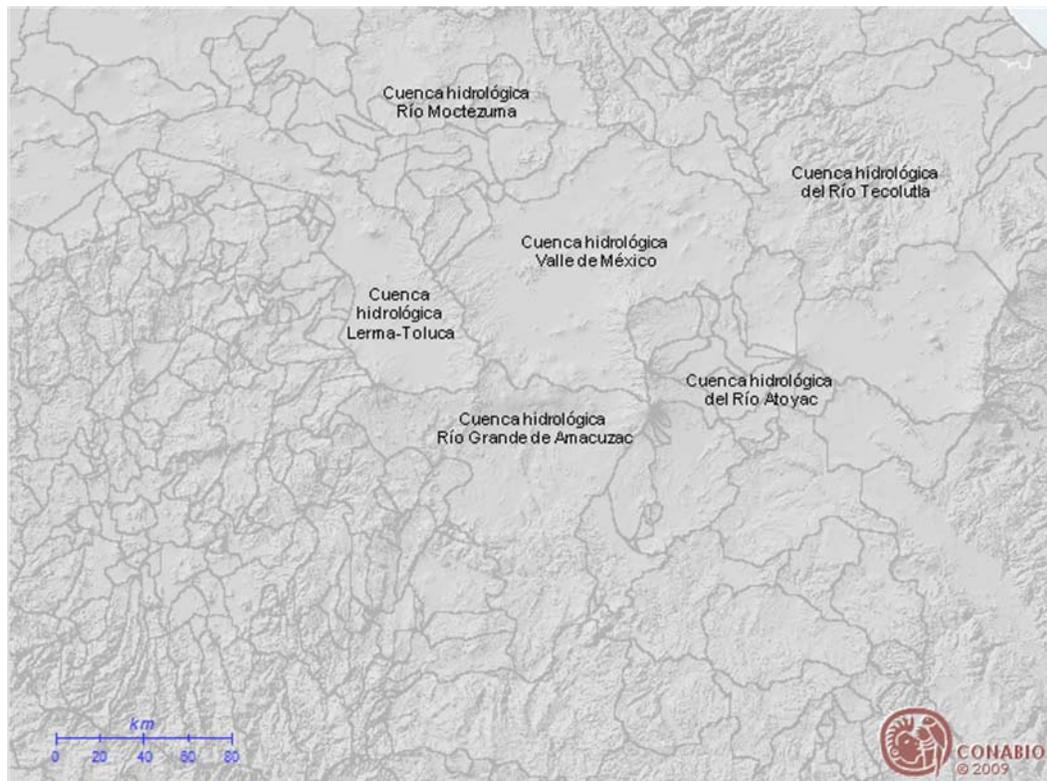


Figura 7. Cuencas y subcuencas hidrológicas contiguas a la Cuenca del Valle de México

⁹ <http://www.conabio.gob.mx/>

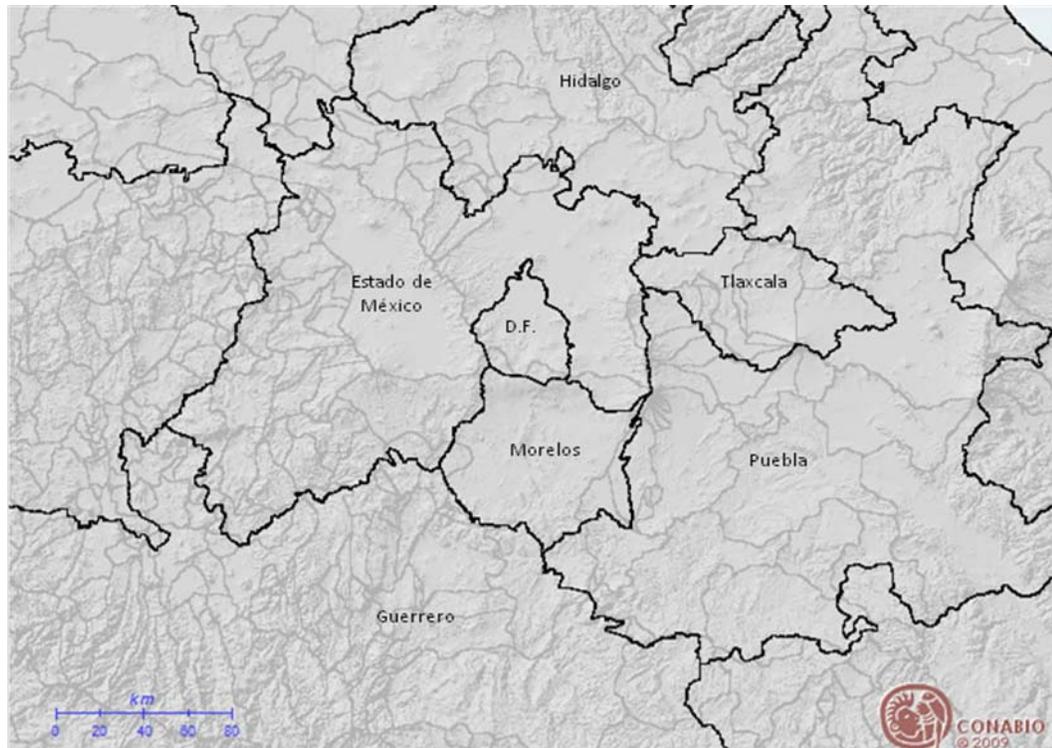


Figura 8. Cuencas y división política en el centro de la República Mexicana

La Cuenca del Valle de México forma parte de la Región Hidrológica Pánuco (84,956 km²). La Cuenca del Valle de México ocupa el 51% de la superficie de su Región Hidrológica. También la Cuenca del Río Moctezuma forma parte de esta región, junto con las subcuencas El Salto, Cuautitlán, Tepotzotlán, Texcoco y Zumpango, Salado, Tezontepec y Lago Tuchac y Tecocomulco. Contiguas a la Región Hidrológica Pánuco se encuentran las Regiones Lerma-Santiago (123,532 km²) y Balsas (117,406 km²).

De acuerdo con la Comisión Nacional del Agua la cuenca del Valle de México presenta los siguientes datos sobre su balance hidrológico. Tiene un promedio de precipitación anual de 6,643 millones de metros cúbicos y una evapotranspiración de 5,377 millones de metros cúbicos. La infiltración es de 689 millones de metros cúbicos y un escurrimiento de 580 millones de metros cúbicos. La extracción del acuífero es de 1,584 millones de metros cúbicos, por lo que el déficit es 895 millones de metros cúbicos. La importación desde cuencas vecinas es de 610 millones de metros cúbicos y el uso de aguas superficiales dentro de la misma cuenca es de 198 millones de metros cúbicos.

2.5 Delimitación del problema y el ámbito de intervención del diseño

Planteamiento del problema

A partir del análisis de tres dimensiones (lo económico, lo social y lo ecológico) podemos establecer que la sustentabilidad de la extracción, distribución y consumo del agua en la Ciudad de México implica la necesidad de la explotación de fuentes que ofrezcan mejores posibilidades -en lo económico, lo social y lo ecológico- en el mediano (los próximos años) y largo plazos (las próximas décadas).

Entre diversas alternativas, la explotación sustentable del agua de lluvia es una opción que debe ser considerada, pues se trata de una posibilidad desaprovechada en su mayor parte en la actualidad. Detrás de este planteamiento subyace el siguiente enfoque del problema: un objetivo de sustentabilidad en cuanto a los recursos hídricos de la Ciudad de México es retener un volumen de agua que garantice un abasto regular y un aprovisionamiento equilibrado en el acuífero dentro de la cuenca. Consideramos que la captación de agua de lluvia juega un papel importante para alcanzar este objetivo principal.

El ámbito de intervención del diseño

El ámbito de intervención del diseño, en lo general, está orientado a: 1) el diseño de infraestructura hidráulica urbana para la captación y uso del agua de lluvia en los espacios públicos y 2) el diseño de sistemas de captación y uso de agua de lluvia en edificaciones (de carácter público y privado).

Hay que diferenciar en el tipo de intervención requerida. En el caso de la infraestructura hidráulica urbana existe ya un sistema de abasto y desalojo con complejas problemáticas de orden técnico, económico y social. A su vez, se debe considerar que la mayor parte de las edificaciones en el medio urbano de la Ciudad de México fueron diseñadas sin considerar la implementación de sistemas de captación para el uso del agua de lluvia.

El ámbito de intervención específico del diseño industrial, en razón de la opinión de Gui Bonsiepe expuesta en el capítulo anterior, es el del diseño de sistemas de interacción entre usuarios (habitantes de la ciudad) y el agua de lluvia captada.

El diseño de los sistemas de interacción para el uso de agua de lluvia se puede enfocar a dos ámbitos particulares:

- El diseño para usos potenciales del agua de lluvia (medio urbano público y privado)
- El diseño de sistemas de reciclaje de agua de lluvia (medio urbano público y privado)

Estos dos ámbitos se articulan en torno del siguiente planteamiento: una de las principales ausencias en los criterios de diseño de los sistemas hidráulicos en el espacio de las edificaciones urbanas es el motivo de la utilización de agua de lluvia.

El consumo de recursos pluviales mediado por la intervención del diseño industrial implica el desarrollo de un conjunto de incentivos materiales que promuevan un cambio profundo en los patrones actuales de este consumo. Estos incentivos pueden ser:

- La implementación de sistemas de limpieza y purificación del agua pluvial
- La implementación de sistemas ahorradores del consumo doméstico del agua
- El uso eficiente del limitado espacio residencial para el almacenamiento
- La integración formal de los sistemas de captación y almacenamiento a los programas y configuraciones arquitectónicas habitacionales

En el capítulo siguiente analizaremos la ausencia de los sistemas de captación en el marco de problematizar el consumo de agua en el medio urbano de la Ciudad de México desde una perspectiva histórica.



ANTECEDENTES HISTÓRICOS

Capítulo 3

Capítulo 3
**ANTECEDENTES HISTÓRICOS
DE LA RELACIÓN POBLACIÓN-AGUA
EN LA CIUDAD DE MÉXICO**

3.1 Introducción

La relación de los habitantes de la Cuenca del Valle de México con los recursos naturales de los que han dispuesto a lo largo del período de poblamiento del territorio ha atravesado por varias etapas: la etapa prehispánica, la etapa colonial, el México independiente y la modernidad en siglo XX.

No obstante, las etapas de desarrollo político distan mucho de ser suficientes para entender los cambios en la relación de la población con el agua, ya que las transformaciones en los sistemas de abasto de agua potable y desalojo de aguas servidas se explican en función de dos aspectos principales: el primero es *la estructura cerrada de la Cuenca del Valle de México*, condición que implica la dificultad de disponer de recursos hídricos externos a la misma; en segundo lugar *el carácter lacustre del fondo de la cuenca*, que define la estructuración ecosistémica natural de la región.

A la luz de estos dos factores se puede apreciar mejor el impacto de las acciones humanas en el ecosistema de la cuenca y a un nivel más específico se puede analizar el alcance de esas acciones en relación con el agua en el Valle de México.

Un factor determinante en esa relación ha sido el nivel de impacto de las acciones antrópicas sobre el medio motivadas por el desarrollo de la tecnología por una parte, y por otra, el acicate de la creciente expansión del sistema económico de mercado.



Figura 1. Factores determinantes de la relación población-agua en la Cuenca del Valle de México

El enfoque del problema debe contemplar el constante proceso de densificación demográfica a lo largo de los últimos dos siglos, factor preponderante para explicar los cambios en la relación que se discute. En particular se debe analizar el impacto del crecimiento y densificación poblacional a lo largo del siglo XX como un periodo en el que especialmente se modificó el patrón de abasto y de desalojo de recursos hídricos. En este capítulo vamos a analizar estos diferentes aspectos desde una perspectiva histórica para explicar su interrelación y su dimensión como problemática de diseño.

3.2 Una propuesta de periodización

A partir de los elementos anteriores podemos hablar de tres grandes períodos en la relación de los habitantes de la Ciudad de México y los recursos hídricos de los que han dispuesto a lo largo de la historia.

Un primer período se extiende desde los albores del poblamiento de la Cuenca del Valle de México hasta la caída de la ciudad de México-Tenochtitlan. Ese periodo se caracterizó por un impacto antrópico que no afectó el carácter lacustre de la cuenca, aunque en grado creciente lo fue alterando con tecnología de gran sencillez pero también de alta efectividad para satisfacer las necesidades una población que se calcula llegó a ser de alrededor de 200 mil personas al arribo de los conquistadores españoles.

Entre el 1325 y 1519 el imperio Mexica implementó un sistema de abasto para la ciudad de México-Tenochtitlan consistente en acueductos provenientes de los manantiales en Chapultepec y Churubusco. A su vez, junto con sus aliados en la cuenca, desarrollaron un sistema de compuertas, canales y diques para regular la subida de las aguas lacustres durante la época de lluvias, cuya obra culminante fue el albarradón de Nezahualcóyotl.

El sistema de lagos se encontraba relativamente lejos de constituir un elemento ambiental adverso para los habitantes indígenas de la Cuenca del Valle de México. Era, por el contrario, el eje vertebrador del abasto de productos alimenticios, en cuanto a su producción como a su transportación.

Un segundo período arranca con la caída de Tenochtitlan, en 1521, y va a culminar a finales del siglo XIX, con el fin de la navegación en la Cuenca del Valle de México. Este largo período va implicar un proceso gradual de desecación de los lagos, fenómeno originado en diversas causas.

Por una parte, la desecación ocurrió como una acción deliberada emprendida por los gobernantes españoles a consecuencia de las inundaciones que agobiaron la capital novohispana desde los primeros años de su establecimiento y, también, como resultado del deterioro de las condiciones ecosistémicas del lago de Texcoco, en razón del proceso de erosión que la tala de los bosques circundantes a la cuenca había originado.

Es durante el siglo XIX cuando estas orientaciones de acción sobre los lagos se profundizan a instancias de culminar las obras para desalojar las aguas servidas depositadas en el lago de Texcoco, proceso aparejado a la tendencia al “higienismo” difundido desde los sectores de mayor poder económico en pro del saneamiento de la Ciudad de México.

Con la introducción del ferrocarril y la culminación de las obras del Gran Canal para desalojar fuera de la cuenca las aguas negras de la Ciudad de México se configura el arranque de un tercer periodo, mismo que se prolonga hasta nuestros días. Este periodo se ha caracterizado por la expansión y densificación demográfica en la Ciudad de México y su Zona Metropolitana. Ahora bien, este proceso a su vez ha seguido el curso de diversas etapas conducidas por la expansión de actividades económicas y productivas que han trastocado la relación población/recursos hídricos.

Estas actividades, como el establecimiento de empresas industriales a finales del siglo XIX (p. ej. la papelera San Rafael y la textilera de Miraflores en la región de Chalco), la expansión inmobiliaria a costa del terreno ganado a la zona lacustre desecada o la construcción de grandes obras de ingeniería hidráulica como el Sistema de Drenaje Profundo para desalojar las aguas servidas y pluviales de la Ciudad fuera de la cuenca, nos sirven para ejemplificar como la estructura económico-productiva desarrollada a lo largo del siglo XX ha transformado radicalmente el entorno ecológico de la cuenca y la relación de los habitantes con respecto al agua.

El grado de impacto ha sido mayúsculo pues el ciclo hidrológico de la cuenca ha sido trastocado al desalojar masivamente el agua de las precipitaciones pluviales fuera de la misma y al desarrollar la importación de agua potable desde regiones externas. Los

cambios económicos, tecnológicos y demográficos han sido de tal envergadura que han modificado la relación de la gente con el agua en el plano de la cultura. En la figura siguiente se presenta una síntesis del planteamiento expuesto.

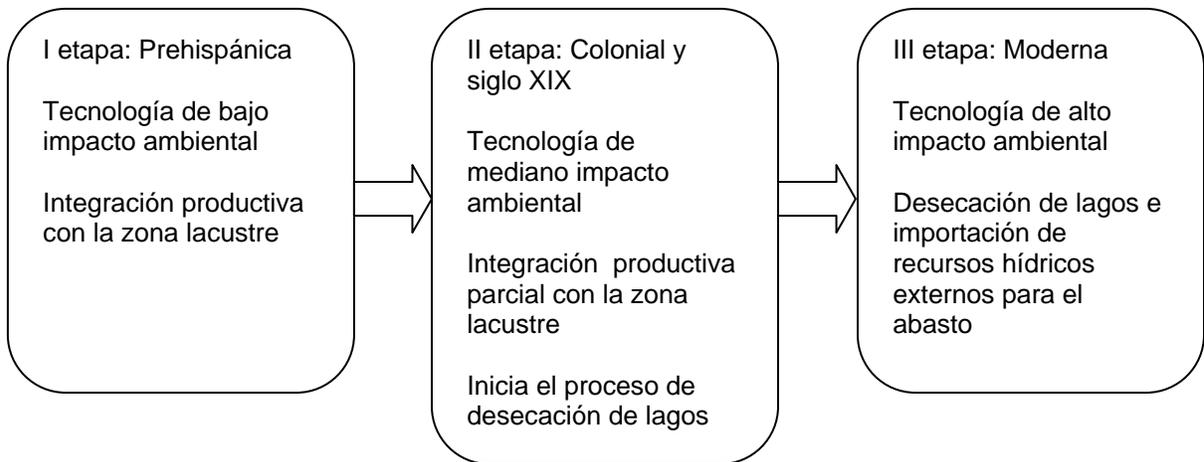


Figura 2. Síntesis de las etapas históricas en la relación población-recursos hídricos

La etapa precolombina

En la siguiente sección vamos a realizar un análisis más detenido de lo que hemos planteado en las líneas anteriores.

La ciudad de México-Tenochtitlan fue una ciudad lacustre, emplazada sobre un islote en el lago de Texcoco hacia el año de 1325. Cinco lagos conformaban el sistema lacustre al interior de la hoy denominada Cuenca del Valle de México: los lagos de Texcoco, Xochimilco, Chalco, Xaltocan y Zumpango.¹

Desde la ciudad de Tenochtitlan se conformó un imperio que había extendido su dominio por todo el territorio mesoamericano hacia finales del siglo XV. Un rasgo muy significativo de las culturas prehispánicas, y en particular de la Mexica, fue su intensa relación cultural con el agua.

La relación con el sistema hidrológico de la Cuenca del Valle de México y los Mexica contempla aspectos determinantes para el desenvolvimiento de la vida económica y para el diseño urbano de la ciudad capital del imperio.

¹ Esta sección tiene como textos de referencia a Valek Valdés, Gloria; *Agua. Reflejo de un valle en el tiempo*, Dirección General de Divulgación de la Ciencia, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 2000 y Legorreta, Jorge; *El agua y la Ciudad de México. De Tenochtitlan a la megalópolis del siglo XXI*, División de Ciencias Sociales y Humanidades, Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco, México, 2006.

Los distintos lagos desempeñaban funciones específicas en la vida cotidiana de los pueblos precolombinos asentados en la región. Se calcula que a la llegada de los españoles, en 1519, la ciudad de Tenochtitlan tenía aproximadamente 200 mil habitantes. Los habitantes en la cuenca alcanzaban 1'220,000. El abasto de agua potable se realizaba principalmente a través de acueductos provenientes de los manantiales de Chapultepec y de Acuacuexatl (cercano a Churubusco). El vínculo establecido entre los habitantes prehispánicos de la cuenca y el carácter lacustre de la región dio origen a una “cultura del agua” que se contrapondría a la “cultura de la tierra”, como la denomina el Dr. Jorge Legorreta.²

Es necesario precisar que el agua proveniente de los lagos no se destinaba al consumo humano, debido al carácter salobre del Lago de Texcoco. No era agua apta para ser consumida. No obstante, el sistema lacustre desempeñaba importantes funciones de beneficio para los núcleos de población establecidos. El lago de Chalco se constituyó en el centro de acopio y traslado de los productos y tributos provenientes de las regiones al sur de la ciudad hacia la capital, mediante el uso de chalupas y trajineras. El lago de Xochimilco se caracterizó por la intensidad de su producción agrícola, fundamentada en el sistema de chinampas.

Debido a los desbordamientos del lago de Texcoco (de agua salada) sobre la ciudad se desarrolló un complejo sistema de compuertas, calzadas y diques para regular la subida de las aguas durante el periodo de mayor intensidad pluvial. El punto culminante de este sistema de regulación hidráulica fue el albaradón de Nezahualcóyotl. Se han documentado diversos episodios de grandes inundaciones en la ciudad de Tenochtitlan: 1446, 1496 y 1498, por citar los de mayor magnitud.

En una apretada síntesis el sistema lacustre representaba el eje estructurador de los sistemas de transporte de mercancías, tributos y personas en torno de la ciudad de Tenochtitlan; la principal fuente de recursos alimenticios para su población y un entorno estratégico en términos del dominio político de la cuenca.

Aunque se puede caracterizar la relación de los Mexica con el sistema lacustre como una relación equilibrada en términos de la preservación de los recursos y de la comprensión del carácter cíclico de la crecida y descenso del nivel de las aguas, esto no significa que en ese proceso no existieran conflictos. De hecho, en torno de los recursos hídricos potables se fundaron alianzas regionales que condujeron al control por parte de los Mexica de la región en su conjunto. En otras palabras, la estabilidad política regional que lograron desarrollar los Mexica y las condiciones que los condujeron a hacerse del control de la cuenca tuvo mucho que ver con la disposición de

² Legorreta, Jorge; *El agua y la Ciudad de México. De Tenochtitlan a la megalópolis del siglo XXI*, División de Ciencias Sociales y Humanidades, Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco, México, 2006, p.25.

agua y el conflicto por su control frente a otros pueblos. La siguiente cita, tomada de Gloria Valek apoya el planteamiento anterior:

“Con el acceso permitido a las aguas de Chapultepec, los mexicas buscaron la manera de llevarla a su ciudad. Pero el proceso fue difícil y poco exitoso pues no podían controlar el intenso flujo del agua que rompía los tubos de barro diseñados para transportarla. Pidieron entonces al rey de Azcapotzalco trabajadores y materiales para construir un conducto adecuado, pero los tepanecas tomaron esta petición como un atrevimiento y les declararon la guerra. Los mexicas resultaron victoriosos y a partir de entonces obtuvieron cada vez mayor poder y desarrollaron una visión mística sobre sí mismos: se consideraron el pueblo escogido, (...)”³

Podríamos caracterizar el enfoque de diseño de la época prehispánica como un modelo de integración de la demanda humana a las condiciones determinadas por el ciclo hidrológico natural y por las condiciones climáticas y orográficas de la cuenca.



Figura 3. Cuenca del Valle de México en 1325, Museo Universum

La colonia

El periodo colonial, que se extendió de 1521 a 1810, se distinguió por un cambio profundo en la relación del medio urbano y el sistema lacustre en la cuenca del Valle de México. Con la decisión de instalar la capital colonial sobre la ciudad de Tenochtitlan se

³ Valek Valdés, Gloria; *Agua. Reflejo de un valle en el tiempo*, Dirección General de Divulgación de la Ciencia, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 2000, p. 21.

planteó el reto de satisfacer los requerimientos de transporte y abasto de recursos hídricos bajo criterios muy diferentes hasta los entonces prevalecientes en los pueblos precolombinos.

Se acentuó, de manera notable, la tala de los bosques circundantes al área de los lagos, lo que trajo en consecuencia un acelerado proceso de erosión y de desecación de la zona lacustre.

Una serie de grandes inundaciones (en 1555, 1580, 1604, 1607, 1647, 1697, etc.) motivó a los españoles a iniciar obras de drenaje. Las acequias descargaban las aguas residuales en el lago de Texcoco y hacia 1607 se inició la construcción del canal que atravesaría el cerro de Nochistongo para conectarse con el río Tula en el valle vecino a la cuenca.⁴

El abasto de agua potable se realizaba a través de dos manantiales, el de Santa Fe (concluido en 1670) y el de Chapultepec (concluido en 1779). A mediados del siglo XVIII existían alrededor de 108 fuentes particulares y 7 fuentes públicas. Del suministro de agua se beneficiaban principalmente las personas con mayores posibilidades económicas, los centros religiosos y las entidades comerciales.

Hacia el año de 1776 se hacía evidente la problemática de la escasez de agua. En el sistema de acueductos existían notables problemas de pérdidas debido al deterioro de la infraestructura y los robos mediante desviaciones. Otro problema importante era el del estancamiento de las aguas residuales. Las costumbres de los habitantes de la capital virreinal eran muy laxas en cuanto a lo que a higiene se refería, por lo que a la problemática del estancamiento y el desabasto se asociaba un problema de salud pública.⁵

⁴ Ramón Sánchez Flores en su *Historia de la tecnología y de la invención en México* presenta una elocuente síntesis de los medios tecnológicos instrumentados en el territorio de la Nueva España en relación a los diversos problemas de abasto y conducción de recursos hídricos. En particular presenta una visión que exalta el logro tecnológico con las obras de desagüe de la Cuenca del Valle de México desarrolladas por Enrico Martínez. Esta visión va a contrastar con el punto de vista de J. Legorreta y Gloria Valek, quienes sin negar la importancia tecnológica de las obras aludidas, las caracterizan con un sentido crítico sobre sus repercusiones ecológicas con el correr de los años. Ver: Sánchez Flores, Ramón; *Historia de la tecnología y de la invención en México*, Fomento Cultural Banamex, México, 1980, p. 109 – 119.

⁵ Una referencia para documentar esta situación es el texto: *Reflexiones y apuntes sobre la Ciudad de México*, Departamento del Distrito Federal, México, 1984. (Versión paleográfica, introducción y notas por Ignacio González Justo, atribuido a Baltasar Ladrón de Guevara), p. 35-40, 59-60. También consultar *Relaciones del desagüe del Valle de México, Años de 1555 a 1823*, 3ª. Edición, Secretaría de Obras Públicas, México, 1976, pp. 16-17 y 32-35.



Figura 4. La capital virreinal en 1550, Museo Universum



Figura 5. La capital virreinal en 1650, Museo Universum

Aunque se mantuvo la vocación de los lagos como espacio para el transporte, la construcción de canales y caminos se combinaron para propiciar la extensión de la zona urbana y la creación de terrenos para el pastoreo. No obstante, la aridez del suelo era

prevaliente y la extensión urbana acentuaba las posibilidades de daños por las inundaciones.

Si bien ese proceso de extensión urbana fue gradual a lo largo de los tres siglos coloniales, algo que caracterizó al periodo fue un marcado cambio en el equilibrio hidrológico de la cuenca. La visión europea de dominio sobre la naturaleza fue determinante para la implantación de una visión transformadora de las condiciones naturales de la cuenca.



Figura 6. La capital virreinal en 1750, Museo Universum

El siglo XIX

Con el arribo al periodo independiente se impone una compleja situación en cuanto a los recursos hídricos en la Cuenca del Valle de México. El abasto de agua potable para la ciudad se mantiene con los manantiales de Chapultepec y Santa Fe y se suman dos provenientes de la zona del Desierto de los Leones.

En cuanto al drenaje, a lo largo del siglo XIX se consolida una marcada preocupación en los gobernantes de la capital y hacia 1879 culmina la construcción del Tajo de Tequixquiac, mientras que a fines del siglo (1900) se concluye la construcción del

sistema de desagüe que configuraría todo un paradigma para atender el problema durante el siguiente siglo: el Gran Canal.⁶

Un fenómeno relevante que se desarrolló y finalizó durante el siglo XIX fue la última etapa de la navegación en la Cuenca del Valle de México. En 1849 se establecieron algunos barcos de vapor en los lagos de Chalco y Xochimilco para la transportación de mercancías agrícolas y pasajeros. Tenían un muelle en el antiguo mercado de la Merced. Cuarenta años después, en 1889, con la construcción del Ferrocarril Interoceánico concluye la etapa de la navegación.



Figura 7. La capital del México independiente en 1850, Museo Universum

El proceso de desecación de los lagos continúa a lo largo del siglo XIX, con la diferencia de que en este periodo el ritmo del proceso se va acentuar. En el caso del lago de Texcoco fue el propio gobierno federal el más interesado en acelerar el fenómeno debido a los problemas de salud originados en la paulatina desecación que se vivía desde siglos atrás. La desecación en los lagos hacia el sur estuvo también instigada por particulares que buscaban la extensión de terrenos para la producción agrícola o la explotación productiva del agua en diversas empresas, como la papelería.

⁶ Perló Cohen, Manuel; *El paradigma porfiriano. Historia del desagüe del Valle de México*, Programa Universitario de Estudios sobre la Ciudad, Instituto de Investigaciones Sociales, Universidad Nacional Autónoma de México, Miguel Ángel Porrúa Grupo editorial, México, 1999.

Tres tendencias centrales podemos distinguir en la relación del medio urbano y el sistema hidrológico de la cuenca durante el primer siglo de vida independiente:

- 1) la introducción de una nueva perspectiva cultural en cuanto al agua con el denominado “circulacionismo” o, en otras palabras, la visión de la higiene asociada al agua y su gestión como un flujo⁷;
- 2) el acelerado proceso de desecación de la región lacustre y
- 3) ante el crecimiento poblacional la presión para obtener recursos hídricos aumentó, por lo que en la segunda mitad del siglo XIX se intensifica el uso de los recursos del acuífero, que hasta entonces no habían sido explotados de modo significativo, a través de la construcción de pozos artesianos.⁸

Durante el siglo XIX encontramos una importante presencia de particulares orientando las decisiones en cuanto a los recursos hídricos en la Cuenca del Valle de México. Hacia finales del siglo y principios del siguiente un incipiente proceso de industrialización comienza a dejar sentir sus efectos en términos de la contaminación de recursos hídricos y de generación de conflictos con los habitantes de las zonas cercanas a los asentamientos de industrias.

La perspectiva del diseño, guiada ya desde la colonia por un afán de control sobre lo natural, se acentuó con la preocupación por introducir criterios de higiene en relación con el agua que se consumía en la Ciudad de México. Todo ello vino a consolidar el papel de la intervención antrópica con un criterio en el que lo tecnológico tendría que prevalecer sobre la naturaleza, con la finalidad de atender las necesidades de una creciente población.

El siglo XX

Los cambios que vive la Ciudad de México en el último siglo son mayúsculos. Un proceso de industrialización y la expansión de las redes de transporte urbano han condicionado la estructuración de una nueva fisonomía en el paisaje regional. La población pasó de 400 mil habitantes en la ciudad a principios de siglo a 8 millones hacia el año 2000, sin considerar el mayor crecimiento demográfico en la Zona Metropolitana de la capital.

⁷ Ver el texto Tortolero Villaseñor, Alejandro; *El agua y su historia. México y sus desafíos hacia el siglo XXI*, Siglo Veintiuno Editores, México, 2000. En particular el capítulo 5. Más de dieciocho siglos para explicar y uno para imponer una nueva representación: el agua en el siglo XIX.

⁸ El texto de Oziel Ulises Talavera Ibarra, Los pozos artesianos en la Ciudad de México en la segunda mitad del siglo XIX (1850-1880), publicado en Collado, María del Carmen (Coord.); *Miradas recurrentes. Tomo I. La Ciudad de México en los siglos XIX y XX*, Instituto Mora, Universidad Autónoma Metropolitana, Consejo Nacional para la Ciencia y la Tecnología, México, 2004, p. 294-310 es un estudio detallado del inicio de la explotación del acuífero en la Ciudad de México.

Atrás quedó la etapa en la que el abasto de agua potable se realizaba a partir de los manantiales cercanos, para constituirse la explotación de los mantos freáticos (primero) y luego la explotación de recursos hídricos de cuencas externas en las principales fuentes de suministro.

Entre las obras mayores realizadas en materia de recursos hídricos, el sistema de drenaje profundo ha generado efectos positivos y negativos de gran envergadura. Por mencionar algunos, el sistema del drenaje de la Ciudad de México (que implica el desalojo de la mayor parte del agua de lluvia) se ha utilizado para irrigar los distritos de riego del Valle de Tula (también conocido como Valle del Mezquital) a lo largo de los últimos 30 años. Esto ha convertido a esa región, con un clima seco y tendiente a la aridez, en una importante zona productora de forrajes y alimentos.

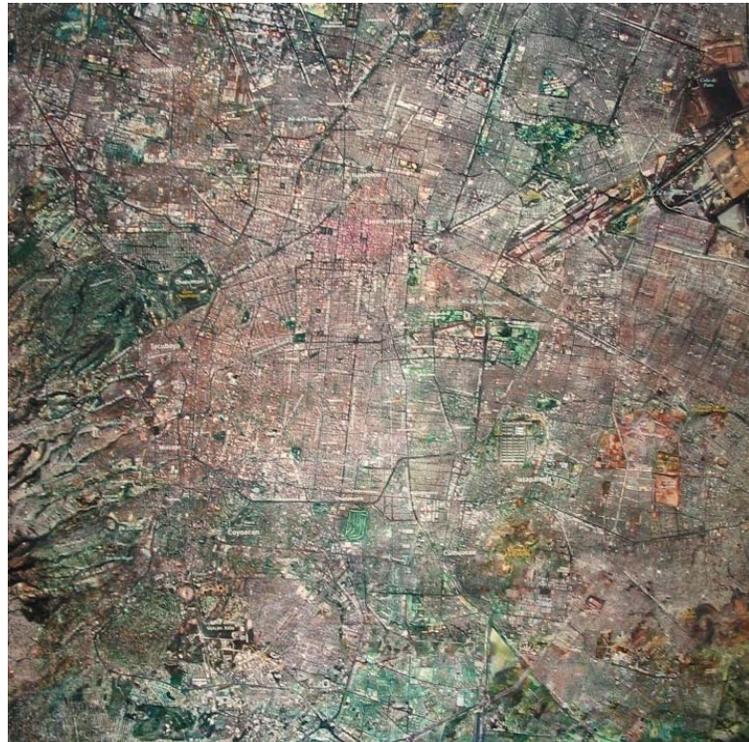


Figura 8. La Ciudad de México en 2000, Museo Universum

Como mencionamos, los efectos de la explotación de los recursos hídricos del acuífero han ocasionado daños significativos al contribuir al hundimiento de la ciudad, que se calcula en 9 metros entre los años de 1910 y 1988. Una consecuencia de ello es que el sistema de drenaje del Gran Canal se encuentre, en la actualidad, por encima del nivel para hacer descender por gravedad el agua servida desde de la cuenca.

La afectación del sistema hídrico natural ha tenido expresiones como el entubamiento de 80 kilómetros de los ríos urbanos a principios de la segunda mitad del siglo para impulsar el proceso de construcción de vialidades. Esos sistemas fluviales tenían un deterioro importante debido a que recibían descargas de desagües, lo que se sumó como motivo para proceder a su entubamiento.

Los criterios de diseño en relación a la infraestructura hidráulica durante el siglo XX tomaron un carácter de gran complejidad. Como en otros momentos, pero quizá con mayor fuerza, se hicieron escuchar diversos puntos de vista sobre las políticas y tecnologías más adecuadas para un crecimiento urbano acelerado. No obstante, la perspectiva prevaleciente ha privilegiado el enfoque de aumentar la dependencia de los recursos hídricos externos y mantener la expulsión del agua de lluvia y la servida fuera de la región.

Síntesis cronológica de la relación población-recursos hídricos en la Ciudad de México

Tabla 1

Etapa histórica	Fuentes de abasto de agua potable	Sistema de drenaje	Infraestructura de abasto	Población
Etapa precolombina	<ul style="list-style-type: none"> Manantial de Chapultepec Manantial de Acuacuexatl, cercano a Churubusco 	Lago de Texcoco	Acueducto de barro	200,000 hab. (1519)
Etapa colonial	<ul style="list-style-type: none"> Manantial de Chapultepec Manantial de Santa Fe 	Acequias 1607 inicia la construcción del canal que atravesará el cerro de Nochistongo y conectará con el río Tula	Acueducto de Chapultepec (1779) Acueducto de Santa Fe (1620) (1806: 505 fuentes particulares y 28 fuentes públicas)	Hacia finales del siglo XVIII: 120 mil habitantes.
Siglo XIX	<ul style="list-style-type: none"> Manantiales de Chapultepec, del Desierto de los Leones y Santa Fe Pozos artesianos Canal de la Viga y Acequias 	Acequias Tajo de Tequixquiac (1879) Gran canal (1900)	Acueductos, canales y pozos	A principios del siglo 137 mil habitantes.
Siglo XX	<ul style="list-style-type: none"> Acuífero Sistema Lerma-Cutzamala 	Gran Canal Sistema de drenaje profundo	Sistema hidráulico	A finales del siglo XX: 8'726,916 hab.

3.3 Las estructuras hidráulicas para el suministro y desalojo de agua

Un rasgo significativo que va a marcar la evolución tecnológica en cuanto al agua en la cuenca es la manera en que el volumen dispuesto para consumo humano es “circulado”. Se podría decir que la idea de ese “circulacionismo” va aumentando con el tiempo, acicateado por una mayor presión demográfica y por la constante expansión económica de la capital del país.

Las tecnologías hidráulicas para el abasto de agua en las etapas prehispánica y colonial tuvieron en común dos aspectos. Estaban basadas en la obtención del recurso en

manantiales dentro de la cuenca y el agua era conducida por medio de acueductos contruidos con materiales de la región. Desde luego que en términos de técnica constructiva existía una gran diferencia entre la tecnología europea y la prehispánica, sobre todo relativa a la perdurabilidad de la obra. La disposición de agua de fuentes superficiales encontró un límite a finales del siglo XIX, cuando motivado por la expansión demográfica y productiva se hizo necesario pasar a la explotación de los recursos hídricos del subsuelo.

La circunstancia definida por la disposición suficiente de agua para las necesidades de la población y sus actividades económicas tenía como consecuencia que el agua de lluvia no fuera valorada en términos de un recurso directamente aprovechable. Más aún, y sobre todo durante la etapa colonial, la temporada de lluvias era vista como una amenaza debido a la posibilidad de padecer inundaciones de alcances catastróficos.

Esto nos lleva al segundo punto a considerar en términos de la infraestructura hidráulica: el control de la crecida de nivel en el lago de Texcoco. Este fue el enfoque prevaleciente entre los Mexica y los texcocanos en relación con los lagos, el establecimiento de un sistema de control a través de diques que alejaran la posibilidad de inundaciones a causa del desbordamiento entre los lagos.

Sin embargo, el enfoque adoptado por los españoles fue muy distinto. Estos apostaron a desecar el lago de Texcoco para lograr el desalojo de las aguas servidas provenientes de la ciudad y evitar inundaciones. Aunque tal empresa no culminó cabalmente hasta finales del siglo XIX, tal orientación, en cuanto al lago de Texcoco, se fue fortaleciendo a lo largo del paso de los siglos.

De modo tal, la orientación cultural en relación al agua en la población de la cuenca es el resultado de un gradual deterioro de las condiciones hidrológicas naturales en la región.

Ha prevalecido, históricamente, la visión de que los recursos hídricos de la región han sido un estorbo y el desarrollo de los sistemas de drenaje, como las acequias y canales coloniales o el moderno sistema de alcantarillado está orientado a reunir aguas servidas con aguas pluviales y a desalojarlas fuera de la cuenca, afectando con ello el ciclo hidrológico natural del Valle de México.

Impacto ecosistémico en relación a la infraestructura hidráulica desarrollada históricamente

Tabla 2

Infraestructura hidrológica	Etapa histórica			Efectos ecosistémicos
	Etapa prehispánica	Etapa colonial	Etapa moderna	
Fuente de abasto	Manantial de Chapultepec Manantial de Acuacuexatl (cercano a Churubusco) Acueducto de barro	Manantial de Chapultepec Manantial de Santa Fe	Acueducto de Chapultepec (1779) Acueducto de Santa Fe (1620) (1806: 505 fuentes particulares y 28 fuentes públicas) Siglo XX: Acuífero, Sistema Lerma Cutzamala	Agotamiento de recursos hídricos
Sistema de drenaje	Lago de Texcoco	Acequias 1607 inicia la construcción del canal que atravesará el cerro de Nochistongo y conectará con el río Tula	Siglo XIX: Gran Canal Siglo XX: Gran Canal Sistema de drenaje profundo	Desección de recursos hídricos

3.4 La captación de agua de lluvia desde una perspectiva histórica

La vocación natural del Valle de México como cuenca endorreica es la de ser un macro-sistema de captación de agua pluvial. La acción antrópica a lo largo del periodo de poblamiento humano de la zona se ha guiado con un sentido diferente. La captación pluvial no ha sido estimada en su valor ecológico, pues en grado creciente las precipitaciones fueron y son vistas como fenómenos con los que hay que “tratar” antes que “aprovechar”.

Aunque en el Valle de México las experiencias históricas documentadas de captación pluvial para consumo humano son escasas no ocurre así en otras regiones del país.

La investigadora Teresa Rojas Rabiela, en su texto “Las obras hidráulicas mesoamericanas en la transición novohispana”⁹, presenta un exhaustivo recuento de las múltiples expresiones tecnológicas desarrolladas en Mesoamérica durante 900 años previos a la conquista española. En el caso específico de la captación pluvial describe el uso de los denominados “chultunes”¹⁰ o cisternas subterráneas en la península de Yucatán por parte de los pobladores mayas del período clásico prehispánico y los “jagüeyes” o depósitos a cielo abierto de agua de lluvia, cuyo uso continúa hasta nuestros días.

Rojas Rabiela también presenta otras tecnologías prehispánicas para la captación y uso de los recursos hídricos pluviales como los “derramaderos”, cuya presencia detecta en el Valle de Oaxaca, en Chihuahua y en Teotihuacán o también los “depósitos pluviales en cimas” cuyo uso identifica en los territorios de Tlaxcala, Oaxaca, San Luis Potosí y Tamaulipas. En ambos casos se trata de tecnologías hidráulicas dirigidas a la utilización agrícola de la lluvia.

Ya durante la etapa colonial la captación pluvial fue también una tecnología muy empleada en diversas zonas del país con la introducción de los “aljibes” para el almacenamiento doméstico. Esta tecnología también fue empleada con éxito para el almacenamiento de grandes volúmenes de agua en conventos religiosos. Como ejemplo de ello podemos citar el vasto sistema de captación y almacenamiento de agua de lluvia del Convento de Santo Domingo en la ciudad de Oaxaca.

Una problemática asociada a la temporada de lluvias, presente desde la etapa prehispánica hasta nuestros días, es el riesgo de las inundaciones. En relación con ello, el sistema de drenaje desarrollado durante el siglo XX es clara expresión de que la captación de lluvia ha sido un proceso cuya finalidad es la del desalojo del agua fuera de la cuenca.

Ahora bien, esta visión es la prevaleciente hasta nuestro tiempo pero no ha sido la única. El ingeniero Nabor Carrillo, a mediados de siglo XX, planteó la necesidad de recuperar el carácter lacustre de la cuenca con la finalidad de dar viabilidad a largo plazo al desarrollo urbano. No obstante que el proyecto de recuperación del lago de Texcoco se desarrolló de manera parcial desde la década de los años setenta, la opción de exportar fuera de la cuenca las aguas pluviales ha prevalecido sobre otras visiones.

⁹ Rojas Rabiela, Teresa, *Las obras hidráulicas mesoamericanas en la transición novohispánica*, Versión preliminar, Centro de Investigaciones y Estudios Sociales y Antropológicos, Mimeografiado, México.

¹⁰ Un texto muy detallado sobre el diseño, disposición y uso de los chultunes por parte de los pueblos mayas en la península de Yucatán es el siguiente: Zapata Perza, Renee Lorelei; *Los Chultunes: sistemas de captación y almacenamiento de agua pluvial*, Instituto Nacional de Antropología e Historia, México, 1989.



Figura 9. Detalle de patio en el Convento de Sto. Domingo, Oaxaca

Una mención aparte merece el sistema de regulación mediante presas en las laderas del poniente del valle. Este sistema de presas está vinculado con la captación pluvial debido a que los afluentes que lo surten dependen del caudal proveniente de la precipitación pluvial anual durante la temporada correspondiente.

Otro conjunto de casos que apuntan a una dirección diferente a la históricamente desarrollada es el de aumentar los niveles de infiltración al acuífero en zonas específicas de reserva. Estas acciones han sido motivadas debido a los cálculos de explotación deficitaria del manto freático y al consecuente y permanente hundimiento de vastas zonas de la ciudad.

Los casos referidos constituyen ejemplos de que la captación de agua de lluvia tiene una pertinencia y especialmente el segundo es un reflejo de que las formas desarrolladas históricamente para el abasto y el desalojo de agua no han sido los más adecuados para las características geológicas e hidrológicas del Valle de México.

3.5 Diseño en torno del agua a lo largo de la historia

En este capítulo hemos planteado que, a lo largo de la historia, la relación de la población de la Ciudad de México con los recursos hídricos se ha caracterizado por ser una relación conflictiva más que equilibrada y que, sin embargo, la ciudad ha logrado sobrevivir gracias a dos cuestiones principales: por una parte, las características ecológicas de la Cuenca del Valle de México, que por su carácter endorreico constituyen un espacio privilegiado para la retención de agua, y por otro lado, la

capacidad de las diferentes generaciones que en los diversos momentos históricos han desarrollado la infraestructura tecnológica para hacer uso de esos recursos.

También hemos intentado establecer que la relación población-recursos hídricos se ha vuelto más tirante a finales del siglo XX debido al crecimiento demográfico, la expansión urbana y la orientación tecnológica que ha seguido el desarrollo de la infraestructura hidráulica, privilegiando intereses económicos y el enfoque de desalojar el agua de la cuenca.

La provisión de agua es una necesidad primordial para cualquier asentamiento humano. La perspectiva tecnológica que oriente el desarrollo de infraestructura para atender esa necesidad tiene un impacto de gran relevancia en el equilibrio ecológico del medio que sustenta a esa sociedad.

No obstante, la relación tecnología-ecología no agota las determinaciones del proceso histórico. La estructura social, que se expresa a través del sistema de producción y de consumo, y que caracteriza el tipo de necesidades y el modo de atenderlas, juega un papel también fundamental en la conformación de los diferentes escenarios del pasado y proyecta su sombra hacia el futuro de la explotación de recursos hídricos. En otras palabras, el modo del consumo de agua, en términos sociales, es un fenómeno cultural.

El diseño es una disciplina que trata con lo cultural como materia prima, como ámbito de acción y como entorno de retroalimentación. En los diferentes momentos históricos se han puesto en tensión las capacidades diseñísticas de los pobladores de la cuenca del Valle de México para abastecerse y garantizar su consumo de agua a futuro. El saldo de esta relación, en términos de sustentabilidad no es propiamente el mejor, pero se reconoce que los antecedentes que nos deja esa historia en términos de desarrollo tecnológico dan al diseño industrial una posibilidad de intervención a partir de las diversas visiones que se han conjugado. Desde los mecanismos para evitar inundaciones en la sociedad precolombina, pasando por las acciones coloniales para desalojar el agua de lagos hasta las macro-obras de drenaje que caracterizan al siglo XX, son todas expresiones que denotan un conflicto creciente. La diversidad que impone la crítica a esas visiones predominantes sobre la gestión del agua en la cuenca, como el proyecto de recuperación de la ciudad lacustre encabezado por Carrillo o las acciones que los habitantes de la ciudad emprenden a nivel de sus domicilios para cosechar y emplear con sus propios medios el agua de lluvia, son todos en conjunto un referente para la posibilidad de un cambio cultural. Un cambio para el que el diseño industrial aplicado a las necesidades de la vida doméstica tiene un papel asignado.



LA CAPTACIÓN DE AGUA
DE LLUVIA
EN LA CIUDAD DE MÉXICO
**UNA VISIÓN
DESDE EL DISEÑO**

Capítulo 4

Capítulo 4
**LA CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA
EN LA CIUDAD DE MÉXICO**
UNA VISIÓN DESDE EL DISEÑO

4.1 Introducción

El objetivo del presente capítulo es revisar las tecnologías existentes para la captación y el uso del agua de lluvia en el medio urbano y analizar una estrategia para su aplicación en el contexto de la Ciudad de México.

Inicialmente se dará una mirada a las diferentes tecnologías que caracterizan el “estado del arte” de los medios para la captación y el aprovechamiento del agua de lluvia en las ciudades.¹ Posteriormente se desarrolla un análisis del sistema de captación y aprovechamiento pluvial desglosando sus componentes en áreas o subsistemas para pasar a dar algunos ejemplos de aplicación en la Ciudad de México. El capítulo concluye con la evaluación de un escenario posible para la captación y aprovechamiento pluvial elaborado con indicadores estimados como parte de la investigación, que nos permite establecer un conjunto de criterios de diseño sobre la temática que nos ocupa.

¹ Esta revisión está basada en los argumentos esgrimidos en los siguientes textos: Kinkade-Levario, Heather; *Design for Water. Rainwater harvesting, stormwater catchment, and alternate water reuse*, New Society Publishers, Canada, 2007; Gould, John y Erik Nissen-Petersen; *Rainwater catchment systems for domestic supply. Design, construction and implementation*, Practical Action Publishing, Reino Unido, 1999; *A water harvesting manual for urban areas. Case studies from Delhi*, Centre for Science and Environment, India, 2003; Banks; Suzy y Richard Heinnichen; *Rainwater collection for the mechanically challenged*, Tank Town, Estados Unidos, 2004 y Gleason Espíndola, Arturo; *Manual de aprovechamiento de aguas pluviales en centros urbanos*, Universidad de Guadalajara, México, 2005.

4.2 Las tecnologías existentes

Los sistemas de captación pluvial se clasifican en dos grandes grupos: los sistemas de cosecha (también denominados activos) y los sistemas pasivos. La diferencia sustancial entre unos y otros consiste en que los primeros implican la recolección en techos y azoteas de edificaciones, mientras que en el segundo grupo se comprende la cosecha del agua pluvial precipitada sobre suelos (como aceras, pavimento y jardines). Como se puede inferir, estos sistemas no se contraponen sino que más bien constituyen modalidades complementarias. No obstante, debido a los posibles contaminantes que puede adquirir el agua precipitada sobre suelos, se requiere de procesos más sofisticados para su tratamiento, aspecto que motiva el que no les demos una consideración puntual en términos del aprovechamiento doméstico.

Concentraremos nuestra atención en los sistemas activos de captación pluvial, en virtud de que su aplicación es más pertinente en el caso de la vivienda en el medio urbano y debido a que la limpieza y conservación del agua almacenada presenta menos complicaciones que el agua contaminada a nivel de piso. Por una parte, es más económico establecer un sistema de captación activo y, por otro lado, su operación y mantenimiento implica menor complejidad.

Los sistemas activos de captación están generalmente formados por un conjunto de subsistemas que podemos enlistar en los siguientes términos:

- Un subsistema de cosecha o captación de agua de lluvia, conformado principalmente por una superficie de recolección.
- Un subsistema de conducción y pre-filtrado de agua captada, conformado por un circuito de canaletas, tuberías y dispositivos para la retención de basuras grandes y desviación de los primeros flujos de lluvia captados.
- Un subsistema de filtrado del agua captada para la separación de partículas nocivas para la salud
- Un subsistema de almacenamiento del agua pluvial que la mantenga en buenas condiciones para su utilización inmediata y posterior.
- Un subsistema de distribución para el uso del agua de lluvia en las actividades cotidianas de la vida doméstica

El principio que orienta la integración de estos diferentes subsistemas en un todo funcionalmente integrado es el concepto de *circuito*. El agua cosechada es conducida a un espacio de almacenamiento de donde posteriormente se envía a los diferentes espacios domésticos en los que será empleada con diferentes fines de consumo. Cuando esto ha ocurrido, y el agua servida es desechada, tendría que ser devuelta de manera que se reintegre al ciclo hidrológico natural (por ejemplo, inyectándola a los mantos freáticos una vez tratada) o para ser reutilizada después de una limpieza adecuada. En otras palabras, el agua debe ser circulada en diferentes ámbitos de uso

en el espacio doméstico bajo el criterio de maximizar su utilidad sin menoscabo de su valor económico y su rol en el ciclo hidrológico natural.

4.2.1 Tecnología para la captación y almacenamiento de agua de lluvia

Antecedentes

Sobre los documentos en los que se da cuenta sobre el aprovechamiento del agua de lluvia una referencia obligada es el texto “Los 10 libros de la Arquitectura” de Vitrubio. El capítulo segundo del Libro VIII está dedicado a la temática general del agua de lluvia, mientras que el capítulo sexto del mismo se refiere a los sistemas de conducción y almacenamiento:

“En el aljibe central se colocarán unas cañerías, que llevaran el agua hacia todos los estanques públicos y hacia todas las fuentes; desde el segundo aljibe se llevará el agua hacia los baños, que proporcionarán a la ciudad unos ingresos anuales; desde el tercero, se dirigirá el agua hacia las casas particulares, procurando que no falte agua para uso público. Los particulares no podrán desviar para su uso privado el agua de uso público, ya que habrá unos conductos especiales directamente desde los aljibes. La razón que me ha empujado a establecer este reparto del agua es que los particulares que tengan agua en sus propias viviendas deben satisfacer impuestos para el mantenimiento de los acueductos. Si entre las murallas de la ciudad y los manantiales se levantan unas colinas, debe procederse de la siguiente manera: se abrirá un túnel subterráneo, con una pendiente nivelada, como hemos descrito anteriormente; si encontramos un suelo muy poroso o rocoso, el túnel se abrirá sobre el mismo suelo; si es un suelo terroso o arenoso, se levantarán unas paredes abovedadas, formando una galería, y así se hará la conducción del agua. Se abrirán pozos guardando una distancia de ciento veinte pies.”

Juanelo Turriano nos legó una obra escrita en el siglo XVII que se titula “Los veintinueve libros de los ingenios y de las máquinas”. En el libro X, titulado “De las cisternas y aljibes como se hagan en diversas maneras”, aborda la temática de la captación y la conservación de agua de lluvia en domicilios particulares.

El trabajo de Turriano tiene el objetivo principal de presentar la construcción de sistemas tecnológicos y describir la manera en que estos resuelven problemas como la contaminación del agua almacenada y su conservación por largos periodos de tiempo. Turriano documentó el sistema de filtración (“destilación”) empleando vasos de almacenamiento que trasminan el agua de un recipiente a otro, logrando con ello mejorar las condiciones del agua para su consumo.

El autor también realizó un amplio recuento de las sustancias y materiales naturales empleados en su época para preservar el agua y muestra una extensa serie de recomendaciones sobre los efectos negativos de las aguas estancadas en la salud de las personas. El mismo autor refiere las termas romanas (baños públicos) como un caso de reconocimiento por su capacidad de almacenamiento y su integración a la vida cotidiana.

Turriano centra su atención en las temáticas de la conducción de las fuentes de agua a los depósitos de almacenamiento, la impermeabilización (embetunamiento) de los depósitos y las medidas para mejorar el sabor del líquido. Presenta dos tipos generales de almacenamiento pluvial: los *aljibes de campo* y los *aljibes de casa*. A su vez, muestra las distintas posibilidades de construcción de aljibes: enterrados en el suelo o al aire libre. Mientras los primeros están destinados a contener agua para beber, los segundos se utilizan como baños o áreas de lavado.

La captación pluvial y la tecnología para llevarla a cabo están planteadas desde hace varios siglos. No obstante, en las sociedades modernas el tema del confort y de la creciente demanda de agua son aspectos que llegan a situarse en contradicción. Desde un punto de vista histórico la resolución de este conflicto es una tarea del diseño, es decir, la conciliación de una demanda masiva con uso confortable de los recursos hídricos.

Visiones tecnológicas para la captación y almacenamiento de agua pluvial

En la actualidad podemos hablar de dos grandes perspectivas tecnológicas en relación a la temática que desarrollamos: la captación en zonas urbanas y la captación en el ámbito rural.



Figura 1. Presa tipo gavión

A su vez, en el espacio urbano existen dos criterios diferentes sobre la captación pluvial: la dominante referida a la captación para el desalojo del agua de lluvia del espacio urbano y la captación para el aprovechamiento en el espacio urbano.

En el primer enfoque la tecnología se ha desarrollado en relación con los sistemas de alcantarillado y las redes de drenaje. Los desafíos tecnológicos en ese ámbito tienen que ver con la profundidad de los sistemas de desagüe y con el mantenimiento de los mismos. Una asignatura importante en esta temática es la separación de las aguas pluviales de las aguas residuales al ser conducidas por esas redes de desalojo.

En el segundo enfoque predominan dos alternativas de uso del agua captada: una, muy importante en nuestra ciudad, es la recarga y preservación de acuíferos. La segunda se

refiere al consumo del agua de lluvia, ya sea a nivel domiciliario o con fines productivos. Como ejemplos de la captación para la recarga de mantos freáticos en zonas periféricas del medio urbano podemos mencionar la construcción artificial de microcuencas, swales, gaviones y drenes. El Dr. Arturo Gleason Espíndola (2005) documenta con más detalle el uso de estas tecnologías.

Por nuestra parte, le hemos asignado una atención prioritaria al consumo doméstico del agua pluvial, sin desestimar la necesidad de recarga del acuífero. Se trata de un área de intervención idónea para el diseño industrial.

Estado del arte de la captación y purificación de agua de lluvia a nivel domiciliario con tecnología de punta

El siguiente esquema, tomado del texto titulado “Design for Water” de Heather Kinkade-Levario, sintetiza las diferentes etapas de la captura y purificación del agua de lluvia a nivel residencial:

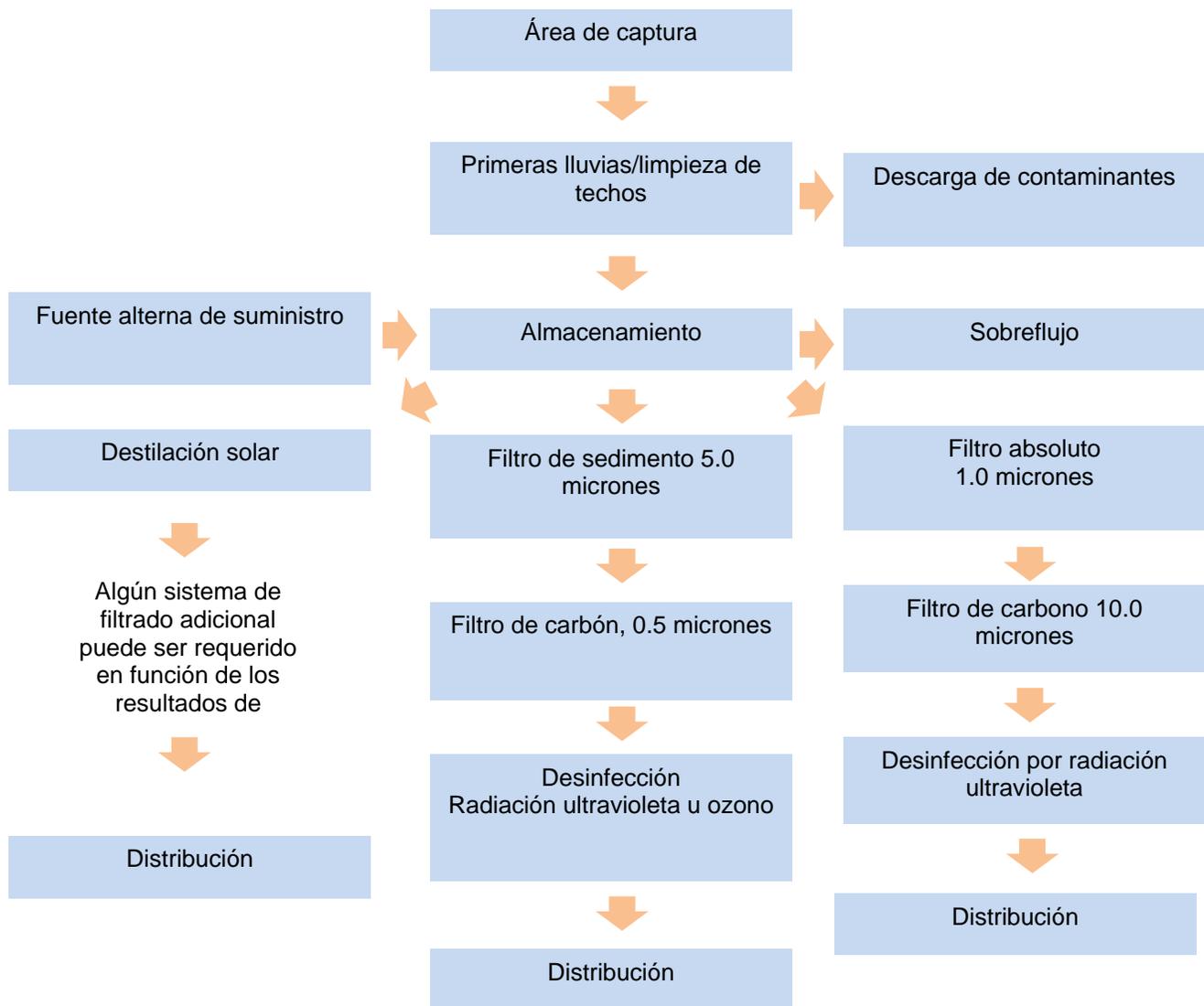


Figura 2. Esquema general de las tecnologías contemporáneas para la captación pluvial

Un área de importante desarrollo para la tecnología aplicada a la captación de agua de lluvia es la purificación. En este campo se han desarrollado diferentes medios para filtrar y desinfectar el agua de manera eficiente y con un reducido gasto de energía.

Entre las tecnologías más destacadas por su reciente incorporación al tratamiento de agua de lluvia tenemos la destilación generada por energía térmica captada en paneles solares y la radiación ultravioleta o con ozono. En México se ha desarrollado la aplicación de purificación con radiación ultravioleta y ósmosis inversa en el Centro de Investigación para la Captación de Agua de Lluvia del Colegio de Posgraduados, con la finalidad de potabilizar en términos de rentabilidad financiera el agua de lluvia para su comercialización posterior.

Heather Kinkade-Levario nos ofrece una serie de ejemplos de sistemas innovadores desarrollados con el objetivo de la purificación de recursos pluviales. Un caso es el sistema denominado RainPC, miniplanta de tratamiento de agua de lluvia para suministro doméstico, desarrollado en Holanda.

Otro sistema que ha resultado en un éxito comercial es el denominado “Envireau”, desarrollado en Inglaterra y completamente automatizado con sistemas de filtración para usos no potables. Este sistema puede adecuarse a diferentes dimensiones espaciales y diferentes perfiles de usuario.

Estado del arte de la captación y purificación de agua de lluvia a nivel domiciliario con tecnologías tradicionales

En ciudades como Nueva Delhi, en la India, ha ocurrido un interesante proceso de difusión de las tecnologías para la captación pluvial, incorporando tanto los adelantos tecnológicos como las tecnologías más tradicionales. Los centros de promoción de la captación pluvial promueven el uso de tecnologías de bajo costo como el tipo de procesos de filtrado que aparece en la figura siguiente:

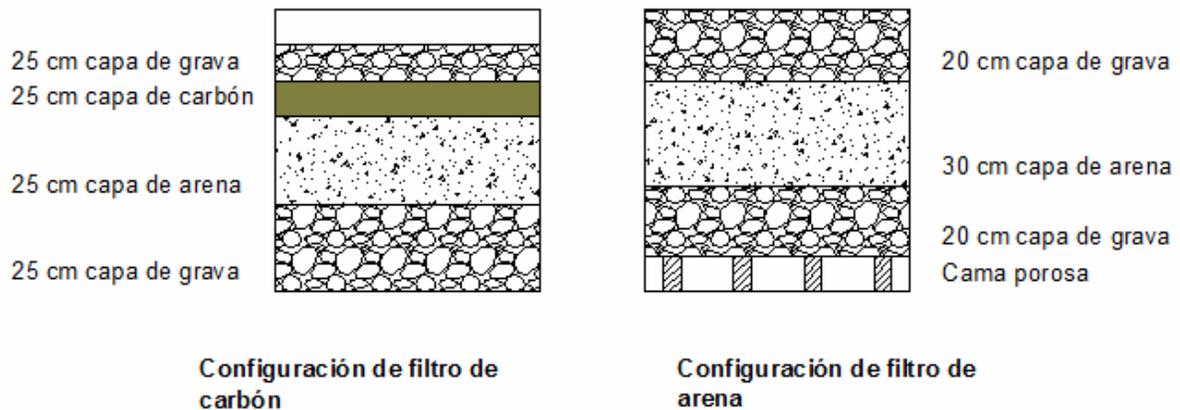


Figura 3. Sistemas de filtrado

Estos sistemas de filtrado pueden ser construidos por los propios usuarios de los sistemas de captación con materiales locales a un muy bajo costo.

Una perspectiva regional y social del desarrollo de la tecnología para la captación del agua de lluvia

Las diferentes vertientes que ha seguido el desarrollo de estas tecnologías expresan el carácter multidimensional del fenómeno. Los climas y las características específicas del medio regional son definitivas en el tipo de tecnologías instrumentadas en relación a la captura del agua de lluvia.

A su vez, factores culturales delimitan el tipo de relación que la población mantiene con los recursos hídricos. Los patrones de consumo y ahorro, la exigencia de saneamiento y la demanda de tratamiento de aguas servidas son todos aspectos en los que la cultura de la población resulta definitiva para la viabilidad de la captación pluvial.

En el párrafo siguiente se desarrollará un análisis de cada área que integra el sistema de captación y aprovechamiento pluvial doméstico.

La cosecha de agua de lluvia

La superficie de captación la constituyen, por lo regular, los techos de las casas y edificios de la ciudad. La arquitectura de nuestros espacios habitacionales le ha dado un papel principal a la construcción de techos mediante losas de concreto. La mayor parte de las edificaciones en la Ciudad de México están construidas con este tipo de intervención. Las pendientes de los techos prevén el desalojo de las precipitaciones pluviales, pero no la captación del agua para su almacenamiento.



Figura 4. Pendiente en área de captación

Uno de los principales problemas de los techos como espacios para la cosecha de agua de lluvia es la prolongada duración de la temporada de secas. El período de estiaje va del mes de noviembre a mayo y durante ese periodo los techos van acumulando un considerable volumen de polvo y otros contaminantes que se precipitan desde el cielo. Las primeras lluvias, que se presentan entre los meses de abril y mayo, arrastran consigo un considerable nivel de contaminación debido a las partículas que acarrean con el escurrimiento.

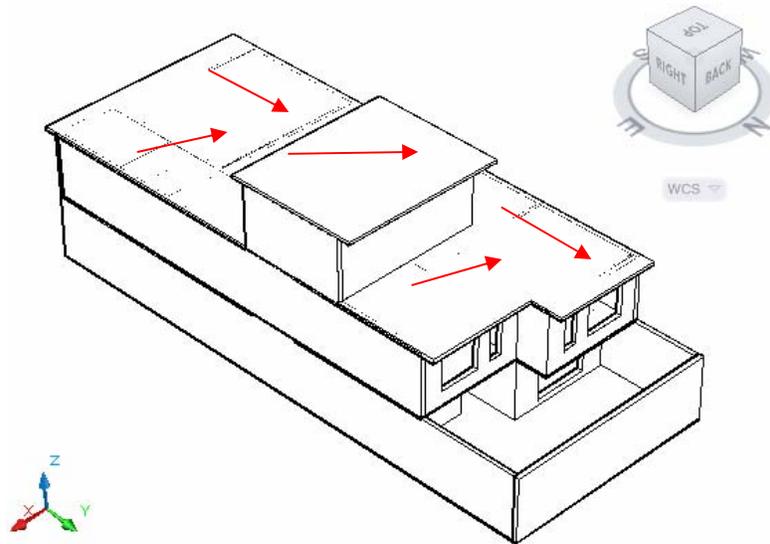


Figura 5. Área de captación y dirección de escurrimientos

De lo anterior se desprende que la limpieza de los espacios de cosecha es fundamental para la eficacia del sistema de captación en su conjunto. Este aspecto puede ser un factor cultural crítico relevante ya que la población del Distrito Federal no tiene la costumbre de limpiar los techos de manera cotidiana y mucho menos de hacerlo con la intención de evitar la contaminación del agua pluvial. Este factor también es relevante para el planteamiento general de la captación del agua de lluvia en el espacio urbano debido a la contaminación atmosférica, evidenciada en las partículas que se depositan sobre los techos a lo largo del año, principalmente durante la temporada seca. En la siguiente fotografía se puede apreciar, sobre una techumbre al aire libre, la película de polvo depositada por las primeras precipitaciones en el norte de la Ciudad de México:



Figura 6. Depósito de polvo originado por las primeras precipitaciones anuales

Un segundo aspecto importante en términos de la superficie de captación es propiamente el tipo de superficie. Como ya señalamos, se trata principalmente de losas de concreto que dependiendo del nivel socioeconómico familiar tiene algún tipo de impermeabilización. El que exista este tipo de protección mejora la eficiencia con la que actúa la superficie de captación. Sin embargo, como ya señalamos, la impermeabilización de los techos es un aspecto que depende de las posibilidades económicas de las familias para destinar recursos a esta previsión. En las siguientes imágenes podemos apreciar diferencias en la impermeabilización de las viviendas. La primera imagen corresponde a la Colonia Lindavista y la segunda corresponde a la Colonia Cuauhtepac, en las laderas del cerro El Chiquihuite. Ambas colonias están ubicadas en el norte de la Ciudad de México. Sin entrar en detalles podemos afirmar que el nivel socioeconómico de Lindavista es más elevado que el de Cuauhtepac y eso se expresa en que en el primero se puede apreciar una mayor número de edificaciones con techos rojos, es decir, techos impermeabilizados con una capa exterior reflejante. En el segundo caso se aprecia una proporción mayor de edificaciones con techos de color gris, señal de que no se suele aplicar esta capa externa de impermeabilización sobre las losas.



Figura 7. Colonia Lindavista, Del. Gustavo A. Madero, Distrito Federal



Figura 8. Colonia Cuauhtepec, Del. Gustavo A. Madero, Distrito Federal

No obstante, un aspecto que hay que destacar es que la losa de concreto, prevaleciente en los techos del Distrito Federal, posee mejores prestaciones para el escurrimiento pluvial frente a otros materiales, como los techos de tejas o mosaicos, debido al más bajo índice de escorrentía de estos.

Un tema central de diseño es el de la ampliación del área de captación. Hasta cierto punto es factible considerar que en los techos se podría ampliar algunos metros el área sobre el espacio público aéreo. Más adelante veremos que eso no puede ser realizado

sin considerar el área disponible para un determinado volumen de almacenamiento. De acuerdo con los cálculos que hemos realizado, con la superficie promedio actual de las viviendas unifamiliares en la Ciudad de México el volumen de agua captado podría ser útil en términos de funciones complementarias de abasto.

Subsistema de conducción y prefiltrado

En los sistemas activos de captación de agua de lluvia la conducción del agua capturada hacia los depósitos se suele resolver mediante el empleo de canaletas y tuberías que se colocan bajo los bordes de techos con pendiente pronunciada. En la Ciudad de México se suelen construir drenes en los límites de los techos y hacer descender el agua de lluvia a través de tuberías o caídas libres hacia coladeras de desagüe. De ahí que el cambio hacia la captación activa de agua de lluvia en el espacio doméstico (ya construido) implica el direccionamiento de la precipitación pluvial hacia depósitos de almacenamiento instalados con esa finalidad.

Un elemento muy importante en el subsistema de conducción es la prefiltración de elementos nocivos para el almacenamiento del agua, como son desechos orgánicos que pueden ser arrastrados por el agua, por ejemplo piedras y hojas de árboles. Para evitar el flujo de esos elementos se requiere instalar trampas que impidan su paso hacia las tuberías y depósitos. Estas trampas deben colocarse de modo accesible para que los usuarios puedan retirarlas con frecuencia y limpiarlas.

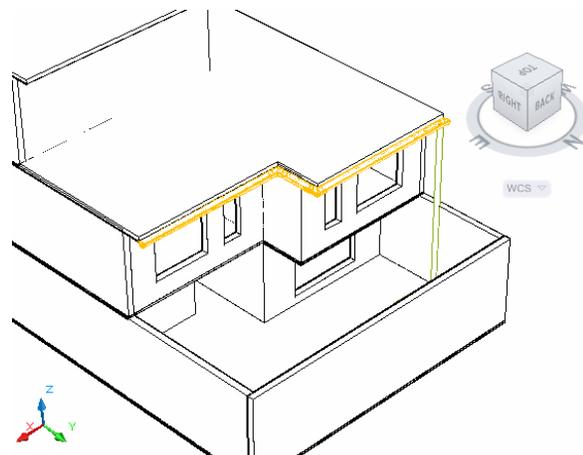


Figura 9. Canalización de cosecha pluvial

Un aspecto que es necesario subrayar es que los primeros flujos captados deben ser desviados del depósito de almacenamiento, debido a que esos flujos se encuentran muy contaminados. Ello significa que es necesario mantener, en paralelo, tuberías de conducción pluvial hacia alcantarillas, principalmente en espacios domésticos ya construidos en los que se vaya a realizar una intervención de adaptación para la cosecha y almacenamiento. No sobra mencionar que los mecanismos de accionamiento

para hacer divergir el cauce de los flujos debe disponerse de manera accesible para su operación por parte de los usuarios.

Por menor que resulte este subsistema su instrumentación es el origen del cambio. Es decir, expresa la voluntad de retener en la vivienda el agua de lluvia. En términos de diseño el problema fundamental radica en la estabilidad y durabilidad de sus componentes, que pueden llegar a permanecer inutilizados a lo largo de varios meses del año.

Ejemplos de productos existentes en el mercado
Subsistema de conducción

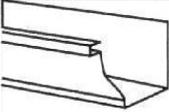
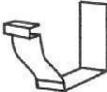
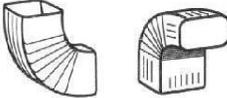
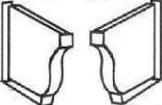
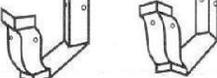
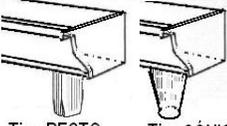
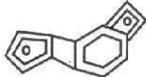
 <p>CANAL DE 0.7 MM. DE ESPESOR</p>	 <p>UNION SE FIJAN CON FACILIDAD A LOS EXTREMOS DE LAS CANALETAS</p>	 <p>CODO A CODO B BAJADA DE AGUA EN CODO 40 Y 60 CMS. DE DISPOSICION LATERAL</p>	 <p>CODO FRONTAL RECTO</p>
 <p>TAPA A IZQUIERDO TAPA B DERECHO TAPA QUE SE FIJA AL EXTREMO DE LA CANALETA</p>	 <p>EMBUDILLO BAJADA DE AGUA CILINDRICA SE FIJAN AL CANAL CON REMACHES Y SILICONA</p>	 <p>ANGULO EXTERNO EN ANGULO INTERNO ESQUINERO CORTE 45° FIJADOR/UNION EN ANGULO</p>	 <p>Tipo RECTO Tipo CÓNICO GARGOLA</p>
 <p>BAJADA CON NERVADURAS QUE DAN RESISTENCIA A SU ESTRUCTURA</p>	 <p>GARGOLA CON UNA CADENA PLASTICA PERMITE UN FACIL ESCURRIMIENTO DEL AGUA</p>	 <p>ABRAZADERA FIJADOR DE DUCTO DE BAJADA</p>	 <p>GANCHO INVISIBLE FIJADOR DE CANALETAS AL TAPACAN DE MADERA</p>

Figura 10. Imagen tomada de la página web: www.canaletasaguaslluvias.cl

Subsistema de filtrado

El proceso de filtrado del agua de lluvia puede tener diferentes finalidades. Si el agua de lluvia se requiere para el consumo humano directo (es decir, para beber y actividades de higiene personal) este proceso requerirá de mayor rigurosidad y sofisticación, ya que se tratará de una actividad de potabilización del agua.

En cambio, si lo que se requiere es un uso del agua de lluvia para atender actividades domésticas, -como el lavado de ropa, el desalojo de desechos en baños, la limpieza de pisos o el riego-, entonces la calidad del agua no precisa de satisfacer el grado de potabilidad y por lo tanto el filtrado no requiere un proceso extremo en exigencia. Lo importante aquí es que el filtrado tenga una calidad adecuada para apoyar un periodo largo (varios meses) de almacenamiento y así evitar su descomposición.

Los procesos de filtrado comprenden un amplio abanico de posibilidades, desde lo más tradicional como los filtros de arena y grava, hasta los más sofisticados sistemas de filtración como el de ósmosis inversa o la radiación ultravioleta, pasando por las tecnologías de filtrado con uso de carbón activado como elemento filtrante.

Es posible que sea necesario establecer dos fases de filtrado: una antes de ingresar el agua de lluvia a su depósito y una posterior a su extracción para su uso.

De acuerdo con el grado de sofisticación del filtrado se requerirá acondicionar espacios de la vivienda, como un “cuarto o área de máquinas” resguardado de la intemperie. Las condicionantes de este tipo de intervención son de tipo económico y del uso que se decida dar al agua captada.

Existen diferentes tipos de filtrado. El siguiente listado no es exhaustivo pero presenta los más representativos sistemas utilizables a nivel doméstico y sus usos más eficientes:

Filtro de fibras: efectivo para detener quistes de protozoos, sedimentos y asbestos.

Filtro de carbón activo: efectivo frente a trihalometanos, tricloroetilenos, dioxinas, cloro, pesticidas, sabores y olores.

Ósmosis Inversa: efectivo para todos los anteriores y para minerales, metales, bacterias fecales y virus.

Desionización: efectivo frente a minerales y metales y otros compuestos químicos

Radiación ultravioleta: efectivo frente a bacterias fecales, virus y protozoos

Destilación: efectivo frente a todos los anteriores, salvo en el caso de sabores y olores.²



Figura 11. Filtro de carbón activado

² Tomado del texto Gray, N.F.; *Calidad del agua potable. Problemas y Soluciones*, Ed. Acibia, S.A., España, 1994, p. 30.



Figura 12. Filtro de radiación UV



Figura 13. Filtro de ósmosis inversa

En función de la tipología de uso doméstico del agua, enunciada en el capítulo 2, las técnicas más apropiadas para la limpieza del agua pluvial se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 1

Tipo de uso del agua en el ámbito doméstico	Técnica de tratamiento de filtrado requerido
Evacuación sanitaria	Filtro de fibras
Higiene personal	Filtro de fibras, ósmosis inversa y radiación ultravioleta
Lavado de ropa	Filtro de fibras, filtro de carbón activo, ósmosis inversa
Otros usos	Filtro de fibras, filtro de carbón activo, ósmosis inversa, radiación ultravioleta

Subsistema del almacenamiento

Este subsistema es el factor más crítico en el contexto de la Ciudad de México debido a la falta de espacios adecuados para tal función. La siguiente imagen muestra los espacios verdes existentes en la Ciudad en la primera década del siglo XXI:

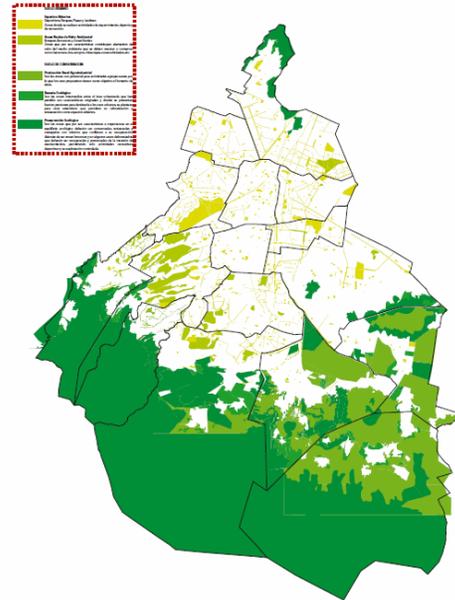


Figura 14. Zonas con vegetación natural en la Ciudad de México

Fuente: Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda del Gobierno de la Ciudad de México

Al comparar la zona urbanizada (en blanco en la figura anterior) se muestra la evidencia de que la falta de espacio es uno de los principales limitantes para la viabilidad de una captación masificada del agua pluvial en la zona urbanizada de la ciudad y es una tarea importante a resolver desde la perspectiva del diseño urbano.

Ahora bien, los depósitos domésticos para el almacenamiento tienen una variada tipología y los factores que están implicados en esta variabilidad son de índole técnico, económico y cultural. Uno muy importante es lo relativo al volumen de captación que determinada superficie de cosecha puede rendir, dada cierta cantidad de precipitación anual, y el ritmo y volumen de consumo ejercidos por los usuarios. Otro aspecto determinante son los materiales disponibles para la fabricación de los depósitos. Otro más, como ya advertíamos líneas arriba, es lo relativo al espacio disponible para la instalación de estos depósitos. La lista de factores no se agota aquí pero consideramos a estos tres como determinantes en el marco de la captación en la Ciudad de México.

En diversos manuales de captación de agua de lluvia el aspecto del almacenamiento recibe una gran atención por parte de sus autores ya que el problema no se refiere

solamente al volumen de agua almacenada, sino también a su conservación y a que posiblemente sea la parte del sistema que requiere mayores inversiones económicas.³

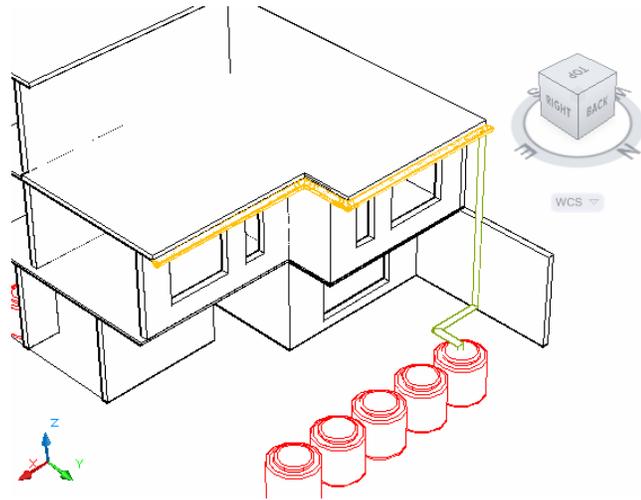


Figura 15. Depósitos

En cuanto al consumo del agua captada y en relación con el subsistema de almacenamiento doméstico podría haber dos posibles escenarios. En un escenario A el agua captada no se consume durante la temporada de lluvias, sino que es almacenada para consumirse durante el estiaje. En el otro escenario, B, el agua se va consumiendo periódicamente a lo largo de su temporada de captación. En cualquiera de los escenarios, A o B, el agua de lluvia tiene un uso complementario con respecto al abasto proporcionado por el servicio de red pública.⁴ Estas dos alternativas podrían ser funcionales y su conveniencia depende de las necesidades de consumo de las personas en el ámbito doméstico, del espacio disponible para el almacenamiento y de la cantidad de agua que se logre captar, de acuerdo al nivel de precipitación pluvial en cada temporada de lluvias.

En términos de diseño, la instalación de depósitos de almacenamiento sigue dos criterios. O se instalan a nivel de piso, o bien se colocan a nivel subterráneo. En ambos casos domina la restricción del espacio disponible. Como veremos más adelante la posibilidad de captar un volumen de agua pluvial supera la capacidad de almacenamiento, lo que obliga a pensar en un consumo híbrido de agua proveniente de la red domiciliaria de abasto junto con agua pluvial.

³ Ver en particular el texto: Gould, John y Erik Nissen-Petersen; *Rainwater catchment systems for domestic supply. Design, construction and implementation*, Practical Action Publishing, Reino Unido, 1999.

⁴ Más adelante, en este capítulo, se argumentará este planteamiento.

Ejemplos de productos existentes

Depósitos de almacenamiento manufacturados en polietileno



Figura 16. Depósitos de almacenamiento

Dimensiones y capacidades:

Tamaño	Capacidad	Dimensiones	
	Diámetro	Altura	
CVA-1100	1,100 lt	111cm	139cm
CVA-2500	2,500 lt	150cm	163cm
CVA-5000	5,000 lt	183cm	213cm

Imagen y datos tomados de la página web:

<http://www.rotomex.com/rotomex/en/index.htm>

Subsistema de distribución para consumo

Este subsistema no es menos importante que los anteriores pues en este particular existe un mayor grado de interacción entre usuarios y sistema. Se constituye básicamente por un mecanismo de traslado del fluido (como el bombeo o la distribución por gravedad) y de una red de tuberías y conexiones con los dispositivos domésticos como son los depósitos de inodoros, las lavadoras y tomas de agua en los que se accederá al agua de lluvia. Más aún, este subsistema puede incluir una segunda fase de filtrado o mecanismo de potabilización y conexiones específicas para consumo directo o para actividades de higiene personal. La complejidad de este subsistema está en función de la manera en que se organicen los subsistemas anteriores y de las necesidades específicas de consumo por parte de las personas.

Los manuales consultados sobre la captación de agua de lluvia en el medio urbano no hacen énfasis en este subsistema. No obstante, aquí lo consideramos un aspecto de gran relevancia pues tiene que ver con el uso que realmente se le da al agua de lluvia y con las posibilidades reales de integración a la vida cotidiana de esta tecnología. Como veíamos en el capítulo dedicado a los aspectos históricos de la relación sociedad-agua en la Cuenca del Valle de México, la opción del consumo de la precipitación pluvial no ha sido recurrida en la etapa más reciente de nuestra historia.

La adición de este subsistema supone también una intervención en las viviendas ya construidas y cuyas instalaciones hidráulicas y sanitarias no fueron diseñadas conforme al uso de las precipitaciones pluviales. Estas intervenciones o adecuaciones a la infraestructura instalada tienen sobre todo una limitación económica, solo justificable en términos de la relación costo-beneficio de tales mejoras con respecto a la opción de no realizar ningún cambio a favor de desarrollar fuentes complementarias de agua. Esto no significa que a futuro el aspecto del beneficio financiero vaya a seguir siendo el principal factor a considerar ya que la dinámica de crecimiento poblacional y la tendencia al incremento de la dependencia de fuentes externas a la cuenca obligarán a considerar con mayor preponderancia la relevancia social y ambiental de la problemática como un todo.

Una parte muy importante de este subsistema de distribución tiene que ver con los mecanismos más adecuados para lograr propiamente la distribución. En concreto nos referimos al proceso de bombeo necesario para trasladar el fluido desde su depósito de almacenamiento hasta los espacios y dispositivos que permiten su consumo. Nuevamente aquí aparece el factor económico como principal restricción y sobre todo la relación entre volumen de agua almacenado y gasto energético para su traslado. En función de las diferentes limitantes (económicas, técnicas y ambientales) no se puede descartar, *a priori*, ninguna alternativa de activación de mecanismo de bombeo, ya sean manuales y accionados con energía humana o mecanismos eléctrico-mecánicos.

Sin embargo el criterio de diseño debe ser el de lograr una eficiencia energética con un mínimo impacto ambiental. Por otro lado, en virtud de la celeridad del consumo, originada en la ausencia de espacio para grandes volúmenes de almacenamiento, los dispositivos de consumo en cocinas, baños y tomas de agua deben ser modificados para recibir agua de dos fuentes de abasto (red domiciliaria y agua pluvial).

4.3 Algunas experiencias de captación de agua de lluvia en la Ciudad de México

Los sistemas de captación de agua de lluvia para su uso local no son una tecnología que se emplee de manera amplia en el desarrollo de edificaciones en la Ciudad de México. La mayor parte de la lluvia es captada para ser conducida al sistema de desagüe y de ahí es trasladada a lagunas de retención para evacuarla posteriormente de la Cuenca del Valle de México.

No obstante, existen diferentes casos de captación pluvial que, por una parte, dan cuenta de una cierta tendencia a desarrollar la aplicación de estas tecnologías y, por otra, generan experiencias para desarrollar diversos enfoques sobre el tema para su aplicación práctica.

La mayor parte de la infraestructura para la captación de agua de lluvia en la zona urbana de la Ciudad de México ha sido desarrollada para desaguar las precipitaciones y

controlar inundaciones. Sin embargo existen casos en diferentes tipos de edificaciones que brevemente comentaremos.

Espacios comerciales

Edificaciones de reciente desarrollo han instrumentado la captación de agua de lluvia. Un ejemplo es el Centro Comercial Parque Tezontle, inaugurado en el año de 2007 en la Delegación Iztapalapa. Su superficie es de 180,000 metros cuadrados y cuenta con una planta de tratamiento y almacenamiento de agua de lluvia así como pavimento permeable. Fue desarrollado por el Grupo DANHOS, uno de los principales desarrolladores, de nuestro país, de centros comerciales para la capital.

Centros educativos

Un ejemplo de captación pluvial lo tenemos en la Universidad Nacional Autónoma de México, en cuyo campus de Ciudad Universitaria se ha desarrollado una infraestructura con esa finalidad que consiste en 1,200 lavaderos para canalización de agua de lluvia hacia camellones y zonas jardinadas y 8 pozos de absorción de agua de lluvia.

Edificios y espacios públicos

El Dr. Jorge Legorreta⁵ da cuenta de algunas experiencias instrumentadas en edificios públicos en los últimos años de la década de 1990-2000 como son la Casa de la Cultura de Santa María la Rivera en 1998 o los baños públicos del Monumento a la Revolución. En el primer caso se instrumentó un sistema de captación activo para utilizar el agua en sanitarios y el sobrante se canalizó a un pozo de inyección. Otros casos referidos por Legorreta es el programa llevado a cabo por la Delegación Iztapalapa entre los años de 2003 a 2005, consistente en la captación pluvial y la inyección al acuífero por medio de 55 pozos de absorción.

Mención especial requieren los programas de captación pluvial desarrollados por gobiernos delegacionales, por ejemplo en la Delegación Tlalpan, para la captación pluvial con orientación a la recarga del acuífero.

4.4 Criterios generales para la captación de agua pluvial en la Ciudad de México

La Ciudad de México presenta condiciones climáticas de gran diversidad en términos del régimen pluvial. En la parte norte y nor-oriental de la capital las precipitaciones históricas promedio son menores en aproximadamente un 40% al nivel del surponiente, región que tiene los mayores índices de precipitación histórica.

⁵ Legorreta, Jorge; *El agua y la Ciudad de México. De Tenochtitlán a la megalópolis del siglo XXI*, Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco, México, 2006, págs. 187-192.

Los niveles de precipitación van desde los 500 mm anuales hasta los 1000 mm. Las zonas más densamente pobladas tienen los menores índices de precipitación y se encuentran asentadas en las partes más bajas. Estas zonas tienden también a desarrollar viviendas más reducidas y a concentrar los habitantes en mayor grado, de modo tal que el agua de lluvia disponible por habitante es un volumen menor con respecto a las zonas menos pobladas.

Después de realizar un análisis comparativo de las posibilidades de captación doméstica de agua de lluvia, que se presenta en el Anexo de este capítulo, la información se sintetizó en el mapa que se presenta a continuación.

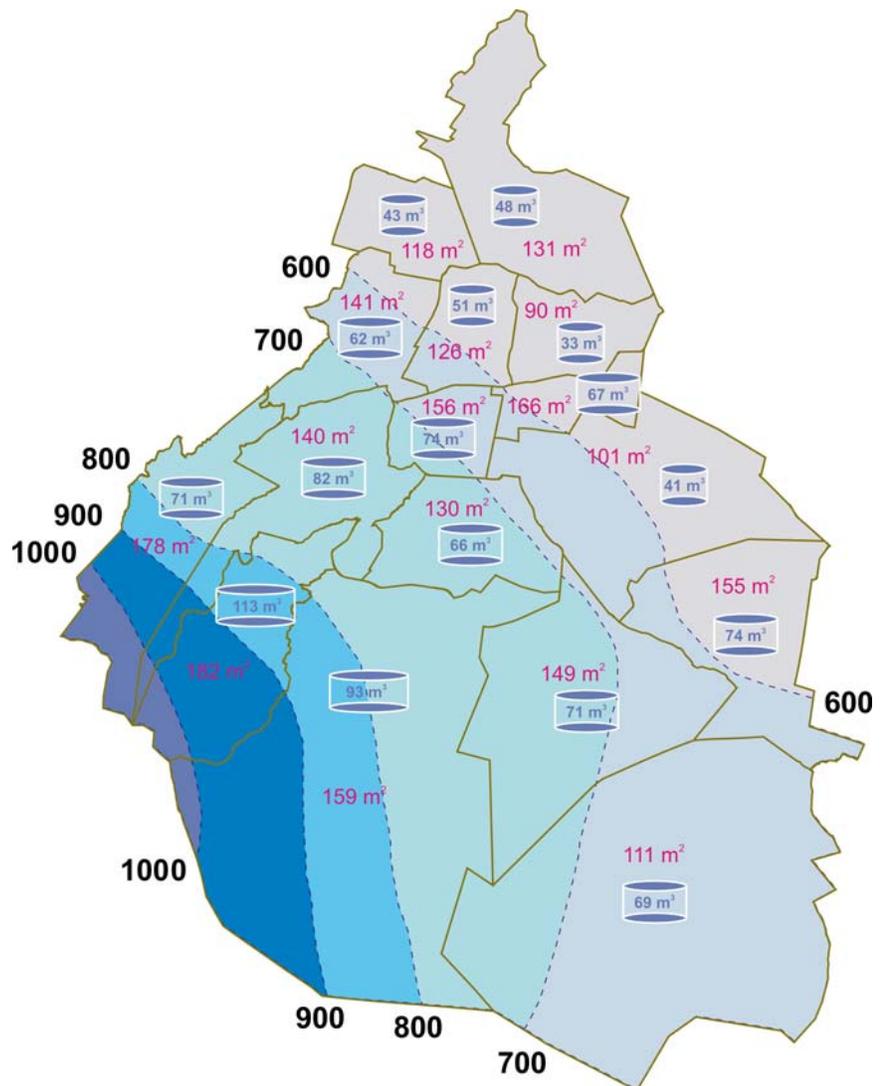


Figura 17. Volúmenes posibles de captación pluvial por unidad doméstica en la Ciudad de México

En el mapa se puede observar los diferentes niveles de precipitación y su relación con las Delegaciones Políticas en las que está dividido el territorio de la Ciudad de México.

Las cifras en dígitos rojos expresan los promedios de superficie de captación por vivienda en cada Delegación después de realizar un muestreo (que se describe en el Anexo al capítulo). Estos promedios no pretenden reflejar la realidad con exactitud, sino proporcionar un parámetro para establecer escenarios hipotéticos de captación pluvial.

Podemos ver que las Delegaciones políticas del norte y nor-oriente tienen los espacios domésticos más reducidos, mientras que en el sur y el sur-poniente hay posibilidades espaciales más amplias para la captura pluvial. El promedio de espacio doméstico para captación es de 139 metros cuadrados. La tabla que se presenta a continuación nos muestra los espacios de captación y los volúmenes posibles de captación por cada Delegación política:

Estimación de captación pluvial doméstica por Delegación en el Distrito Federal

Tabla 2

Delegación política	Volumen de precipitación mensual (mm)	Área promedio de captación pluvial doméstica estimada (metros cuadrados)	Volumen anual de captación pluvial estimado en techo de losa de concreto (metros cúbicos)	Volumen anual de captación pluvial ajustado con coeficiente de evaporación (20%) (metros cúbicos)
Azcapotzalco	500	117.71	43.07	34.46
Coyoacán	700	129.61	66.43	53.14
Cuajimalpa de Morelos	550	178.02	71.47	57.18
Gustavo A. Madero	500	131.18	47.82	38.26
Izatcalco	550	165.99	66.65	53.32
Iztapalapa	550	100.53	40.55	32.44
Magdalena Contreras	850	182.42	112.93	90.34
Milpa Alta	850	110.9	68.88	55.10
Álvaro Obregón	800	139.88	81.76	65.41
Tláhuac	650	154.57	73.55	58.84
Tlalpan	800	158.57	92.86	74.29
Xochimilco	650	148.76	70.7	56.56
Benito Juárez	650	155.88	74.02	59.22
Cuauhtémoc	550	125.56	50.59	40.47
Miguel Hidalgo	600	141.07	61.76	49.41
Venustiano Carranza	500	89.82	32.85	26.28

Fuente: elaboración propia.

Metodología

Para realizar los cálculos presentados anteriormente se siguió el procedimiento que a continuación se describe.

- Se empleó la estimación histórica mensual (1941-2004) de precipitación de la Comisión Nacional del Agua para la Región Administrativa XIII, Valle de México y Sistema Cutzamala.
- Se tomó como base de cálculo la superficie promedio de área de captación doméstica (techos de viviendas) en cada delegación política del Distrito Federal. Esta parte se describe con mayor precisión en el anexo correspondiente a este capítulo.
- Se tomó un coeficiente de escorrentía de 73% para losa de concreto, material que se considera el más empleado en la construcción de vivienda en la Ciudad de México.
- Se consideró un coeficiente de evaporación de 20%

Con los parámetros anteriores se aplicó la siguiente fórmula para la determinación del volumen potencial de captura pluvial mensual a lo largo de un año:

Volumen de captación pluvial mensual estimado (V_{cpme}) = Precipitación promedio mensual en litros por m^2 (PPML x m) x Superficie promedio de captación por vivienda en cada delegación política (S_p) x Coeficiente de escorrentía con techo de losa de concreto ($C_{e_{losa}}$) x Coeficiente de captura considerando evaporación (C_{cce})

$$V_{cpme} = PPML/m^2 \times S_p/m^2 \times C_{e_{losa}} \times C_{cce}$$

Los diferentes volúmenes de captación pluvial son resultado de la interacción entre diversos factores. En primer lugar, son el resultado de las diferencias en los regímenes de precipitación a lo largo y ancho del territorio que ocupa la Ciudad de México. Los diferentes tamaños de las áreas techadas en las viviendas constituyen un segundo factor que repercute en las diferencias mostradas en la tabla.

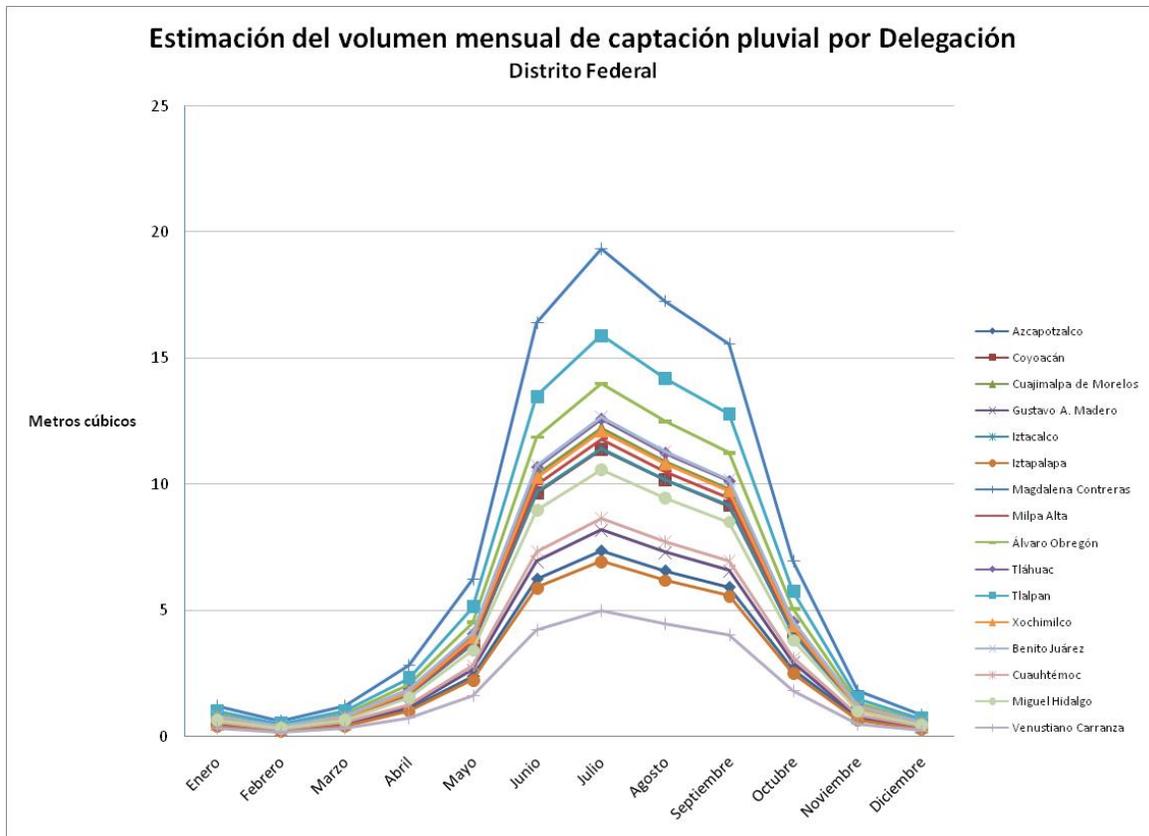
Además, el tipo de material empleado en la construcción de los techos es un factor muy importante para la eficiencia del proceso de captación. En los datos anteriores hemos hecho tabla rasa de este aspecto y se ha supuesto un solo tipo de techo. El parámetro de evaporación, factor variable a lo largo del año, lo hemos considerado constante, como un promedio anual.

Los datos anteriores nos permiten hacer algunas inferencias. Si tomamos como referencia una disposición 150 litros al día por persona, esto significaría que, anualmente, esa persona demandaría 54.75 metros cúbicos de agua. Con agua de lluvia

ese volumen solo sería satisfecho en el caso de que esa persona viviera en alguna de siete delegaciones capitalinas con mayor precipitación, y que lo hiciera sola. Este caso nos muestra que la captación pluvial a nivel doméstico sería complementaria del abasto hídrico proveniente de fuentes convencionales.

Otro aspecto que también se extrae de los datos es que aún en el escenario de captación menos prometedor (Delegación Venustiano Carranza, 26.28 metros cúbicos anuales) se trata de un volumen no despreciable. Considerando una superficie de 5 metros por 5 metros, ese volumen podría ser almacenado en parte en una cisterna de algo más de un metro de profundidad. En el caso del escenario más abundante en captación (Delegación Magdalena Contreras, 90.34 metros cúbicos) la misma superficie requeriría de aproximadamente 4 metros de profundidad.

No se trata tan solo de un problema de espacio, sino de la infraestructura necesaria para la conservación de esas cantidades de agua. Se requiere de sistemas de purificación y de conservación adecuada al uso que se le vaya a dar. Esto nos introduce al análisis de las características del consumo y la pertinencia de la captación pluvial, es decir, el régimen pluvial y la capacidad de satisfacer una demanda para determinados usos específicos a partir de la lluvia que se precipita en las viviendas. La siguiente gráfica nos muestra el conjunto de las delegaciones y el volumen de precipitación que sería posible captar de acuerdo con los promedios históricos de precipitación mensual y los datos que se han mostrado en la tabla anterior:

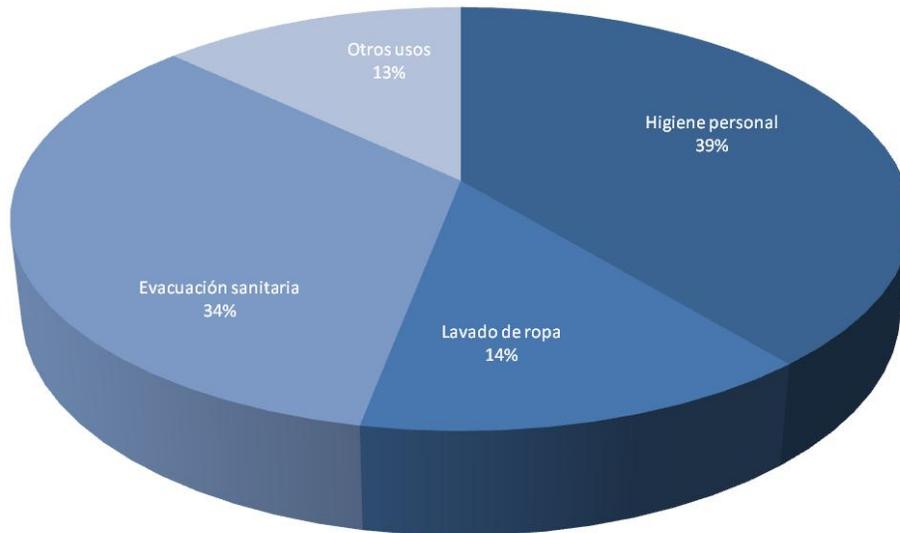


Gráfica 1.

Fuente: elaboración propia

Esta gráfica nos muestra la diversidad de volúmenes posibles de ser captados en las diferentes delegaciones, manteniendo los supuestos de los diferentes índices de precipitación y las diferentes áreas promedio de captación. Por otro lado, el consumo de agua potable tiene las siguientes características principales en la Ciudad de México: en el año 2000 se consumieron 501.1 millones de metros cúbicos (445.9 millones en uso doméstico y 55.2 millones de litros en uso mixto). La gráfica que se presenta a continuación nos muestra cuatro diferentes usos domésticos del agua y su proporción porcentual en el consumo:

Uso doméstico del agua Distrito Federal, 2000



Gráfica 2.

Fuente: INEGI, elaboración propia.

Como se puede apreciar, el volumen de agua destinado a la *evacuación sanitaria* sobrepasa la tercera parte del volumen demandado del recurso en las viviendas. Los usos como el *lavado de ropa* o la *higiene personal* implican el 53% del volumen demandado y los *otros usos* el 13% restante. Las necesidades de la pureza del agua para el consumo son diferentes en función de los usos que se le dé.

Esta gráfica hace evidente que las fuentes de abasto complementarias pueden jugar un papel relevante en la atención de requerimientos humanos diferenciados que ayudarían a reducir el costo económico del suministro como hasta ahora es atendido. El agua de lluvia, como una fuente alternativa de abasto, tendría un papel significativo aun como recurso complementario.

Una vivienda urbana, con cuatro habitantes y una demanda anual de aproximadamente 219 metros cúbicos de agua (150 litros diarios por persona) tendría el siguiente uso del agua, de acuerdo con la gráfica anterior:

Uso del agua en una vivienda de la Ciudad de México con cuatro personas

Tabla 3

Tipo de uso doméstico	Volumen de agua destinado a los diferentes usos	Posibilidad de atención de los requerimientos de agua en cada caso con captación pluvial, de acuerdo con el escenario delegacional más favorable	Posibilidad de atención de los requerimientos de agua en cada caso con captación pluvial, de acuerdo con el escenario delegacional menos favorable
Higiene personal	85.41 metros cúbicos	132.22%	30.77%
Lavado de ropa	30.66 metros cúbicos	368.33%	85.71%
Evacuación sanitaria	74.46 metros cúbicos	151.67%	35.29%
Otros usos	28.47 metros cúbicos	396.66%	92.31%
TOTAL	219 metros cúbicos	51.57%	12.00%

Fuente: elaboración propia

La tabla anterior presenta una comparación de los posibles volúmenes de agua demandados en una vivienda ocupada por cuatro personas y las posibilidades de complementar tales requerimientos con el mejor y el peor escenario de captación pluvial calculado en esta investigación.

En el mejor escenario de captación, estimado para la Delegación Magdalena Contreras, el abasto complementario sería del 51.57% del total de los requerimientos de una vivienda con cuatro ocupantes. En el escenario menos favorable, estimado para la Delegación Venustiano Carranza, el abasto complementario sería el 12% del total del volumen requerido. Si el agua de lluvia cosechada se empleará en uno solo de los cuatro diferentes usos considerados en la misma tabla, el abasto complementario significaría porcentajes elevados aún en el caso del escenario menos favorable. Por ejemplo, sería el 85.71% de los requerimientos para el lavado de ropa o el 35.29% de los requerimientos para la evacuación sanitaria. Ni que decir del escenario más favorable, en donde el volumen posible de captación pluvial excede los requerimientos de todos los usos específicos listados.

Si el agua de lluvia se empleara exclusivamente en alguno de los usos domésticos señalados tendría una contribución importante para la satisfacción de necesidades concretas y altamente demandantes de recursos hídricos de acuerdo con los parámetros de consumo actuales.

Como antes advertimos, un problema central para el diseño en el caso de la captación de agua pluvial es su consecuente almacenamiento. Si el agua no se consume, es decir, solamente se almacena conforme se captura, desde luego que requeriría un espacio mayor que el demandado para un volumen que se captura y se emplea de modo continuo.

En la Ciudad de México la temporada de sequía se prolonga durante seis o siete meses, mientras que las lluvias más intensas se concentran en dos o tres meses del año. Esto quiere decir que el sistema de almacenamiento debe funcionar solo como depósito durante una parte del año. Cuando se ha alcanzado un nivel que puede ser utilizado sin convertirse en un volumen deficitario por falta de lluvia, entonces puede emplearse de manera cotidiana.

Este régimen mixto es más factible para el tipo de patrón de precipitación que tiene la Ciudad de México y es congruente con el planteamiento de que el agua pluvial puede funcionar domésticamente como un sistema complementario de abasto.

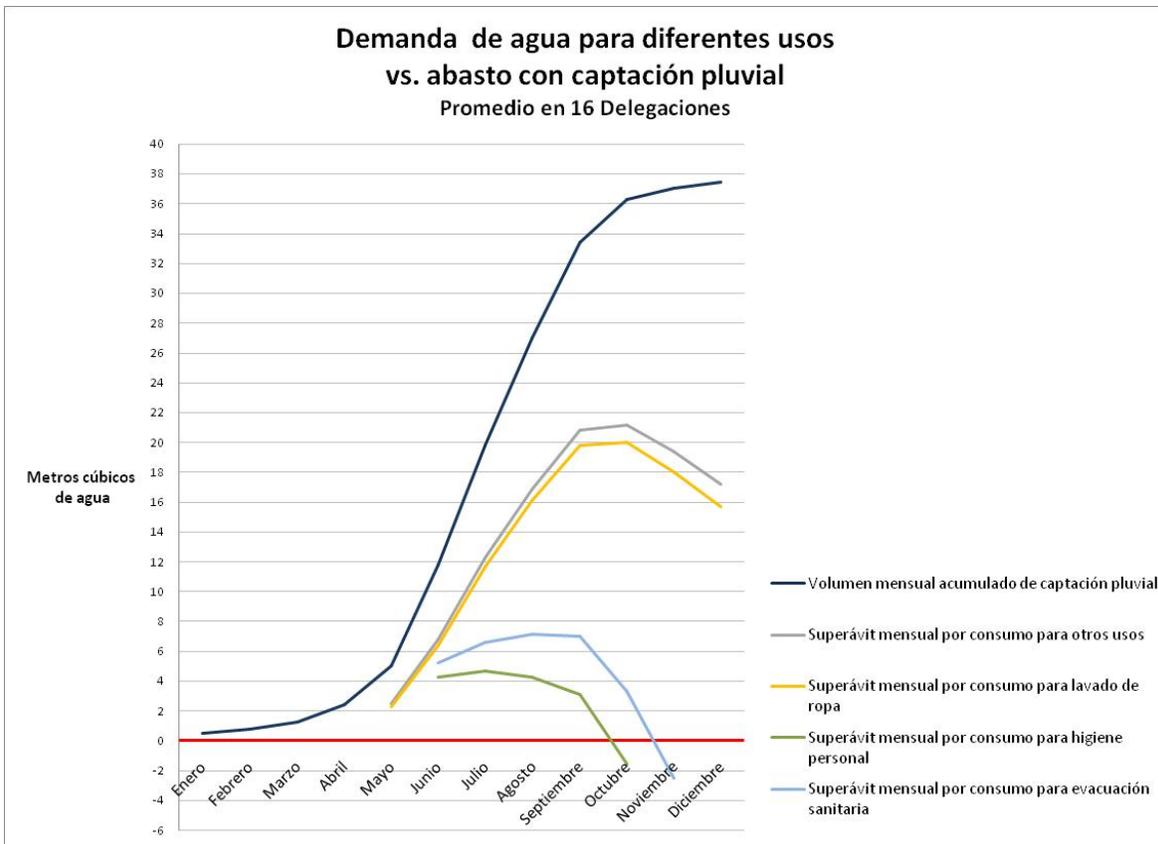
Lo anterior significaría que si el agua de lluvia se empleará en alguno de los usos enlistados en la Tabla 3, podría satisfacer completamente los requerimientos durante algunos meses del año, aún en el escenario menos favorable.

Los diferentes escenarios delegacionales nos dan pauta para suponer diferentes ritmos de consumo de acuerdo a dos factores que no pueden ser modificados por los ciudadanos: el régimen pluvial que tienen en sus domicilios y el tamaño del área de captación en las viviendas ya edificadas; mientras que el tipo de uso del agua pluvial puede ser definido con mayor libertad por los usuarios.

A continuación se presenta una gráfica, a modo de ejemplo, del aprovechamiento de los recursos pluviales en un escenario promedio y comparado con los diferentes usos antes mencionados. En esta gráfica se han hecho las siguientes consideraciones: se ha supuesto un promedio anual de precipitación de 640.6 mm y una superficie de captación de 100 metros cuadrados⁶. Se tomó una escorrentía calculada para un techo de losa de concreto (73%) y un índice de evaporación constante de 20%. Los porcentajes de consumo para los diferentes usos fueron los presentados anteriormente, considerando una vivienda habitada por cuatro personas con los niveles de abasto actuales en la Ciudad de México.

Los resultados de este ejercicio se muestran a continuación:

⁶ Aunque el promedio de la muestra con la que se trabajaron los escenarios delegacionales fue de 131.9 metros cuadrados.



Gráfica 3.

Fuente: elaboración propia

En la gráfica podemos observar, en primer lugar, el proceso de acumulación de agua de lluvia captada en una hipotética situación promedio en la capital del país, representada por la línea en forma de “S” en color azul oscuro. A partir de los meses en que históricamente comienza el período de lluvias (mayo-junio) y hasta los meses de septiembre y octubre el ritmo de captura es acelerado. Al final del año se podría acumular un volumen promedio de aproximadamente 38 metros cúbicos de agua, en el marco de las consideraciones previamente señaladas.

Luego podemos observar el comportamiento de cuatro curvas en forma de “U” invertida y que representan el volumen de agua de lluvia disponible en el caso de que al mismo tiempo que se realizara la captación también se llevara a cabo su consumo, no desde el principio del año, sino a partir del momento en que el volumen acumulado permitiera realizar el consumo sin caer inmediatamente en el desabasto. Cada curva representa un uso distinto. Las curvas con mayor área por debajo de ellas corresponden al volumen almacenado si el consumo es destinado al *lavado de ropa* y a otros usos, mientras que las curvas con áreas más pequeñas expresan el comportamiento del volumen almacenado si el consumo se dirige a la *evacuación sanitaria* o a la *higiene personal*. En los dos primeros casos el consumo se puede iniciar a partir del mes de mayo y se puede prolongar hasta el último mes del año, sin agotar la

reserva de agua acumulada hasta ese momento. En los dos siguientes casos el consumo solo puede comenzar un mes después (junio) y puede prolongarse por cinco meses en el caso del uso para *higiene personal* y seis meses en el caso de *evacuación sanitaria*, pues en ambos casos al término de esos períodos se estaría en una situación deficitaria en cuanto al agua pluvial captada para continuar atendiendo esos usos.

Cabe hacer notar que cada curva representa el uso exclusivo del agua captada en una determinada actividad. En la realidad se podrían hacer combinaciones dependiendo de la infraestructura disponible en los hogares para tratar, potabilizar y reutilizar el agua. Es decir, si el agua se empleara para *higiene personal* después de darle un tratamiento de potabilización y posteriormente se empleará en la *evacuación sanitaria* o en usos que no demanden un tratamiento exhaustivo, entonces el agua de lluvia cumpliría una función aún de mayor utilidad que la descrita en la gráfica.

Ahora bien, en la gráfica se ha intentado mostrar una situación hipotética promedio para toda la Ciudad de México; pero como antes se hizo evidente, la ciudad presenta condiciones climáticas y materiales diferenciadas a lo largo y ancho de su territorio. Con la finalidad de mostrar esas diferencias en términos del análisis antes expuesto se presenta un conjunto de escenarios por Delegación política en el Anexo a este capítulo.

Con lo hasta aquí expuesto se pueden formular un conjunto de criterios como guía para el diseño de sistemas de captación y aprovechamiento pluvial en viviendas de la Ciudad de México. Esos criterios los hemos sintetizado como sigue:

Área de captación

El área destinada a la captación tiene entre sus principales factores las dimensiones de la superficie y los materiales de su construcción. Una superficie de 100 metros cuadrados puede proporcionar un volumen de abasto complementario durante cinco meses del año para usos de agua de carácter intensivo con los regímenes de lluvia menos abundantes de la ciudad y para familias pequeñas (cuatro integrantes), de acuerdo con los volúmenes actuales de consumo.

Como antes advertimos, la ampliación del área de captura debe ser considerada en relación a dos factores: la viabilidad del acceso al espacio público y la posibilidad de incrementar el espacio del área de almacenamiento.

En el caso de que las familias dispongan de superficies de captación menores se pueden explorar alternativas como la captación en superficies de uso común en las viviendas o la captación pasiva. Desde luego que esta última posibilidad demanda una infraestructura adecuada de tratamiento o potabilización debido a las mayores fuentes de contaminación a la que se expone el agua en los suelos.

Almacenamiento

Un aspecto central del sistema en su conjunto es el área que puede destinarse al almacenamiento del agua pluvial ya capturada. Como hemos visto en los escenarios descritos, los requerimientos de volumen van desde los 7 metros cúbicos hasta casi 50 metros cúbicos. Se trata de un volumen extraordinario para las dimensiones convencionales de la vivienda urbana. En caso de no lograrse un volumen adecuado de almacenamiento los sistemas domésticos estarían subutilizando el recurso disponible o en su caso, podría provocarse un ritmo de consumo demasiado acelerado que restaría eficacia a la captación y causaría desperdicios del agua. Frente a esas situaciones podrían explorarse posibilidades como las siguientes: 1) un subsistema de almacenamiento a nivel de piso conectado por bombeo a un subsistema de almacenamiento en azoteas y a un tercer subsistema de almacenamiento en interiores de la vivienda, de modo tal que el traspaso regular del agua desde el primer subsistema a los otros libere espacio para los siguientes suministros de agua durante la temporada de lluvias⁷; o bien, 2) subsistemas de captación en cada vivienda individual interconectados a áreas de almacenamiento colectivas o sistemas mixtos, es decir, parte del almacenamiento en cada vivienda y parte del almacenamiento en depósitos colectivos.

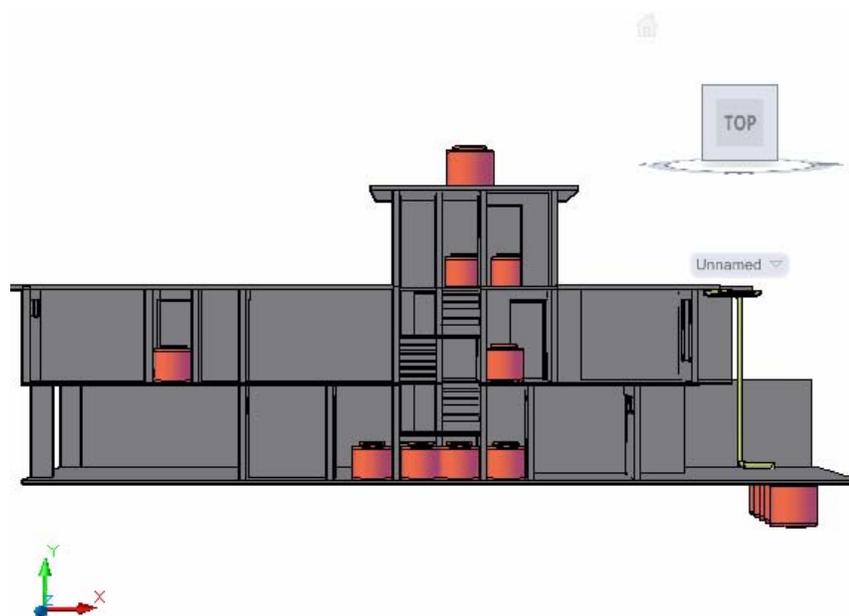


Figura 18. Subsistema doméstico de depósitos internos

⁷ Este subsistema se caracteriza por la movilidad del agua mediante un mecanismo de bombeo y su operación debe quedar vinculada a la posibilidad de auto-regulación del propio sistema. Es decir que el sistema debería, idealmente, operar automáticamente el abasto de agua pluvial a las demandas específicas asignadas cuando se alcance un nivel de almacenamiento pertinente.

Distribución del agua pluvial captada hacia los espacios de uso

Como en las líneas anteriores se advirtió, el sistema de almacenamiento tiene una estrecha relación con el sistema de distribución, pues de su mutua articulación puede depender el liberar espacio disponible para el almacenamiento de agua recién captada. El mecanismo para lograrlo debe ser automático, es decir, que prescindiera de la intervención del usuario para su accionamiento cotidiano y que proporcione avisos sobre su estado cuando los niveles de abasto o de desabasto sean críticos.

Fundamentalmente, el sistema de distribución consta de un mecanismo de bombeo desde el área de depósito principal hacia áreas de depósito secundarias o de pre-uso.

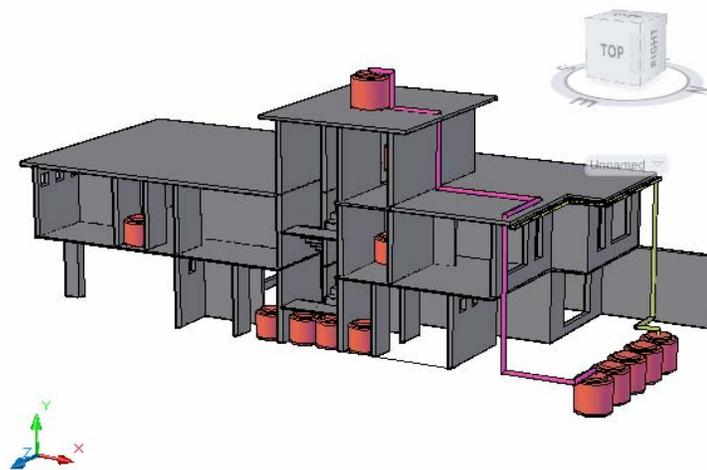


Figura 19. Sistema de canalización y conducción a depósito superior

Se propone que estos sistemas de distribución (bombeo) pueden ser accionados mediante un sistema de energía solar fotovoltaica, que posibilitaría un impacto más reducido de la operación del sistema sobre las demandas energéticas habituales en las viviendas. En otros términos, la utilización de una fuente de energía alternativa implicaría inversiones que serían recuperadas en el mediano plazo con ahorros sobre el consumo de fuentes convencionales.

La instalación de depósitos de pre-uso puede ser una alternativa ante la falta de espacio físico para la instalación de grandes contenedores de almacenamiento pluvial. A su vez, el bombeo y la consecuente circulación del fluido constituye un mecanismo para apoyar el mantenimiento de los recursos hídricos previniendo un estado pasivo o de estancamiento y así, evitar la generación de contaminantes.

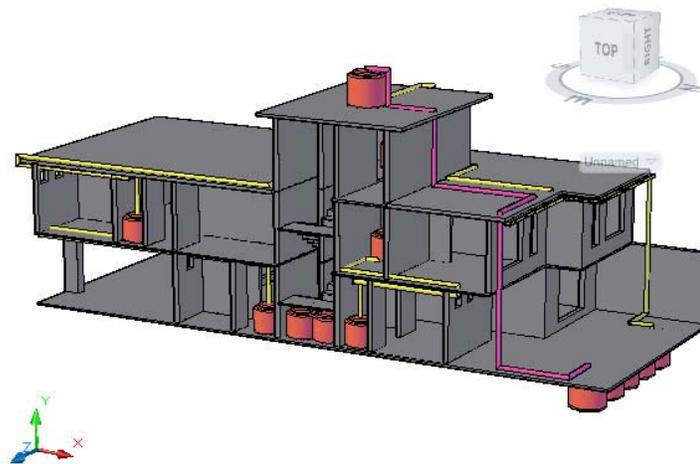


Figura 20. Subsistema de conducción por gravedad a depósitos internos

Uso de los recursos pluviales

La utilización del agua pluvial capturada es, posiblemente, uno de los aspectos centrales del sistema desde el punto de vista del ciudadano. En cuanto a esta temática es importante subrayar dos aspectos.

Por una parte el uso del agua pluvial depende de su nivel abasto. En temporada de estiaje el uso de agua pluvial mermará hasta la nulidad. Durante este período el agua que se utilizará será la proveniente de la red domiciliaria. Cuando se tenga agua pluvial almacenada su utilización será reglada de acuerdo con el tipo de empleo predeterminado. Este proceso de consumo regulado puede quedar bajo el control y supervisión directa del usuario, mediante un subsistema mecánico manual que permita la combinación del agua proveniente de la red domiciliaria con el agua pluvial o sólo el empleo de una de ellas. La opción frente al subsistema manual es un subsistema automático que autoregule el paso de agua pluvial mediante la detección de un determinado nivel de almacenamiento que lo haga factible. Existen opciones entre los productos existentes para este tipo de necesidades. Por ejemplo, la empresa alemana DWC ha desarrollado sistemas automáticos para la combinación y restricción de fuentes de abasto a nivel doméstico⁸.

El segundo aspecto a considerar es el empleo de dispositivos ahorradores en el consumo doméstico del agua. Estos dispositivos se han implementado en los últimos años y su desarrollo marca una tendencia en el diseño para los instrumentos empleados en el consumo del agua a nivel doméstico. Su aplicación va desde la higiene personal hasta la evacuación sanitaria, pasando por la limpieza de ropa.

⁸ Ver la página web: <http://www.dwc-water.com/>

En términos del diseño de los dispositivos ahorradores de agua pueden estar orientados de dos formas en cuanto a la interacción con los usuarios. Puede tratarse de dispositivos que desincentiven el consumo de agua porque alertan sobre el consumo excesivo mediante algún mecanismo de medición y alarma o bien, puede tratarse de dispositivos que permiten un consumo restringido de recursos hídricos. En este último caso la eficacia y la eficiencia de tales dispositivos es un factor crítico para la satisfacción del usuario. Ambos sentidos del diseño de los dispositivos ahorradores es compatible con el empleo de recursos hídricos pluviales y su presencia es una necesidad en el marco de la definición de los recursos hídricos pluviales como fuente complementaria de abasto doméstico.

Las normas mexicanas vigentes aplicables a estos dispositivos se enlistan a continuación:

- NOM-002-CNA-1995 (Tomas domiciliarias para abastecimiento de agua potable)
- NOM-012-SCFI-1993 (Medición de flujo de agua en conductos cerrados de sistemas hidráulicos)
- NOM-008-CNA-1998 (Regaderas empleadas en el aseo corporal)
- NOM-009-CNA-2001 (Inodoros para uso sanitario)
- NOM-010-CNA-2000 (Válvula de admisión y válvula de descarga para tanque de inodoro)

El tratamiento, potabilización y purificación de los recursos hídricos pluviales

El tipo de uso a la que se destinará el agua pluvial captada será un factor determinante para el sistema de tratamiento implementado. No obstante, un sistema de filtración básico para retener las partículas mayores es necesario en todos los sistemas de almacenamiento, así como la implementación de un mecanismo que proporcione un movimiento de agitación al agua almacenada. El mecanismo de bombeo podría apoyar esta última función.

Ninguno de los niveles de tratamiento que se puede aplicar al agua captada debe ser descartado *a priori*, en virtud de que las necesidades y posibilidades pueden cambiar a lo largo del tiempo. De hecho, no se duda de que esas necesidades y posibilidades se incrementen en la medida de la eficacia con que operen los sistemas de captación y almacenamiento.

S.V.R. Rao presenta en un artículo titulado “Urban and semiurban planning in developing countries from a water and waste water treatment point of view”⁹ una recomendación a favor del tratamiento doméstico del agua utilizada en razón de sus

⁹ Ver el texto: Rose. J (edit); *Water and environment*, Gordon and Breach Science Publishers, Estados Unidos de América, p.433-445.

costos económicos y su efectividad relativa, aunque parte de reconocer que en los países subdesarrollados estos procesos se han implementado de modo lento y gradual.

Costos del sistema de captación pluvial en relación con los costos de abasto en la red domiciliaria

**Costos del sistema de captación pluvial
Tabla 4**

	Costos por equipamiento	Período de vida útil del equipo	Costo anual por equipamiento:	Cantidad de agua cosechada durante un año:	Costo por metro cúbico de agua pluvial capturada a nivel doméstico
Sistema doméstico de captación y aprovechamiento pluvial	Subsistema de canalización:	Subsistema de canaletas y ductos de conducción: 5 años	2,000/5= 400 pesos	Aproximadamente 37 metros cúbicos (promedio de captación pluvial en 100 metros cuadrados de área de cosecha)	72.97 pesos por metro cúbico almacenado
	Subsistema de almacenamiento:	Depósito de 1,100 lts.: 5 años (5 depósitos)	1,600/5= 320 pesos x 5 depósitos = 1,600 pesos		
	Subsistema de limpieza o purificación:	Purificador de rayos ultravioleta 5 años Filtro de carbón activado: 5 años, Uso principal higiene personal	5,500/5 = 1,100 pesos 1,500/5 = 300 pesos		
	Subsistema de bombeo:	Bomba eléctrica de 1hp: 5 años	2,000/5 = 400 pesos		
	Costo promedio	Subsistemas integrados			

Diversas estimaciones del costo de abasto en la red domiciliaria en la Ciudad de México

Tabla 5

Sistema de extracción	Costo por metro cúbico
Manantiales en el Distrito Federal (año 2001)	18 centavos
Pozos del Valle de México y Lerma (año 2001)	27 centavos
Pozos de Tenayuca, Ecatepec y Tultitlán (año 2001)	32 centavos
Sistema Cutzamala (año 2001)	53 centavos
Costo del abasto del agua para la Ciudad de México y su Zona Metropolitana, estimación de Eduardo Reyes del Centro de Investigación para el Desarrollo, A.C. (2009)	13.5 pesos

Al comparar los datos expuestos en las dos tablas anteriores podemos ver que el costo por la captación pluvial es más alto que el costo por el abasto proveniente de las

fuentes actualmente en uso. Las razones que explican el costo de la captación pluvial son el área de referencia para la superficie de captación, 100 metros cuadrados, que se encuentra por debajo del promedio detectado en el muestreo realizado (139 metros cuadrados). Un segundo aspecto que es factor de incremento en el costo por captación pluvial es que se ha asignado un período de vida útil de 5 años a los diferentes componentes del equipo. No obstante, con el mantenimiento y uso adecuado, los diferentes componentes del equipamiento pueden tener periodos de vida mucho más largos. Otro aspecto que es importante mencionar y que no se ha considerado en las estimaciones de costos se refiere al impacto ambiental generado al extraer recursos hídricos de cuencas externas y conducirlos a la Cuenca del Valle de México. Esto constituye también un costo, que en el caso de la captación pluvial dentro de la cuenca es menor en virtud de que se reduce el impacto sobre el ciclo hidrológico natural.

4.5 Conclusión

La captación y uso sustentable del agua de lluvia a nivel doméstico en la Ciudad de México tiene tres determinantes principales: el área disponible para realizar la captación, las características del régimen pluvial del territorio de la ciudad y los hábitos y patrones de consumo hídrico de los habitantes de la misma.

En el esquema siguiente se muestra la relación de estos tres factores principales:

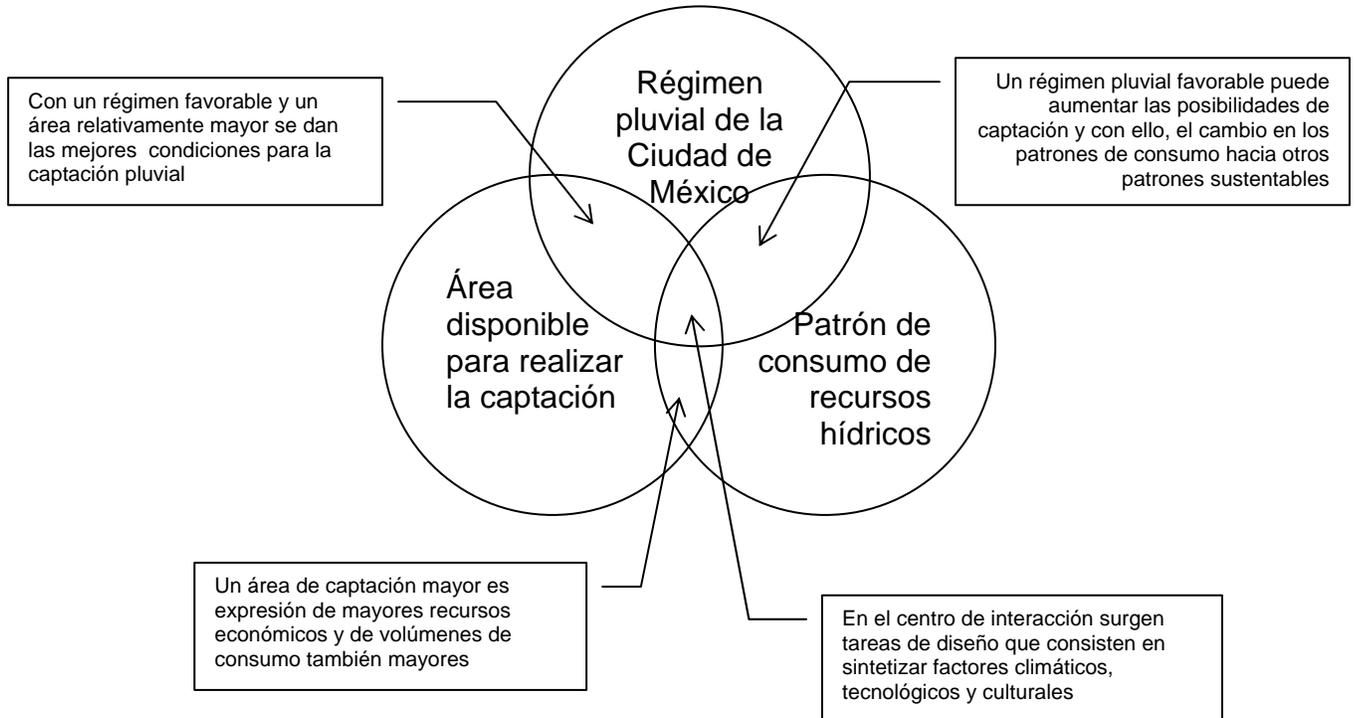


Figura 21. Factores principales en la definición de criterios para la captación pluvial

El diseño tiene una tarea importante que en el diagrama se representa en la parte central del mismo, es decir, en el área de interacción de los tres factores que hemos definido como determinantes para los sistemas de captación pluvial doméstica en la ciudad. La función del diseño implica el desarrollo proyectual de sistemas de captación, almacenamiento y uso, coherentemente integrados en estas tres funciones.

Lo anterior no resuelve el problema; solamente lo plantea y delimita en términos generales. Un principio de solución de diseño a la problemática planteada por la interacción de los tres factores necesariamente debe concretarse en un adecuado subsistema de almacenamiento. Este subsistema está en el centro del flujo del recurso hídrico captado y su utilización como fuente de abasto complementaria o más.

Desde una visión convencional el problema es irresoluble. Sencillamente la falta de espacio para la cantidad de recursos hídricos pluviales potencialmente captables no tiene una solución excavando super-cisternas en viviendas que no disponen de espacio para ello. Desde el punto de vista de sus restricciones técnicas el problema no tiene una solución sencilla.

Un enfoque diferente podría avanzar por dos vertientes o alternativas de posible solución:

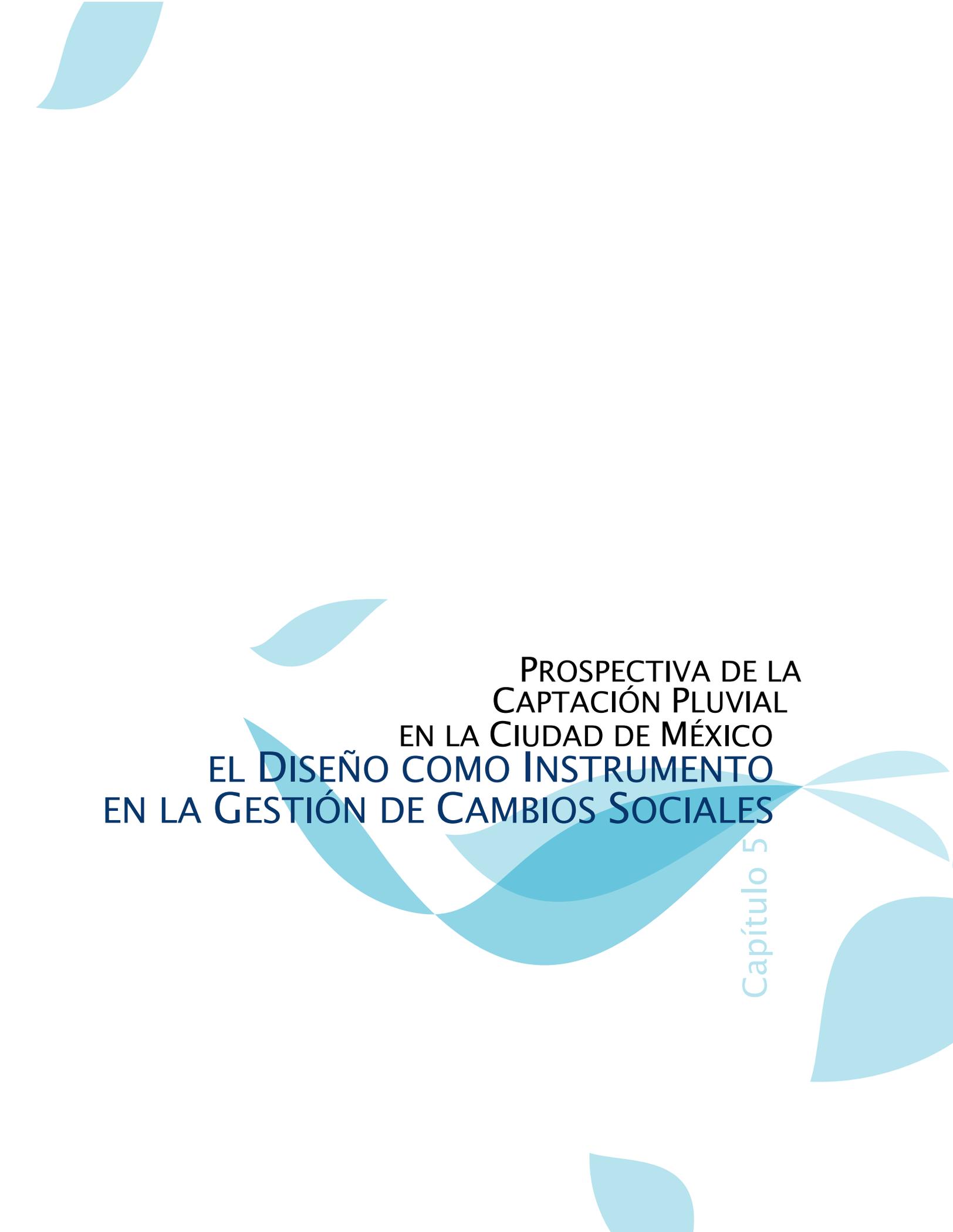
1. Desarrollo de un subsistema de almacenamiento distribuido o segmentado. Esto quiere decir que desde un depósito principal (ubicado en la parte más baja de las viviendas) se hace pasar el agua a un conjunto de depósitos ubicados en techos y azoteas mediante bombeo impulsado con energía limpia (fotovoltaica, por ejemplo). De ahí, por gravedad, el agua se conduce a otros depósitos instalados en los lugares más cercanos al ámbito de uso (baños, cuartos de servicio, cocinas, patios, etc.).
2. Desarrollo de un subsistema de almacenamiento colectivo en calles de barrios o colonias, a partir de la interconexión de los sistemas domésticos privados de captación y a su vez, conectado a un sistema de distribución hacia los domicilios. Esta alternativa demanda la intervención material del espacio público vecinal y la coordinación colectiva de los ciudadanos en su gestión cotidiana.

Las propuestas anteriores no se excluyen y en determinadas circunstancias podrían ser complementarias. La idea de diversificar el número de depósitos receptores del agua pluvial parte de la necesidad de lograr mayor eficiencia para las posibilidades de captación y lograr mayor eficacia para la atención de las necesidades de consumo de los habitantes de la ciudad.

Hasta aquí hemos tratado de mostrar la viabilidad del sistema de captación y uso del agua a nivel doméstico en la Ciudad de México, desde el punto de vista del diseño. Pero esto no es suficiente, en virtud de la necesidad de hacer un consumo hídrico

sustentable. En este sentido las consideraciones en torno de la continuidad del ciclo hidrológico no pueden ser pasadas por alto.

Una vez que el agua pluvial ha sido utilizada (y posiblemente mezclada con el agua proveniente de la red domiciliaria) es necesario desarrollar su tratamiento. Este también puede darse a nivel doméstico, so pena de incrementar los costos que recaen en cada familia. En razón de lo anterior, lo más conveniente es desarrollar el tratamiento regionalmente, lo cual implica una gestión local del proceso de recuperación de aguas servidas y el establecimiento de criterios de uso del agua en la vivienda que permitan mantener el funcionamiento adecuado de los sistemas de tratamiento comunitario.



PROSPECTIVA DE LA
CAPTACIÓN PLUVIAL
EN LA CIUDAD DE MÉXICO
EL DISEÑO COMO INSTRUMENTO
EN LA GESTIÓN DE CAMBIOS SOCIALES

Capítulo 5

Capítulo 5
**PROSPECTIVA DE LA CAPTACIÓN PLUVIAL
EN LA CIUDAD DE MÉXICO**
*EL DISEÑO COMO INSTRUMENTO
EN LA GESTIÓN DE CAMBIOS SOCIALES*

5.1 Introducción

En este capítulo se expondrá una estrategia de prospectiva desarrollada a partir de un enfoque de diseño para alcanzar un escenario futuro en el que la mayor parte de las viviendas de la Ciudad de México dispongan de un sistema de captación pluvial.

En primer lugar se presentarán un conjunto de escenarios en los que el diseño juega un papel de relevancia en relación con la temática que venimos se ha expuesto. En función de la discusión planteada en esta primera sección se presentan los resultados de un par de entrevistas realizadas a expertos en la materia para pasar, posteriormente, a una revisión de los roles de los diferentes actores sociales en la construcción de un mejor futuro para el abasto y consumo de recursos hídricos pluviales.

5.2 Escenarios futuros

Un objetivo importante al desarrollar un análisis de prospectiva es argumentar un conjunto de escenarios a los que se puede arribar después de un período de tiempo. De las diversas técnicas existentes para la generación de escenarios se ha preferido una que no demanda gran cantidad de variables en juego.¹ Esta técnica tiene diversos

¹ Para una exposición de la aplicación de la relación entre diseño y prospectiva ver el siguiente artículo: Hohmann, Peter y Jonas Wolfgang; *Design scenario building: an integrative process model for projective design tasks* (mimeografiado).

nombres y aquí la llamaremos “Diagrama de fuerzas”. En esta técnica se interrelacionan dos fuerzas o tendencias que pueden generar cuatro situaciones o escenarios bien diferenciados entre sí.

Para generar estos escenarios se han seleccionado dos tendencias claras que en la actualidad se manifiestan y que probablemente continúen presentes en el futuro.

- 1) Por una parte la tendencia al cambio tecnológico, fenómeno que ha transformado la vida cotidiana y que, desde luego, ha sido una fuerza de gran influencia para generar criterios de intervención del diseño.
- 2) Por otro lado, la tendencia a la disminución de los recursos hídricos disponibles en la Cuenca del Valle de México se irá acentuando conforme el patrón de consumo actual no se modifique y la presión demográfica se incremente.

En el siguiente esquema se pueden revisar los rasgos principales de cuatro escenarios generados:



Figura 3. Generación de Escenarios

En el *Escenario I* se presenta una combinación de bajo desarrollo tecnológico y abasto oportuno de recursos hídricos, algo difícil de lograr a menos que se cambien los patrones de consumo actual. Esto podría ser resultado de tarifas más altas que influyan para reducir los volúmenes actuales de consumo, pero esto no generaría una situación más equitativa en el caso de las familias que no disponen de un abasto regular ni para los nuevos habitantes que se adicionen a la población. La expansión de los asentamientos urbanos en este escenario generaría mayores conflictos para garantizar el oportuno abasto de agua que, en el marco de un bajo desarrollo tecnológico, un consumo ineficiente y poca presión económica, restaría condiciones favorables al establecimiento de reglamentos para regular la urbanización.

En el *Escenario II* se conjuga una situación de escasez de recursos hídricos con bajo desarrollo tecnológico. Se trataría del escenario más negativo pero no por ello menos posible. Si no cambian los patrones de consumo actuales y si no se dan avances tecnológicos para la captación hídrica desde fuentes alternas, se estaría reforzando la probabilidad de la configuración de un escenario como el descrito.

El *Escenario III* es el resultado de un desarrollo tecnológico para la captación y consumo del agua pluvial en un contexto en el que prevalece la escasez de recursos hídricos. En este escenario la presión para un desarrollo tecnológico que posibilite pasar de un aprovechamiento pluvial como fuente complementaria a ser una fuente regular de abasto sería un fenómeno muy significativo pero poco probable. La creciente urbanización y densificación demográfica dificultaría el que estos cambios tecnológicos ocurrieran con la suficiente oportunidad.

En el *Escenario IV* se conjugan los desarrollos tecnológicos con una situación de abasto oportuno de recursos hídricos. Aquí la captación pluvial juega un papel muy importante para sustentar este abasto oportuno, sin que eso necesariamente implique que el agua de lluvia sea la fuente principal de abasto. En este escenario los patrones de consumo generan una menor presión sobre los recursos hídricos y se desarrolla una tendencia a la reducción de los volúmenes de consumo.

El tema central con vista al futuro en relación al diseño es el conjunto de estrategias que permitirán una reducción del volumen de agua consumido sin afectar el confort de los usuarios. Entre las diferentes estrategias a seguir se encuentran:

- El diseño de dispositivos de consumo con mayor capacidad de ahorro
- El diseño de dispositivos que permitan eliminar el consumo de agua en tareas domésticas
- El diseño de dispositivos de uso de agua integrados con sistemas de medición y alerta de consumo impropio

El diseño tiene múltiples roles en la configuración de estos escenarios. Los productos de diseño juegan un papel determinante en el cambio de los patrones de consumo favoreciendo la reducción de los volúmenes domésticos demandados de agua. A su vez, estos productos de diseño constituyen la infraestructura que se instalaría en las viviendas para la captación y el almacenamiento del agua pluvial, tecnologías que se deben caracterizar por su flexibilidad para ser adaptadas a las más diversas condiciones habitacionales. Estas múltiples condiciones de la habitación pueden ser “visualizadas” en dos grandes ámbitos: por una parte el ámbito de la vivienda ya edificada a la que se tendrían que acoplar los sistemas de captación y aprovechamiento pluvial; mientras que por otro lado está el ámbito del hábitat por construir, que en su diseño arquitectónico debe contemplar la integración de las funciones de captación y aprovechamiento de los recursos pluviales. Luego, a partir de las diferencias socioeconómicas de los habitantes y propietarios de los inmuebles se puede ver un amplísimo abanico de situaciones económicas diversas, y en consecuencia, de sofisticación en los medios tecnológicos empleados para alcanzar las funciones señaladas.

Desde el diseño se pueden generar criterios para el desarrollo tecnológico en el caso concreto de las tecnologías de captación, almacenamiento y aprovechamiento de los recursos hídricos pluviales. Estos criterios son de índole conceptual (problematización de las diversas situaciones de captación doméstica urbana y desarrollo de enfoques innovadores), tecnológico (materiales, procesos de manufactura de elementos, integración de sistemas domésticos en sistemas vecinales) y organizativo (criterios de gestión con relación al consumo y desecho o tratamiento del agua pluvial).

5.3 La opinión de los expertos

En el desarrollo de la presente investigación se realizaron entrevistas a dos distinguidos expertos mexicanos en la captación pluvial: al Dr. Manuel Anaya del Colegio de Postgraduados y al Doc. Arturo Gleason, de la Universidad de Guadalajara. Ambos han realizado investigación en el campo de la captación pluvial y tienen participación en los foros internacionales de discusión sobre el tema.

Nuestros entrevistados ubicaron los siguientes aspectos como aquellos principales obstáculos para la implementación de los sistemas de captación pluvial en las ciudades:

- Falta de conocimiento sobre la tecnología por parte de la población
- No existe una legislación que motive la captación de agua de lluvia
- El modelo arquitectónico de la vivienda en la Ciudad de México no ha contemplado la captación pluvial para su aprovechamiento

- Falta organización social y voluntad y decisión política de las autoridades gubernamentales para desarrollar la captación pluvial
- Falta de fuentes de financiamiento

En relación con la actual preocupación por la escasez de agua en la Ciudad de México y en el país los investigadores coincidieron en reconocer que no se trata de un tema pasajero y que las acciones que se tomen ahora serán determinantes para el futuro. Para el Dr. Gleason el cambio climático es un fenómeno cuyos efectos implican que el tema de la provisión de agua sea una constante en la agenda pública.

En cuanto a la actitud de las autoridades gubernamentales la opinión de los expertos fue dividida. En ambos casos reconocieron que las autoridades gubernamentales tienen preocupación sobre la temática de la escasez y calidad del agua, pero difirieron en el grado con el que los gobiernos muestran interés en la captación pluvial. Desde la perspectiva del Dr. Gleason las autoridades gubernamentales dan prioridad al desarrollo de las denominadas “macro-obras” porque implican inversiones mayores a las necesarias en proyectos como el de la captación pluvial doméstica.

Continuando con esta perspectiva social, para ninguno de los investigadores entrevistados el tema de la pobreza económica significaría un obstáculo para imposibilitar la implementación de sistemas de captación pluvial. Por el contrario, al tratarse de una tecnología caracterizada por su sencillez sería un aliciente para su introducción, aún en condiciones económicas desfavorables.

La posición de México en relación a la difusión e implementación de la captación pluvial fue caracterizada de manera diferente por cada uno de los investigadores entrevistados. Por una parte se reconoce que México tiene poco desarrollo en comparación con otros países, como Australia o la India, en cuanto a la captación pluvial urbana, pero también se señala que el modelo de captación, purificación y venta desarrollado en el Centro Internacional de Demostración y Capacitación en Aprovechamiento del Agua de Lluvia del Colegio de Postgraduados (CIDECALLI-CP) es único en el mundo. Se debe reconocer que el atraso en México tiene que ver con la ausencia de una política pública en atención a la temática, cosa que sí ha ocurrido en otros países.

Los investigadores asignan al gobierno un papel relevante en la promoción de los cambios requeridos para lograr una amplia implementación de sistemas de captación, pero también se reconoce la influencia de las instituciones de educación superior en el desarrollo tecnológico y la sociedad civil en cuanto al cambio cultural.

Para el Dr. Manuel Anaya el proceso de implementación urbana de sistemas de captación y aprovechamiento pluvial implica dos etapas. En la primera, la captación se

implementaría para suplir un 20% del consumo a través de sistemas de almacenamiento colectivo.

En la segunda etapa se podría pensar en la captación a nivel familiar con sistemas de captación, almacenamiento y purificación a nivel de la vivienda unifamiliar en combinación con sistemas comunitarios. Esta estrategia también implica el desarrollo de grandes sistemas de almacenamiento empleando terrenos como barrancas, minas de arena abandonadas y laderas en la zona circundante al Valle de México. Por su parte, para el Dr. Gleason hay un conjunto de áreas de interés en un escenario de escasez de agua:

- 1) el desarrollo de medios tecnológicos que permitan la ampliación de las áreas de captura,
- 2) la accesibilidad económica de los usuarios a sistemas de purificación y
- 3) el dimensionamiento adecuado del depósito de almacenamiento.

Un factor que puede promover el desarrollo de la captación pluvial es la diversificación de los usos en los que se puede emplear el agua de lluvia. Al tratarse de un agua con menos contenido de sales puede resultar más atractiva para su utilización en procesos en la industria, en opinión del Dr. Anaya.

Ambos investigadores coinciden en la factibilidad que en el futuro la captación pluvial se puede convertir en parte fundamental del modelo de abasto hídrico de centros urbanos como la Ciudad de México. El incremento de la vivienda en los años futuros da a la implementación de los sistemas de captación pluvial un incentivo en cuanto a su rentabilidad por parte de los inversionistas.

Una temática de relevancia es el destino del agua pluvial que ha sido utilizada y que debe ser reintegrada al ciclo hidrológico, o en su defecto, desechada. Para el Dr. Gleason la opción es la implementación de sistemas de filtrado que permitan reducir el nivel de contaminación de las aguas pluviales servidas y repensar el modelo de desecho de las aguas servidas en los grandes centros urbanos.

La opinión de los expertos ha significado una contribución de gran peso en esta investigación. La visión de que la captación pluvial puede constituirse en una alternativa de abasto se fundamenta en su trabajo de desarrollo tecnológico y en su activa promoción en el cambio de visión de los funcionarios públicos. También los puntuales señalamientos sobre las prioridades a desarrollar en la investigación han sido integrados en este trabajo.

No obstante, es preciso señalar un aspecto sobre el que no se comparte la opinión de los expertos referidos. Para ambos, especialmente para el Dr. Anaya, la captación

pluvial puede llegar a convertirse en una fuente de abasto por sí sola suficiente del agua demandada a nivel doméstico en centros urbanos como la Ciudad de México. Del análisis presentado en el capítulo anterior hemos arribado a una conclusión diferente en función de que la captación se realice desde las propias viviendas. De mantenerse los actuales niveles de consumo doméstico urbano, el agua de lluvia puede representar una fuente de abasto complementaria, de gran valor en un escenario de escasez. Eso significa que es prioritario el cambio en los patrones de consumo hídrico urbano.

Esto último establece un punto de coincidencia con los expertos: el papel asignado a los factores culturales en relación con el consumo hídrico. En este terreno el diseño juega un papel preponderante.

5.4 Participación de actores

La necesidad de implementar cambios hacia el futuro vuelca nuestra atención sobre el papel que desempeñen los diferentes actores involucrados en el tema.

Los actores que intervendrán en el diseño de esta estrategia están constituidos por amplios grupos sociales o instancias organizadas formalmente y que tienen una presencia en la actualidad. Esto significa que no se prevé la aparición de nuevos actores en un escenario futuro, aunque sí nuevos roles para los actores reales ya existentes.

En la siguiente sección se presentan los esquemas que han apoyado el análisis de las interacciones entre los actores identificados, que se describirán con mayor precisión. Para realizar este análisis se han empleado los instrumentos propuestos por Nicola Morelli en su artículo “Social Innovation and New Industrial Contexts: Can Designers Industrialize Socially Responsible Solutions?”² En ese texto Morelli presenta una reflexión en torno de las tareas del diseñador en la sociedad contemporánea, de cara a los cambios sociales, económicos y tecnológicos, en estos años de principio del siglo XXI.

Para desarrollar su argumentación, Morelli expone un conjunto de instrumentos metodológicos para el análisis de escenarios en los que se posibilite estructurar soluciones a complejas problemáticas sociales. Consideramos que el enfoque de Morelli, y los instrumentos que sugiere, son útiles para analizar las interacciones entre los actores que intervienen en la captación pluvial doméstica urbana. El primer análisis se ha realizado a partir de la identificación de actores y un primer ejercicio para establecer las interrelaciones principales entre ellos:

² Morelli, Nicola; *Social Innovation and New Industrial Contexts: Can Designers Industrialize Socially Responsible Solutions?*, en *Design Issues*, Volume 23, Num. 4, MIT, MA, Autumn 2003.

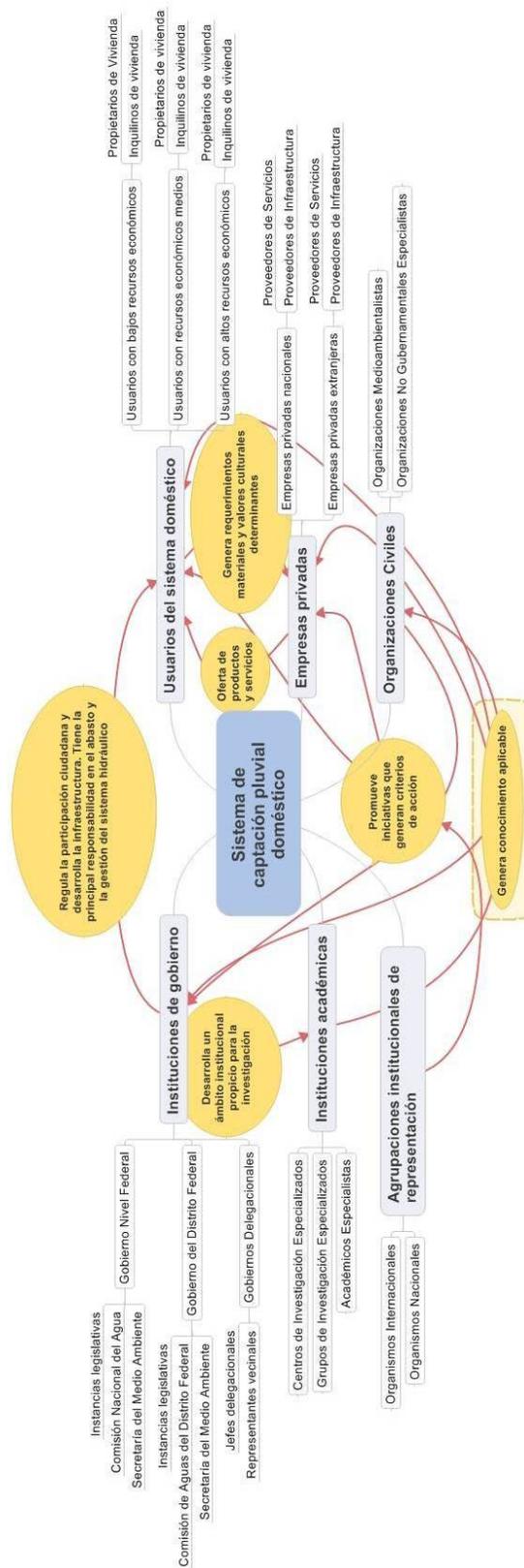


Figura 1. Diagrama para la identificación de actores e interrelaciones básicas

A partir del diagrama anterior se ha configurado una matriz de motivaciones. En este cuadro se establecen las expectativas que cada actor (renglones) genera en su relación con otros actores involucrados (columnas) y en relación con el mismo sector de actores. (Recordemos que estos actores representan agrupaciones de individuos y/u organizaciones).

Matriz de motivaciones

 Esperanza de cada actor con respecto a los otros	Usuarios del sistema doméstico	Empresas privadas	Organizaciones civiles	Agrupaciones institucionales oficiales	Instituciones académicas	Instituciones de gobierno
Usuarios del sistema doméstico	Uso eficiente y responsable de los recursos hídricos	Productos adecuados a las necesidades específicas en las viviendas	Apoyo en la instrumentación de sistemas, privados y colectivos	Atención a los problemas locales de la captación	Generación de documentos y manuales adecuados a los requerimientos locales	Gestión eficiente, apoyo económico
Empresas privadas	Demanda creciente de productos para los sistemas de captación pluvial. Información oportuna de intereses y necesidades	Competencia equilibrada	Apoyo en la construcción de un entorno cultural favorable para el desarrollo de sus actividades comerciales	Coparticipación en el desarrollo de mercados. Políticas internacionales de apertura	Desarrollo de conocimiento y formación de especialistas en la temática	Marco regulatorio imparcial. Coparticipación en el desarrollo del mercado
Organizaciones civiles	Sociedad informada y comprometida con principios de corresponsabilidad, sustentabilidad y consumo responsable	Prioridad a los principios de la sustentabilidad antes que a los objetivos de rentabilidad financiera	Construcción de redes solidarias en torno de la problemática	Foros permanentes de discusión. Organización local y regional	Orientación académica hacia los problemas de la sustentabilidad	Ser incluidos en el diseño de políticas públicas. Auténtica atención hacia la sustentabilidad
Agrupaciones institucionales oficiales	Audiencia atenta a las acciones y políticas que surgen de los foros. Retroalimentación informativa. Difusión de experiencias	Participación constante y corresponsabilidad en el desarrollo de políticas	Participación constante, intercambio de experiencias, difusión de propuestas y políticas	Acción coordinada a nivel internacional para el intercambio de información, la transferencia de tecnología y el establecimiento de objetivos conjuntos	Participación en la discusión internacional y formación de liderazgos	Comprendan las directrices internacionales en la elaboración de las políticas nacionales y locales
Instituciones académicas	Participación ciudadana en la difusión informativa y tecnológica. Gestión solidaria de los sistemas de captación, almacenamiento y uso	Vinculación con la academia para el desarrollo de proyectos que atiendan los requerimientos de la sociedad como conjunto	Implementación piloto de innovaciones y aplicación de tecnologías. Apoyo en la construcción de un entorno cultural más favorable	Debate científico. Vinculación internacional. Intercambio de experiencias	Establecer líneas de investigación compartidas sobre el tema. Intercambio permanente de conocimiento y de avances en la investigación. Creación de redes académicas	Presupuestos para la investigación. Política orientada por criterios fundamentados en el análisis académico
Instituciones de gobierno	Reducción de la presión sobre fuentes de abasto de agua convencionales. Cumplimiento de legislación	Cumplimiento del marco regulatorio. Diversificación de la oferta de productos y atención a diversos segmentos de mercado	Participación en la resolución de conflictos, en el análisis de políticas públicas	Mecanismos de reconocimiento a la gestión gubernamental en el ámbito internacional y regional. Coparticipación en la elaboración de políticas	Desarrollo de conocimiento, evaluación de experiencias, análisis de problemáticas locales, regionales e internacionales, desarrollo de tecnología	Coordinación institucional para la gestión y regulación de los sistemas. Ubicar dentro de grandes políticas de gestión de los recursos hídricos la captación pluvial

Tabla 1. Matriz de motivaciones entre grupos de actores identificados

Con la herramienta anterior se puede mostrar (en términos generales) las interrelaciones entre los diferentes actores en torno de la problemática de la captación y uso doméstico de los recursos pluviales, en función de la esperanza de cada actor con respecto a cada uno de los otros. Las expectativas generadas al interior de cada núcleo de actores se muestran en la diagonal que va de izquierda a derecha, de arriba a abajo. En las expectativas de cada actor se expresan sus intereses en relación con la participación de los demás. A partir de estos intereses surgen las motivaciones, por ejemplo, para el desarrollo de un mercado de productos relacionados con la captación y aprovechamiento pluvial; el desarrollo y profundización de investigaciones y conocimientos sobre la relación sociedad-recursos pluviales-medio ecológico o la generación de redes institucionales para la promoción de la implementación de los sistemas en las viviendas.

La tabla anterior nos da base para construir una red de interrelaciones entre los diferentes actores, misma que a continuación se presenta en un diagrama. En la figura se vuelven a expresar los motivos de interacción en puntos de convergencia en donde aparecen las expectativas de los actores agrupadas a cada lado del conector:

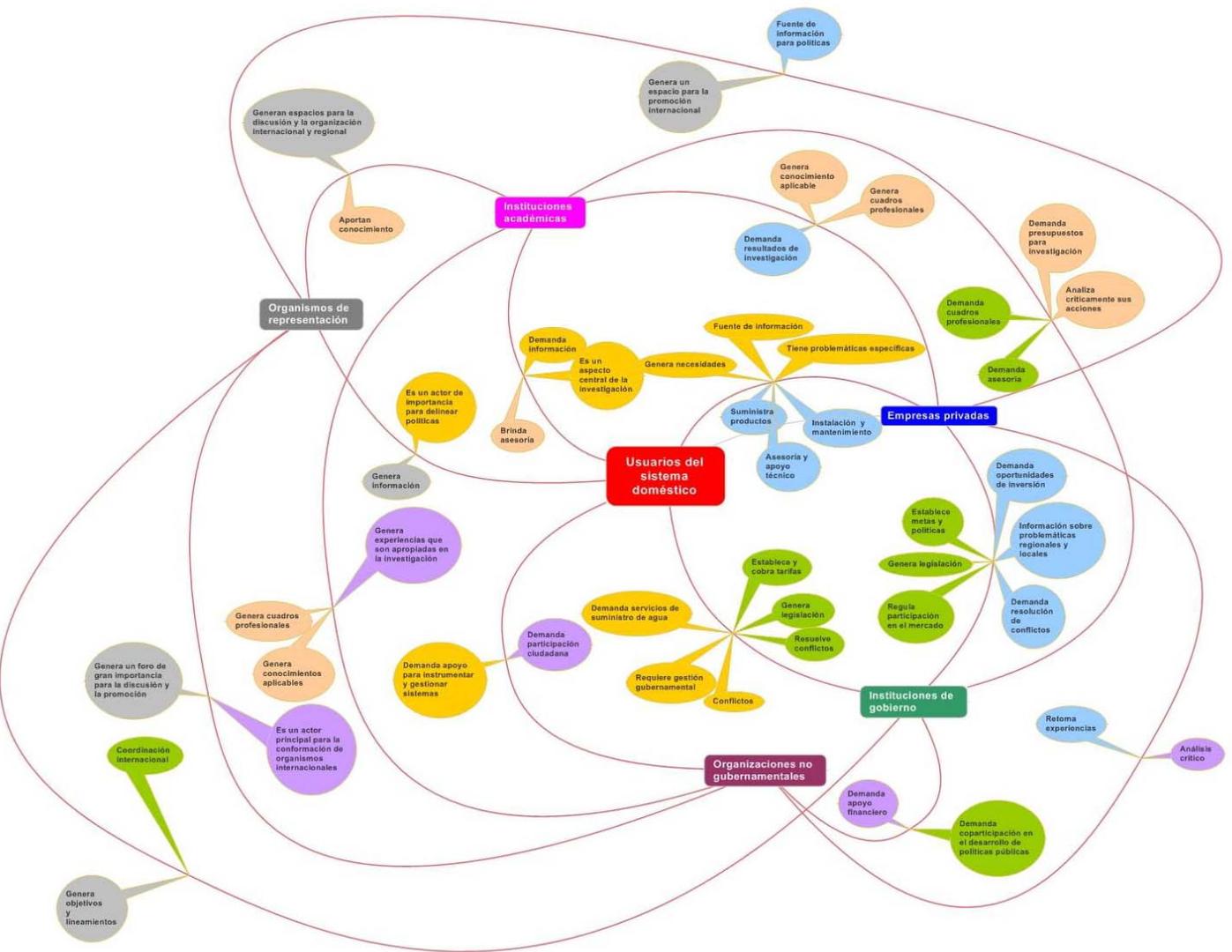


Figura 2. Red de interrelaciones entre actores

Mediante el uso de los instrumentos de análisis presentados se han detectado aquellos aspectos que son relevantes en la construcción de un sistema de captación y uso del agua de lluvia en el medio urbano doméstico.

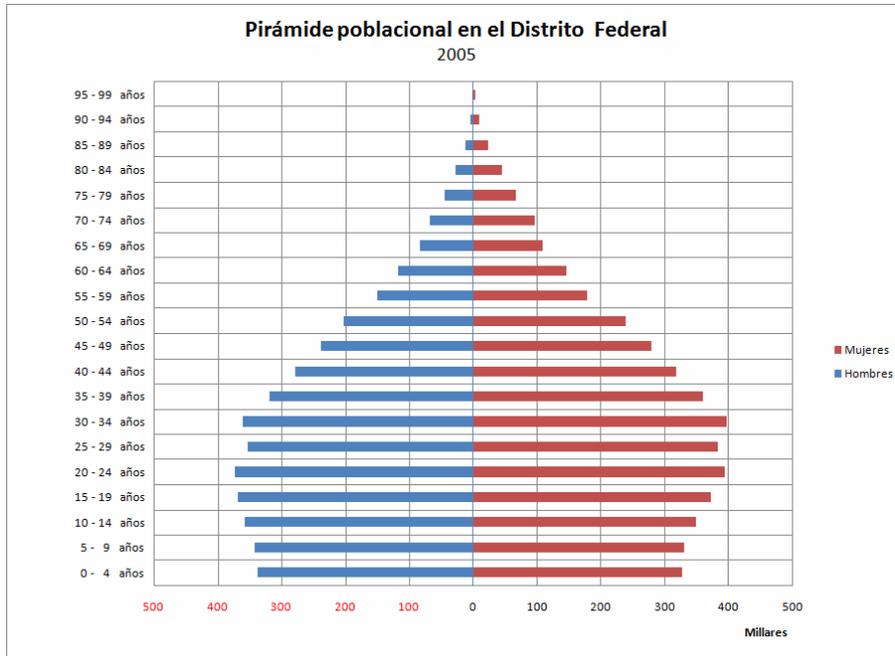
Participación de los actores

Los usuarios

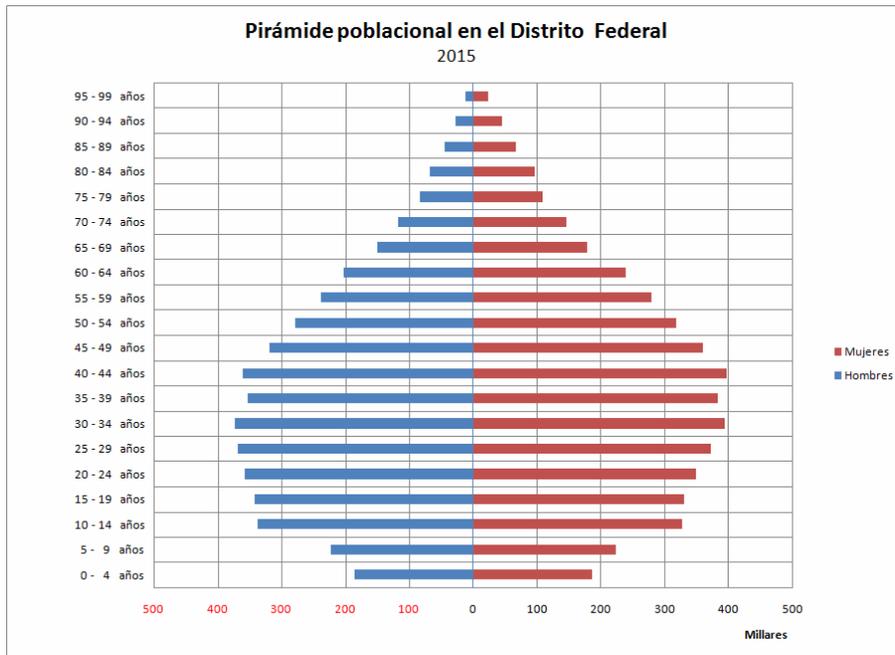
Un actor central para el tema desarrollado es el representado por los habitantes de las viviendas en la Ciudad de México. Desde luego que este gran actor colectivo tiene que ser subdividido en otros grupos más homogéneos desde una perspectiva económica, pero también desde una perspectiva del estilo de vida de las familias y de las dinámicas demográficas para la capital del país. La segmentación de este actor en diversos tipos de usuarios implica que las propuestas de diseño deben de poseer suficiente flexibilidad para atender diferentes situaciones materiales y diferentes tipos de expectativas de los usuarios, al tiempo que presenta un grado de estandarización que permita la industrialización de la producción de los sistemas de captación y aprovechamiento pluvial.

Desde hace algunas décadas se observa un crecimiento a un ritmo menos acelerado de la población en México. No obstante, el crecimiento de las zonas urbanas ha sido continuo así como el aumento de la esperanza de vida de la población.

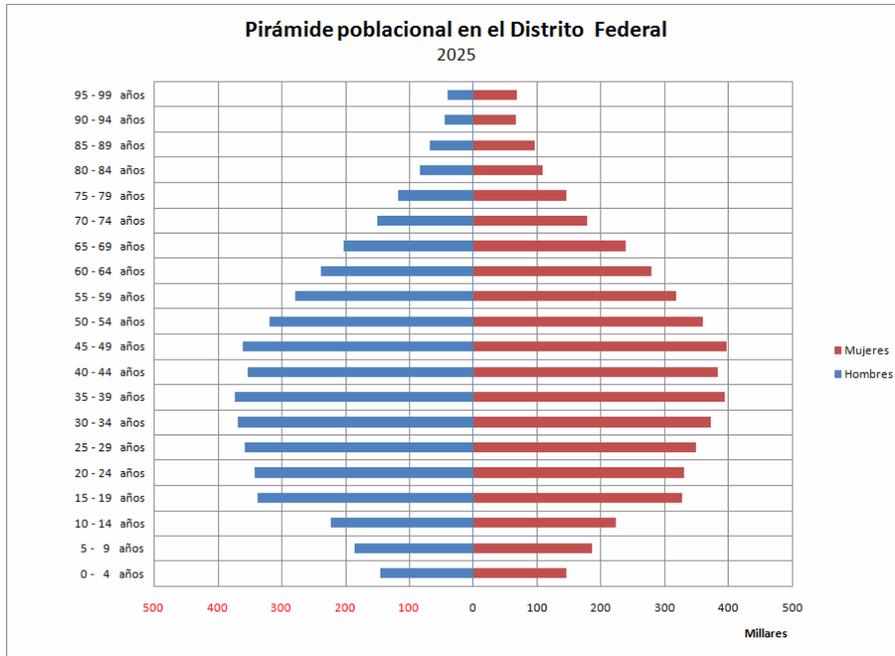
En los próximos años el crecimiento demográfico de la población capitalina continuará con un ritmo lento de incremento anual. El Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática ha reportado que entre el año 2000 y el año 2005 la tasa anual de crecimiento demográfico para la capital del país fue de 1%, mientras que entre 1990 y 1995 alcanzó el 2% anual. Lo anterior denota una tendencia decreciente que probablemente se acentuará en los próximos años. Esto significa que la composición de la sociedad con respecto a la edad de los capitalinos será definida por su envejecimiento. Las siguientes gráficas proyectan ese cambio en la pirámide poblacional para los futuros 30 años.



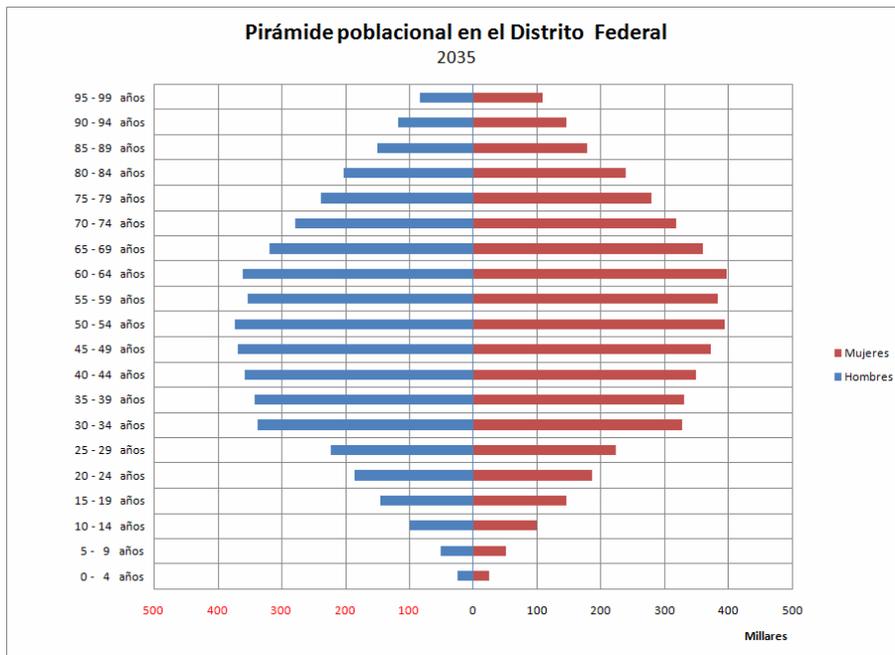
Gráfica 1.



Gráfica 2.



Gráfica 3.



Gráfica 4.

Hacia los próximos 30 años la Ciudad de México desarrollará una estructura demográfica que se caracterizará porque la gran mayoría de las personas serán adultos y un alto porcentaje de ellos tendrá una edad avanzada. Este pronóstico sobre la estructura demográfica futura implica reconocer una limitación de los usuarios de los

sistemas de captación pluvial doméstica: sus posibilidades para implicarse cotidianamente de modo físico con el mantenimiento de los subsistemas de captación, almacenamiento y distribución del agua pluvial. En otras palabras, se requieren criterios de diseño que consideren a una población mayoritariamente adulta mayor como usuarios principales de los sistemas de captación y aprovechamiento pluvial.

Por otro lado, el crecimiento del área urbana en la Zona Metropolitana de la ciudad continuará desarrollándose. Esto significa que pese al ritmo desacelerado de crecimiento poblacional la presión sobre los recursos hídricos en la Cuenca del Valle de México se mantendrá de modo permanente durante las décadas futuras.

Esto implica que los cambios en los patrones de consumo que hoy se emprendan con la gente que se encuentra en la juventud constituirán la base de cambios posibles y más profundos en esos patrones en los próximos 10, 20 y 30 años. Ello debe ser considerado en el caso específico del consumo hídrico y de la actual presión ejercida sobre los recursos de los que dispone la ciudad y su Zona Metropolitana.

Por otro lado, han comenzado desde hace algunos años a plantearse formas novedosas de agrupación familiar que no se ajustan del todo con la estructura familiar más tradicional. Los grupos pequeños de amigos que viven juntos, las parejas jóvenes sin hijos o con solo un hijo, las familias encabezadas por madres solteras, las parejas de homosexuales, los padres y madres separados o divorciados al frente de grupos familiares, etc., son el tipo de agrupaciones que hoy han dejado de ser casos excepcionales para convertirse en opciones cada vez menos cuestionadas y más practicadas. Conforme se diversifican las formas de agrupación familiar se desarrollan tendencias a favor de cambios en el consumo de los servicios más básicos, como el agua.

Estas opciones de agrupación familiar, frente a los grupos familiares más tradicionales, representan una nueva dinámica en cuanto al consumo de bienes y servicios. Nuevas formas de interacción social están surgiendo, posibilitadas por los avances tecnológicos en las telecomunicaciones y la electrónica. Nuevos comportamientos como consumidores y actores de redes sociales son hoy parte de la cotidianidad urbana. Un comportamiento individualista y hedonista se sitúa como eje del consumo y generador de valores en cuanto a la cultura material y la vida social.³ ¿De qué modo afectará esto el consumo de recursos hídricos en la ciudad?

Las pautas de consumo de la población se vuelven más exigentes al mismo tiempo que el volumen de agua demandado aumenta debido al crecimiento poblacional. La

³ Una referencia para este tema es el texto: Bauman, Zygmunt; *Vida de consumo*, Fondo de Cultura Económica, México, 2007.

posibilidad de instrumentar sistemas de gestión comunitaria domiciliaria implica una tecnología eficiente y eficaz para la distribución, uso y tratamiento del agua. De otro modo, los usuarios se inclinarán por sistemas privados bajo su control particular.

Áreas propicias para la intervención del diseño de sistemas de captación y aprovechamiento pluvial en función de los usuarios

- Necesidades de las familias y los individuos en el medio doméstico en cuanto a la adecuación de sistemas de captación pluvial y uso del agua

El diseño tiene en el ámbito doméstico uno de sus espacios más recurrentes. El trabajo proyectual en torno de los sistemas que permitan un consumo más eficiente y menos demandante de recursos hídricos, sin sacrificio del confort es una tarea compleja que en el marco de la captación pluvial se vuelve prioritaria. Aquí se tienen que atender problemáticas a partir del tipo de uso que se le dé al agua: evacuación sanitaria, higiene personal, lavado de ropa y otros usos; así como el grado de limpieza y purificación que esos usos requieran.

- Adecuación del espacio arquitectónico

Un aspecto central es la adecuación de los sistemas de captación, almacenamiento, distribución y uso del agua pluvial al espacio construido a nivel domiciliario. El reto aquí es importante para el diseño debido, por una parte, a las restricciones dimensionales del espacio en el hábitat ya edificado y, por otro lado, a las consideraciones de confort y expresividad aceptables desde un punto de vista cultural.

- Uso eficiente de la energía

Cualquier propuesta de intervención en el sentido de un aprovechamiento del agua pluvial debe comprender un uso eficiente y económico de la energía. Esta es una tarea del diseño del sistema de captación y uso como una totalidad y el criterio de intervención es el de la flexibilidad. El criterio general aquí es, en primer lugar, el empleo de fuentes de energía renovable y posteriormente, los criterios económicos que hagan factible la inversión en estos sistemas.

- Diversidad de alternativas y flexibilidad de tecnologías

Las muy diversas condiciones materiales de la vivienda en la Ciudad de México y las diferentes dinámicas de cambio futuro nos llevan a dar énfasis al carácter flexible de la intervención del diseño en cuanto a la concepción de los sistemas aplicables y de las tecnologías que pueden ser utilizadas en cada caso. No existe

un modelo único para la captación pluvial urbana y esto le da una pista de acción al enfoque del diseño para enfrentar problemáticas particulares.

El gobierno

Las instituciones de gobierno en sus diferentes niveles (federal, local y delegacional), así como en sus diferentes áreas de ejercicio de poder (legislativo, judicial y ejecutivo) constituyen en su conjunto al actor que hemos denominado “Gobierno”. Como principal responsable del abasto y suministro del agua, así como de la formulación y desarrollo de políticas públicas en cuanto a la gestión y manejo de los recursos hídricos nacionales, tiene una enorme responsabilidad en cuanto a la conducción de cambios en la relación abasto-consumo hídrico.

El gobierno en México sigue pautas que apuntan hacia una mayor desconcentración del poder y hacia una más clara división de poderes pero estos son hoy procesos lentos y no muy profundos⁴. Esto implica el riesgo que, frente a una sociedad con un rápido proceso de cambio, el Estado mexicano no responda con la celeridad exigida. Así es que, por una parte, el crecimiento poblacional y la mayor densificación de la zona urbana en la Ciudad de México y su Zona Metropolitana impliquen una mayor demanda en el volumen de recursos hídricos necesarios, pero también una población más exigente de sus derechos, más informada de sus problemas e imbuida en una dinámica cotidiana más activa.

En relación con la temática del uso de fuentes alternativas para el abasto de agua y del uso responsable de estos recursos desde una perspectiva de su sustentabilidad la creación de ciudadanía constituye la base y el eje articulador del proceso.

No obstante la reducción del volumen disponible de recursos hídricos también plantea retos importantes en términos económicos para el Estado. Una reciente investigación de Maestría en la Universidad Nacional⁵ advierte que la reducción del volumen disponible de agua puede afectar la viabilidad de la ciudad como un polo atractor de inversión.

Las entidades de gobierno en sus diferentes niveles desarrollan en la actualidad diversas políticas orientadas al aprovechamiento de los recursos hídricos en la cuenca

⁴ Alejandro Tortolero presenta una interpretación de la evolución de los sistemas de gestión del agua en México, proceso caracterizado por su desconcentración y la creciente participación del sector privado. Ver: Tortolero Villaseñor, Alejandro; *El agua y su historia. México y sus desafíos hacia el siglo XXI*, Siglo Veintiuno editores, México, 2000.

⁵ Esquivel Garduño, Gabriela, *Prospectiva de la demanda de agua en México*, Tesis de Maestría, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 2005.

del Valle de México. Por una parte el gobierno de la Ciudad de México ha dado prioridad al tema del mantenimiento del drenaje profundo, principal componente del sistema de desalojo de aguas servidas y pluviales de la capital del país. Otra área de atención del gobierno de la ciudad tiene que ver con la difusión de sistemas de ahorro para el consumo doméstico del agua. A nivel más local, los gobiernos delegacionales de demarcaciones con territorio propicio para la recarga de mantos freáticos han promovido programas de captación pluvial, como es el caso de Tlalpan.

A nivel del gobierno federal dos áreas de desarrollo de políticas se pueden mencionar. La primera tiene que ver con la iniciativa para promover el uso de tecnologías amables con el medio ambiente en la edificación de nuevas viviendas a través del denominado programa de “Hipotecas Verdes”. En esta iniciativa se contempla el uso de tecnologías para el consumo doméstico del agua. Otra área de atención del gobierno federal tiene que ver con el tratamiento de las aguas residuales de la Ciudad de México y la construcción de una gran planta de tratamiento en la parte norte de la Zona Metropolitana de la Ciudad. Un tercer eje de acción del gobierno federal, posiblemente el que más énfasis recibe, es la continuidad en el desarrollo de grandes obras de infraestructura hidráulica para el desalojo de las aguas pluviales de la ciudad.

La principal limitación del papel del gobierno en la problemática hídrica es su orientación a favorecer el desarrollo de las denominadas macro-obras, por encima de las obras que tienen un menor nivel de inversión y que son menos fastuosas que las primeras. En esto está implicado el cálculo costo-beneficio a favor de determinados grupos de interés antes que el bienestar social o el equilibrio ecológico.

Áreas propicias para la intervención del diseño de sistemas de captación y aprovechamiento pluvial en función del gobierno

- Impacto ecológico positivo por la implementación de sistemas de tecnología de bajo costo

Establecer criterios y la regulación pertinente sobre el impacto ecológico de la tecnología empleada en la captación y el aprovechamiento pluvial a nivel doméstico es una tarea ligada al diseño e implementación de esos recursos tecnológicos. Por su naturaleza social, este aspecto del diseño (alcanzar un impacto ecológico positivo) es una tarea compartida por todos los actores, pero principalmente por las entidades de gobierno.

- Implementación de sistemas de reciclaje y tratamiento a nivel local y doméstico

El destino del agua pluvial servida es un aspecto crucial. Como problema de diseño puede entenderse al margen del tipo de uso del agua y de los

requerimientos sociales y ecológicos en torno de los recursos hídricos. Debido a las restricciones económicas para dejar en manos de las familias esta cuestión y la importancia ecológica de la tarea la actividad debe quedar en manos de instancias superiores de responsabilidad como el gobierno, bajo la premisa del equilibrio ecológico.

Las empresas privadas

Las empresas tienen un papel muy importante en la temática desde la perspectiva del diseño. Sobra decir que constituyen al actor responsable de poner a disposición de los usuarios los sistemas de captación y aprovechamiento pluvial, al tiempo que suministran las refacciones y el mantenimiento de esos sistemas. No se trata de minimizar la acción autogestiva de los propios usuarios pero, como vimos en el capítulo anterior, la problemática de la captación y el almacenamiento urbanos implica una complejidad que puede fácilmente rebasar las posibilidades de gestión de los usuarios en lo individual.

Las empresas privadas jugarán un papel en el futuro siempre y cuando represente una opción rentable para la inversión. Desde la perspectiva de la cantidad de viviendas que existen en la Ciudad desde luego que se trata de un mercado con gran potencial para la atracción de las inversiones privadas, no así desde la capacidad de compra y de gestión de los usuarios.

Se trata de un mercado estratificado en razón de circunstancias de carácter económico como la propiedad de la vivienda, el espacio disponible para la captación y el almacenamiento, los requerimientos específicos de tratamiento y purificación y de las posibilidades locales para reincorporar el agua desechada al ciclo hidrológico con el menor impacto ambiental. Todos estos factores son determinantes en la segmentación de un vasto mercado que puede ser atacado sin planeación y sin apego a criterios que den viabilidad y sustentabilidad a la captación pluvial. Esto significaría que el objetivo de alcanzar una ciudad en la que la mayoría de los habitantes practique la captación pluvial quedará en entredicho debido a un enfoque orientado exclusivamente a la rentabilidad financiera.

Un elemento que es necesario destacar en el análisis es que el tamaño del mercado nacional de los productos para la captación pluvial doméstica es mínimo, por no decir que inexistente. Esto se puede traducir como una auténtica posibilidad de generar grandes ganancias cuando este mercado comience a desarrollarse, pero el problema radica en lo que ocurra en esa primera etapa, es decir, el conjunto de condiciones que harán factible la captación a nivel tecnológico y que hagan surgir la conciencia de su necesidad en los usuarios.

El sector privado ha incursionado en áreas como el tratamiento, la distribución y el cobro por el suministro del agua. También tiene presencia en la comercialización de productos para el consumo doméstico y recientemente se ha generado un segmento del mercado orientado hacia los dispositivos ahorradores en el ámbito doméstico.

Áreas propicias para la intervención del diseño de sistemas de captación y aprovechamiento pluvial en función de las empresas privadas

- Sistemas de captación, almacenamiento y uso adecuados a las características de la demanda doméstica en la Ciudad de México.

Los proveedores principales de los objetos para la captación y el uso doméstico del agua pluvial son empresas privadas. En ellas recaen las tareas de desarrollar el mercado e integrar los productos para su comercialización. Los requerimientos para esos productos en términos de su adecuación a las características regionales, climáticas y socioculturales en la Cuenca del Valle de México son elementos determinantes de la calidad de esos sistemas. La tarea de las empresas privadas puede encauzarse por dos vías: la comercialización de soluciones existentes o el desarrollo local de nuevos productos. Consideramos que la segunda opción es la más adecuada en la medida en que así se puede responder de mejor manera a los requerimientos locales y tomar parte en el cambio cultural tan importante que implica un uso más eficiente de los recursos hídricos. Se debe evitar restringir el enfoque de la problemática del diseño de los sistemas de captación y aprovechamiento a una perspectiva de ingeniería. Hay que aclarar que no consideramos a ese enfoque erróneo, sino insuficiente para la complejidad del tema. Ingenieros y diseñadores pueden aportar creativamente a un tema que nos incumbe a todos.

Instituciones académicas

Las instituciones académicas tienen un relevante papel en la generación de información y en el desarrollo de la investigación que permita la adaptación de tecnologías y la mejor comprensión de las necesidades sociales en torno del abasto, tratamiento y sustentabilidad del consumo de los recursos hídricos. También es el actor responsable de la formación de recursos humanos capaces de desarrollar tecnología, gestionar la administración de los recursos hídricos e investigar los problemas de orden técnico, social y ecológico en relación con la captación pluvial.

Las instituciones académicas tienen que hacer un esfuerzo interno para instrumentar los conocimientos generados en su seno. La captación y uso de los recursos pluviales que se desarrolle como proyectos aplicados en los campus universitarios tendrá repercusiones más allá del ámbito académico.

No obstante de la relevancia de su papel, las instituciones académicas enfrentan serias restricciones presupuestales para desarrollar la investigación y esto puede significar un factor de rezago importante frente a la urgencia por lograr establecer patrones de consumo hídrico responsables y sustentables a futuro.

Son pocas las instancias académicas nacionales que auspician formalmente proyectos de investigación en materia de captación y aprovechamiento pluvial. Probablemente el caso más sobresaliente es el del Colegio de Postgraduados a través del CIDECALLI.

No obstante se está lejos de haberse desarrollado redes interinstitucionales sobre la temática y la mayoría de los proyectos académicos se desenvuelven en un plano local.

Áreas propicias para la intervención del diseño de sistemas de captación y aprovechamiento pluvial en función de las instituciones educativas

- Constituir redes y bancos de información que retroalimenten los procesos de diseño en los casos locales

La generación de información para el proceso de diseño, a partir de la experimentación y la investigación documental y de campo constituye una condición de suma importancia para el diseño de productos y el desarrollo de las tecnologías para la captación y aprovechamiento pluvial.

- Desarrollar las adecuaciones tecnológicas apropiadas para su implementación

Las innovaciones tecnológicas tienen un escenario en la convergencia de las instituciones académicas y otros actores, como las empresas privadas. Las adecuaciones tecnológicas a los requerimientos locales de captación y aprovechamiento pluvial son una opción para la innovación en virtud de que en el presente este ámbito se encuentra escasamente desarrollado.

- Sistematizar la evaluación de los resultados ecológicos, económicos y sociales de la captación y uso sustentable del agua de lluvia

El análisis del impacto ambiental y de la afectación en términos de criterios de sustentabilidad de la captación y el aprovechamiento pluvial es una fuente de parámetros de actuación para el diseñador en este campo. Las instituciones de educación superior, por su perfil crítico y autónomo, son las instancias más adecuadas para generar estos análisis.

- Promoción de actividades académicas que fomenten la participación de estudiantes y profesores en la temática

La participación de las comunidades académica y estudiantil en esta problemática requiere un activo fomento por parte de las instituciones educativas. Para ello las iniciativas que vayan desde la organización de concursos, exposiciones y debates hasta la conformación de espacios de vinculación con los otros actores son todas tareas relevantes.

Las organizaciones no gubernamentales (ONG)

Aunque la necesidad de la actuación de las organizaciones de la sociedad civil está fuera de discusión, su actuación en materia ambiental y ecológica en lo nacional se ha caracterizado por cierta parcialidad en el enfoque, principalmente atendiendo la vertiente ecológica de los problemas de la sustentabilidad.

En el campo concreto de la captación pluvial la participación de las ONG es prácticamente nula, lo cual es poco afortunado considerando la emergencia en la que se encuentra la Ciudad de México en cuanto al abasto de recursos hídricos.

Este sector tiene atributos como su capacidad para gestionar el financiamiento de proyectos, gran movilidad en el plano social y credibilidad como instituciones que actúan al margen de los intereses lucrativos de las empresas privadas. Este conjunto de características hacen del sector de las ONG un actor relevante en la construcción de un nuevo paradigma en cuanto a la relación de los ciudadanos capitalinos y los recursos hídricos de que disponen. No obstante es necesario reconocer el alcance limitado que pueden desarrollar las instancias de este sector debido a sus limitaciones presupuestales propias y al carácter altruista que poseen como organizaciones.

Áreas propicias para la intervención del diseño de sistemas de captación y aprovechamiento pluvial en función de las organizaciones no gubernamentales

- Experimentación con tecnologías en sitios con demandas reales

Los desarrollos tecnológicos requieren de ser evaluados en el campo de aplicación, es decir, en las viviendas de diferentes condiciones sociales y espaciales. Esta tarea regularmente queda en manos de las empresas privadas. No obstante, sería un área de oportunidad para las organizaciones de la sociedad civil porque permitiría una reducción de los costos en el proceso de desarrollo de esas tecnologías y las propias ONG obtendrían los beneficios de su interacción con las instituciones académicas y privadas. Para llevar a cabo este

proceso de experimentación las organizaciones no gubernamentales requieren de una visión del diseño que permita aplicar las tecnologías sin perder de vista las necesidades de los usuarios.

Organismos de representación internacional

La Asociación Internacional de Sistemas de Captura de Agua de Lluvia (IRCSA, por sus siglas en inglés) es el principal organismo internacional que agrupa a asociaciones, nacionales y regionales e investigadores y académicos en torno de la problemática de la captación de agua de lluvia en el mundo. Se creó oficialmente en el año de 1991 y ha realizado cada dos años una conferencia internacional en sitios como Kenia, Beijing, Irán, Brasil, Alemania, México, India, Australia y Malasia.

El papel de esta organización ha sido la de constituir un foro de discusión, principalmente entre investigadores, sobre diferentes tópicos de relevancia para la captación de agua de lluvia, tanto en el medio rural como en el urbano. Esta instancia constituye un actor principal en el desarrollo de la temática al generar en su seno una red de organizaciones, instituciones y personas que están involucradas en el presente en la captación pluvial y que posiblemente lo seguirán estando en el futuro.

Las reuniones internacionales son un espacio para la socialización de los conocimientos y experiencias locales y constituyen un mecanismo para articular políticas y acciones encaminadas a promover la captación pluvial como fuente de recursos hídricos.

Áreas propicias para la intervención del diseño de sistemas de captación y aprovechamiento pluvial en función de los organismos de representación internacional

- Abrir la discusión internacional a enfoques novedosos y disciplinas como el diseño industrial

Posiblemente sea en este ámbito en donde se plantean los retos mayores para el diseño pues la discusión internacional del tema de la captación pluvial urbana está dominada por las áreas de la ingeniería y la gestión gubernamental. El proceso para una visión más amplia del diseño en relación con nuestra temática implica el desarrollo de experiencias locales en las que se asigne un rol preponderante a las necesidades y expectativas de los usuarios, el tratamiento de la habitabilidad y el confort en la vivienda y el cambio real y aceptado de los patrones de consumo hídrico urbano.

5.5 La intervención del diseño industrial en el desarrollo de la visión prospectiva

En este capítulo hemos tratado de mostrar que:

- 1) En un conjunto de escenarios estructurados a partir de la interrelación de la escasez de los recursos hídricos y el desarrollo tecnológico el diseño es un factor que tiende puentes de posible solución entre estos ámbitos conflictivos.
- 2) Los diferentes actores sociales vinculados a la captación doméstica de agua de lluvia en el espacio urbano desempeñan papeles que en los que, en mayor o menor medida, está presente el diseño.

En esta visión el diseño es una herramienta para la generación de estrategias en el contexto de la transformación de lo artificial con criterios de sustentabilidad. No se trata de que el diseñador pretenda usurpar el papel de la gestión administrativa. Por el contrario, el papel del diseño es el de favorecer una síntesis del problema en cuanto a sus vectores tecnológico y cultural.⁶

Como hemos visto a partir de las opiniones vertidas por los expertos entrevistados las grandes limitaciones para la difusión de un paradigma del abasto y consumo hídrico más adecuado a la vocación lacustre del Valle de México y al ciclo hidrológico de la cuenca tienen que ver con la decisión política de los gobiernos y la visión cultural de los ciudadanos.

Para ampliar este aspecto tomemos como muestra algunas experiencias relatadas en el más reciente Congreso de la Asociación Internacional de Sistemas de Captura de Agua de Lluvia, celebrado en 2009 en Malasia. En ese congreso se presentaron experiencias de captación urbana en diversas localidades de Malasia como Pahang o la ciudad de Swon en Corea. También se comentaron los casos exitosos de proyectos urbanos en la ciudad de Nueva Delhi en la India. Un par de rasgos que distinguen estas experiencias es la anuencia gubernamental y la participación ciudadana, es decir, el desarrollo de una estrategia pública en el marco de una cultura receptiva.

Ahora bien, el campo político no es una tarea inmediata del diseño industrial. No obstante, afirmamos que la generación de estrategias en ese ámbito puede apoyarse en una visión de diseño para la generación de visiones de futuros deseables.

Diversos autores, como el Dr. Jorge Legorreta o el Dr. Gleason, coinciden en señalar que desde la perspectiva de la ingeniería las soluciones ofrecidas a la problemática de

⁶ El texto de Rodríguez Morales, Luis; *Diseño: estrategia y táctica*, Editorial Siglo XXI, México, 2005; tiene una importante influencia en este último planteamiento.

las lluvias y las inundaciones en la Ciudad de México han sido orientadas por el criterio del desalojo del agua pluvial y del desarrollo de la mega-infraestructura requerida para tal fin. Ambos autores advierten que este enfoque no es el más adecuado dadas las necesidades de abasto hídrico y de las características hidrológicas naturales de la cuenca. A partir de esa reflexión afirmamos que el enfoque de la ingeniería puede tener una alternativa con la intervención del diseño fundamentando técnica y económicamente la viabilidad de la captación pluvial doméstica, alternativa que solo marginalmente ha sido contemplada por la ingeniería en nuestro país.

También afirmamos que la captación pluvial doméstica es un campo propicio para el ejercicio del diseño industrial en razón de los parámetros de orden cualitativo y cuantitativo que se conjugan en ese ámbito. Con ello no queremos reducir la importancia de la intervención de la arquitectura y de la ingeniería en el tema, sino subrayar el hecho de que ante una ciudad en la que la mayor parte de la vivienda ya se encuentra construida y en la que la dinámica de desarrollo demográfico implica el aumento de la edad promedio de sus habitantes, lo que tenemos es un escenario futuro en el que tienden a predominar patrones de consumo no sustentables y restricciones mayores en el abasto hídrico. Los cambios necesarios en el orden material para sostener y mejorar la calidad de vida de los habitantes, en términos del consumo de agua, implican el desarrollo de sistemas que gradualmente puedan ser adaptados y que respondan adecuadamente a las necesidades de consumo y que reduzcan la demanda de agua a lo largo del tiempo. Es un asunto que hasta cierto punto radica en la percepción del usuario y en la eficiencia de los sistemas de consumo hídrico. Por este enfoque centrado en las expectativas y percepción de los usuarios, así como en la eficiencia de los productos, se trata de un problema que es susceptible de ser tratado por diseñadores industriales.

Los cambios implicados para un futuro en el que la captación pluvial sea relevante para el abasto hídrico implican la emergencia de una visión renovadora de la gestión y del diseño de la infraestructura hidráulica. El punto nodal se encuentra en pasar de la gestión desde un ámbito de control centralizado, vertical y dominado por los intereses económicos hacia una gestión participativa de la sociedad. Los diseñadores podemos ayudar en esta tarea.

Anteriormente, en este capítulo, se mencionó la aportación de Nicola Morelli a su estructuración metodológica. Una de las propuestas de este autor es la integración de plataformas industriales, pensados como productos y servicios ofrecidos a estructuras de mercado caracterizadas por la presencia de multi-usuarios. Tal es el tipo de orientación de diseño necesaria en una prospectiva de la captación y aprovechamiento pluvial. Sobre ese aspecto trataremos en las conclusiones de este texto.



CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

La captación pluvial en la Ciudad de México constituye una alternativa viable para complementar las fuentes de abasto de agua para la misma. Las opciones para poner en práctica esta dinámica no se agotan en las posibilidades que el espacio público ofrece, sino que pueden ser desarrolladas en las edificaciones de todo tipo, particularmente las viviendas ya construidas.

Llevar cabo la captación de lluvia a nivel doméstico implica un cambio en la visión que los ciudadanos tienen con respecto a los recursos hídricos. Se trata de algo para lo cual los habitantes de la ciudad no cuentan con antecedentes directos o costumbres arraigadas.

En virtud de su viabilidad técnica y de la problemática cultural implicada en la cosecha de agua de lluvia en el contexto urbano del Distrito Federal hemos encuadrado al tema como un asunto susceptible de ser abordado con una perspectiva desde el diseño industrial. En otras palabras, se mostró la factibilidad de acoplar un conjunto de tecnologías desarticuladas a las necesidades de abasto de agua de una amplia diversidad de usuarios.

Para exponer lo anterior establecimos tres aspectos:

1. La posibilidad de mantener un abasto oportuno de agua para los domicilios capitalinos se deteriora con el paso del tiempo, afectando a un número creciente de personas.
2. Los referentes históricos sobre la captación de agua de lluvia en la etapa moderna de la Ciudad de México son escasos y la relación de sus habitantes con

los recursos hídricos ha sido dominada por una visión que privilegia el dominio del agua y su expulsión de la cuenca.

3. Desde el punto de vista de la cultura material urbana, sin embargo, existe una diversidad tecnológica de los elementos para la captación pluvial suficiente para adecuar los medios y espacios artificiales a las necesidades de consumo de agua.

Partiendo de estas tres consideraciones se ha realizado un análisis de las características de la tecnología para la captación doméstica de agua de lluvia y de su aplicación en el contexto de la Ciudad de México. Con base en este análisis se ha concluido que:

1. Existe viabilidad tecnológica para la captación pluvial doméstica en la Ciudad de México, como un medio de abasto hídrico complementario.
2. La posibilidad de pasar de un régimen de abasto complementario a un patrón más intensivo del consumo de agua pluvial implica
 - a. Incrementar la capacidad de volumen de almacenamiento
 - b. Mejorar la accesibilidad técnica y económica a sistemas de purificación
 - c. Reducir el volumen de agua demandado por cada habitante de la ciudad.

El aporte que desde el diseño industrial se puede hacer con respecto a la implementación de sistemas de captación pluvial incide en tres ejes de intervención:

1. Desde el punto de vista tecnológico: integración de los subsistemas de captación, almacenamiento y uso del agua de lluvia en un solo sistema acoplado a las necesidades domésticas familiares.
2. Desde el punto de vista cultural: desarrollo de los mecanismos que contribuyan a establecer condiciones de confianza en la calidad de los recursos pluviales consumidos.
3. Desde el punto de vista económico: a partir de la diversificación de opciones tecnológicas para la captación pluvial, contribuir a la estructuración de un mercado rentable a nivel financiero.

En el marco teórico de la investigación se estableció como premisa un concepto de la sustentabilidad en el que se implicaban tres ámbitos de desarrollo simultáneos: lo económico, lo social y lo ambiental. Mientras que los dos primeros ámbitos reciben un impacto directo de la intervención del diseño descrita líneas arriba, el caso del ámbito ambiental solamente recibirá esta influencia positiva cuando el agua pluvial captada sea utilizada y se dé su reintegración al ciclo hidrológico. Los escenarios para que esto ocurra pueden ser:

1. La inyección de un volumen creciente de agua para la recarga de mantos freáticos.

2. El tratamiento de un volumen creciente de aguas residuales hasta lograr una autonomía de los recursos hídricos para la atención del consumo.
3. La disminución paulatina de los volúmenes de agua demandados para consumo humano.

Es importante reconocer que la captación pluvial urbana tiene sentido en el marco de los criterios de la sustentabilidad. Es decir, si la captación pluvial se practica solo para atender a las necesidades sociales y económicas, pero se deja de lado los criterios ecológicos que le dan viabilidad en el largo plazo, entonces se estaría incurriendo en un error de concepción de nuestra relación con nuestro entorno natural. Se debe reconocer que la relación sociedad-medio natural es el punto central en la problemática analizada y que un objetivo que no se debe perder de vista es construir condiciones materiales que permitan la renovación de los recursos hídricos.

Desde una perspectiva de diseño no se trata de encontrar “nuevas fuentes” de abasto para nuestra demanda de agua. Se trata de reformular nuestra interacción con las condiciones naturales de la cuenca que aloja a la Ciudad de México y desarrollar, gradualmente, condiciones favorables para nuestra vida en la misma hacia el futuro.

Una etapa necesaria y valiosa para la intervención del diseño industrial en la temática que se ha abordado es la precisión de las variables más importantes implicadas en la tarea. La siguiente lista presenta las variables más destacadas que hemos logrado detectar en términos de relaciones que deben ser atendidas como temas específicos de diseño:

- La relación entre el **área de captación pluvial disponible** por unidad doméstica y el **área disponible para el almacenamiento** del agua en cada vivienda.
- Las necesidades específicas de los habitantes de cada vivienda en cuanto a su demanda de agua (Relación del **volumen de agua demandado** y los **usos diversos del agua** en cada vivienda).
- **Ritmo de consumo de agua** en la vivienda en relación al **régimen pluvial específico** de la zona geográfica de la ubicación de la vivienda
- Relación entre los **usos asignados al agua pluvial** captada y sus **posibilidades técnicas y espaciales de tratamiento posterior** a nivel domiciliario y/o vecinal.
- Las **tecnologías existentes** para la captación pluvial doméstica en relación al **incremento futuro de la demanda de agua** en la Ciudad de México.
- Las **características generales de las áreas de captación** actuales en términos arquitectónicos en relación a la **intervención tecnológica** para hacer más eficiente el proceso de captación
- La relación entre el **costo del consumo energético** para el flujo domiciliario del agua pluvial y el **ahorro por consumo de agua** de fuentes de abasto convencionales.

- La **posibilidad tecnológica de reducir la demanda de agua** por parte de las personas en las viviendas en relación a la **implementación de sistemas de captación pluvial** doméstica.

Este listado de variables interrelacionadas enuncia las áreas o espacios de problematización de la captación y aprovechamiento pluvial domésticos. Constituye una conclusión de este trabajo y expresa una síntesis de observaciones y reflexiones para allanar el camino en el proceso de diseño en situaciones concretas.

En atención a esta perspectiva del futuro establecimos las acciones de diseño que diversos actores pueden y deben emprender para dar viabilidad a un cambio tecnológico y cultural que posibilite una instrumentación masiva de la captación y el aprovechamiento pluvial. Con un enfoque prospectivo se establecieron las bases para el desarrollo de una plataforma de productos y servicios que hagan posible la difusión de la captación pluvial con una intervención del diseño, como instrumento proyectual y como herramienta de gestión. En las páginas siguientes se presenta una síntesis de esta plataforma de productos y servicios.

Aspecto de atención

Subsistema de captación

Ecología

Acción en favor del ciclo natural del agua en la cuenca

Sociedad

Implica una actividad doméstica bajo la responsabilidad de las familias

Economía

Reduce la dependencia de la Ciudad de México del abasto desde cuencas externas

Fortalezas

Permite el aprovechamiento de recursos no utilizados en la actualidad.

Debilidades

La lluvia en el medio urbano tiene acidez y al caer sobre los techos adquiere contaminantes

Requerimientos

- Los techos de losa de concreto son los que presentan mejores prestaciones para la captación pluvial.
- Se requiere de una arquitectura que proporcione accesibilidad a los techos para su limpieza cotidiana.
- Se requiere un mínimo de 58 metros cuadrados de superficie de captación para un uso de evacuación sanitaria (sin considerar evaporación) y de 42 metros cuadrados para un uso en lavado de ropa.

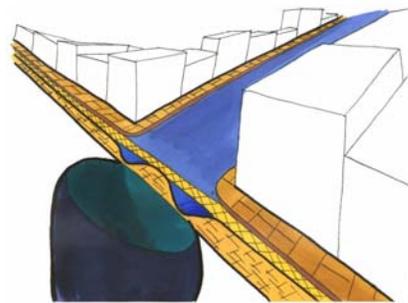
Propuestas de diseño



Superficies de ampliación del área de captación en los techos de cada vivienda



Superficies de ampliación del área de captación en el espacio público aéreo



Superficies de ampliación del área de captación en el espacio público a nivel de piso, mediante pavimento permeable y conducción a depósitos mediante geotextiles

Aspecto de atención

Subsistema de almacenamiento

Ecología

Reducción del uso de agua proveniente de regiones externas a la cuenca

Sociedad

Cada familia toma la responsabilidad del volumen de agua que almacena y del uso que le destina

Economía

Genera un ahorro en el gasto doméstico dedicado al consumo de agua

Fortalezas

Un sistema flexible permite adecuar el volumen de captación a las necesidades y posibilidades físicas y financieras de los usuarios

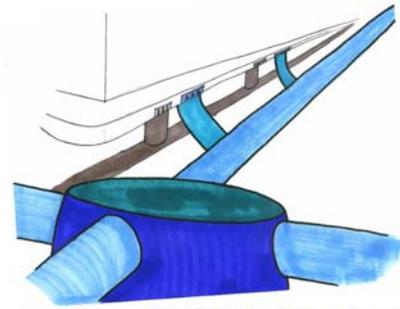
Debilidades

La falta de espacio en las viviendas construidas para instalar depósitos

Requerimientos

- El volumen de almacenamiento mínimo está muy diferenciado en toda la ciudad. Va desde 9 metros cúbicos en la Delegación Venustiano Carranza hasta los 63 metros cúbicos en Magdalena Contreras.
- Se requiere una diversidad de sistemas de almacenamiento adecuados al régimen de precipitación geográfico.
- Se requiere un bajo impacto en la obra construida debido al costo y a la falta de espacio.
- No debe haber largos periodos de almacenamiento (más de una semana).

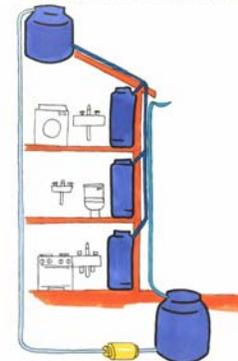
Propuestas de diseño



Depósitos subterráneos de abasto colectivo abastecido por alcantarillas



Depósitos apilables para almacenamiento doméstico



Red doméstica de depósitos multinivel

Aspecto de atención

Subsistema de distribución

Ecología

Uso de energía alternativa de bajo impacto ambiental

Sociedad

Se mejora la calidad de vida al proporcionar un sistema que se autoregula

Economía

Favorece la diversificación de fuentes energéticas a nivel doméstico

Fortalezas

Es un sistema que no demanda esfuerzo físico de los usuarios en su operación

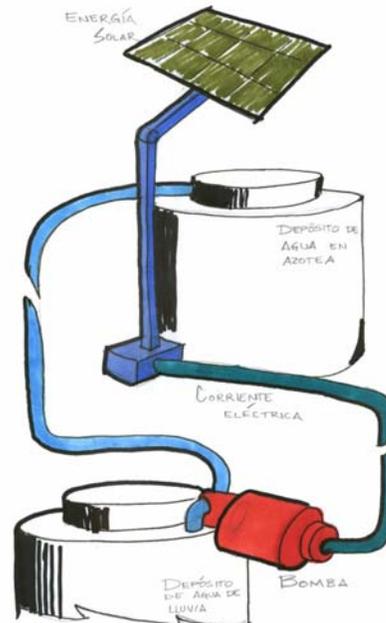
Debilidades

En época de estiaje el sistema permanece inoperante

Requerimientos

- Se requiere un sistema automático de bombeo desde un depósito en la planta baja hasta el nivel del tinaco domiciliar, en el techo.
- Sistema propulsado con energía solar convertida a eléctrica.
- El sistema debe generar el movimiento regular del agua almacenada.
- El agua bombeada debe depositarse en un tinaco alterno (si no está purificada) o en el tinaco de la vivienda (si el agua se purifica en el primer depósito).

Propuestas de diseño



Bombeo automatizado con energía solar

- Para operar una bomba de agua de 480 watts (1/3 hp) se requiere una celda solar fotovoltaica con las siguientes especificaciones:

Largo de 56 pulgadas, ancho de 26 pulgadas, amperaje en máximo poder de 7.39 amp y 17.6 volts, con un peso de 33 libras aproximadamente, considerando un promedio diario de 5 horas de radiación solar.

Aspecto de atención

Subsistema de disposición de agua servida

Ecología

Reintegración del agua tratada a mantos freáticos y a cuencas externas

Sociedad

La gestión del tratamiento está a cargo de la sociedad a nivel local

Economía

Se minimiza el impacto a la disposición futura de agua

Fortalezas

Se promueve una gestión integral del agua a nivel doméstico

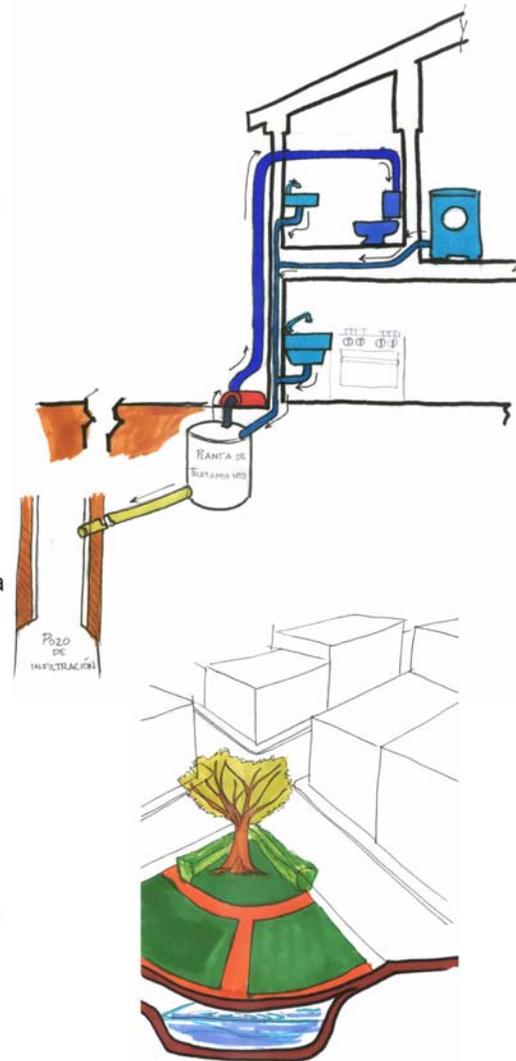
Debilidades

El aprendizaje del manejo de agua residual a nivel doméstico puede ser lento y difícil para la gente

Requerimientos

- El agua de lluvia tiene funciones importantes en el drenaje. Debe mantenerse un cierto volumen de desecho.
- En las regiones geográficas que así lo permitan debe buscarse la recarga de mantos acuíferos (captación no domiciliaria y domiciliaria).
- Debe fomentarse una acción comunitaria en cuanto al tratamiento de los sobrantes de agua de lluvia captada.

Propuestas de diseño



Tratamiento colectivo utilizando áreas públicas verdes a nivel subterráneo

Las anteriores propuestas tienen la intención de ser entendidas como un todo integrado. Los subsistemas aislados no podrían constituir por sí mismos un aporte en términos del diseño para la sustentabilidad. Ahora bien, quedan aspectos relevantes para hacer de esta propuesta un mecanismo que pueda ser considerado sustentable.

Por un lado queda pendiente todo lo relacionado con **la temática de la gestión y la normatividad social** que permita la difusión y la implementación de la captación y aprovechamiento pluvial a nivel domiciliario. En este trabajo este aspecto no se ha explorado, pero desde luego se reconoce que en ese ámbito el diseño también tiene implicaciones y recibe influencia de ese contexto. No se debe pensar que el diseño tendrá una eficacia tal por sí mismo que al lograr aportaciones en el campo del desarrollo tecnológico cambien automáticamente los hábitos y costumbres de los ciudadanos. Es necesaria la acción en frentes diversos y de modo coordinado.

Otro aspecto central para continuar con el desarrollo de esta temática es **la validación de las hipótesis aquí formuladas sobre el problema del almacenamiento y las limitaciones de espacio**. La propuesta básicamente ha consistido en desconcentrar el almacenamiento en sub-almacenamientos, lo cual tiene implicaciones que deben ser consideradas. Una es que esta propuesta implica un mayor volumen de materiales y posiblemente un gasto energético algo mayor a mantener el almacenamiento centralizado. Estas implicaciones se pueden compensar si se obtiene un volumen de almacenamiento que haga viable la captación y el aprovechamiento pluvial en cada unidad doméstica.

Un tercer aspecto para el desarrollo futuro de esta temática es establecer **los términos de vinculación entre sistemas domiciliarios y sistemas colectivos o públicos de captación pluvial y de tratamiento de agua**. Esta vinculación se da sobre todo en el área técnica pero también implica su gestión y su gran diversidad de posibilidades. Esta área no ha sido analizada en este trabajo, pero la consideramos de gran relevancia para la temática tratada.

La problemática ecológica, social y económica abordada en este trabajo ha permitido reconocer un papel para el diseñador industrial en el ámbito de la sustentabilidad. El diseñador industrial tiene frente a sí la tarea de contribuir a buscar soluciones en cuanto a la relación de las personas con sus recursos hídricos. Esa es una tarea general de la que concretamente se pueden derivar los siguientes cursos de acción: acoplamiento tecnológico a las necesidades de agua por parte de las personas y al ciclo hidrológico natural; mejoramiento de la calidad de vida a partir de un uso mínimo de recursos hídricos pero que otorgue un margen de certidumbre en la estabilidad futura del abasto y el gradual pero permanente avance hacia una autosuficiencia del abasto y consumo hídrico para la Ciudad de México.

Anexos

Anexo I, Capítulo 2

Disponibilidad de agua entubada en viviendas del Distrito Federal

Año 2000

<i>Delegación</i>	<i>Viviendas totales</i>	<i>Disponen de agua entubada</i>	<i>No disponen de agua entubada</i>	<i>Porcentaje</i>
Tlalpan	140148	127370	12000	8.562%
Iztapalapa	403922	396171	4734	1.172%
Xochimilco	82078	77216	4371	5.325%
Gustavo A. Madero	295329	292263	1503	0.509%
Milpa Alta	21350	19860	1361	6.375%
La Magdalena Contreras	51831	50656	876	1.690%
Álvaro Obregón	163481	161349	780	0.477%
Tláhuac	69564	68565	559	0.804%
Cuajimalpa de Morelos	33163	32526	383	1.155%
Benito Juárez	113741	112578	317	0.279%
Cuauhtémoc	147181	144717	231	0.157%
Coyoacán	163036	161805	222	0.136%
Azcapotzalco	109233	108420	221	0.202%
Miguel Hidalgo	94475	93554	198	0.210%
Venustiano Carranza	116986	116022	170	0.145%
Iztacalco	98234	97281	108	0.110%

Fuente: Estadísticas Medio Ambientales del Distrito Federal y Zona Metropolitana 2002, INEGI, México.

Frecuencia de recepción de agua en viviendas particulares habitadas en las delegaciones del Distrito Federal

Año 2000

<i>Delegación</i>	<i>Viviendas particulares habitadas con agua entubada</i>	<i>Frecuencia</i>			
		<i>Todo el día</i>	<i>Parte del día</i>	<i>No especificado</i>	<i>Otra frecuencia</i>
Milpa Alta	18980	30.7%	61.8%	7.5%	43.9%
Tlalpan	128085	79.0%	9.6%	11.3%	30.2%
Iztapalapa	395725	61.1%	22.8%	16.1%	25.1%
Xochimilco	72832	59.3%	28.2%	12.5%	21.5%
Cuajimalpa de Morelos	33327	66.5%	22.9%	10.6%	11.7%
La Magdalena Contreras	49766	58.0%	31.4%	10.6%	6.0%
Coyoacán	162851	79.0%	13.8%	7.2%	5.9%
Gustavo A. Madero	291322	56.3%	33.1%	10.5%	5.8%
Álvaro Obregón	161204	74.7%	10.0%	15.3%	5.8%
Tláhuac	67875	72.9%	9.6%	17.5%	3.1%
Venustiano Carranza	117002	74.2%	9.1%	16.7%	1.4%
Cuauhtémoc	148362	72.8%	6.2%	21.0%	1.3%
Azcapotzalco	109666	68.8%	13.4%	17.9%	1.2%
Miguel Hidalgo	94700	75.6%	3.8%	20.6%	1.2%
Benito Juárez	115899	74.1%	4.3%	21.7%	1.0%
Iztacalco	97116	80.7%	4.1%	15.2%	0.9%

Fuente: Estadísticas Medio Ambientales del Distrito Federal y Zona Metropolitana 2002, INEGI, México.

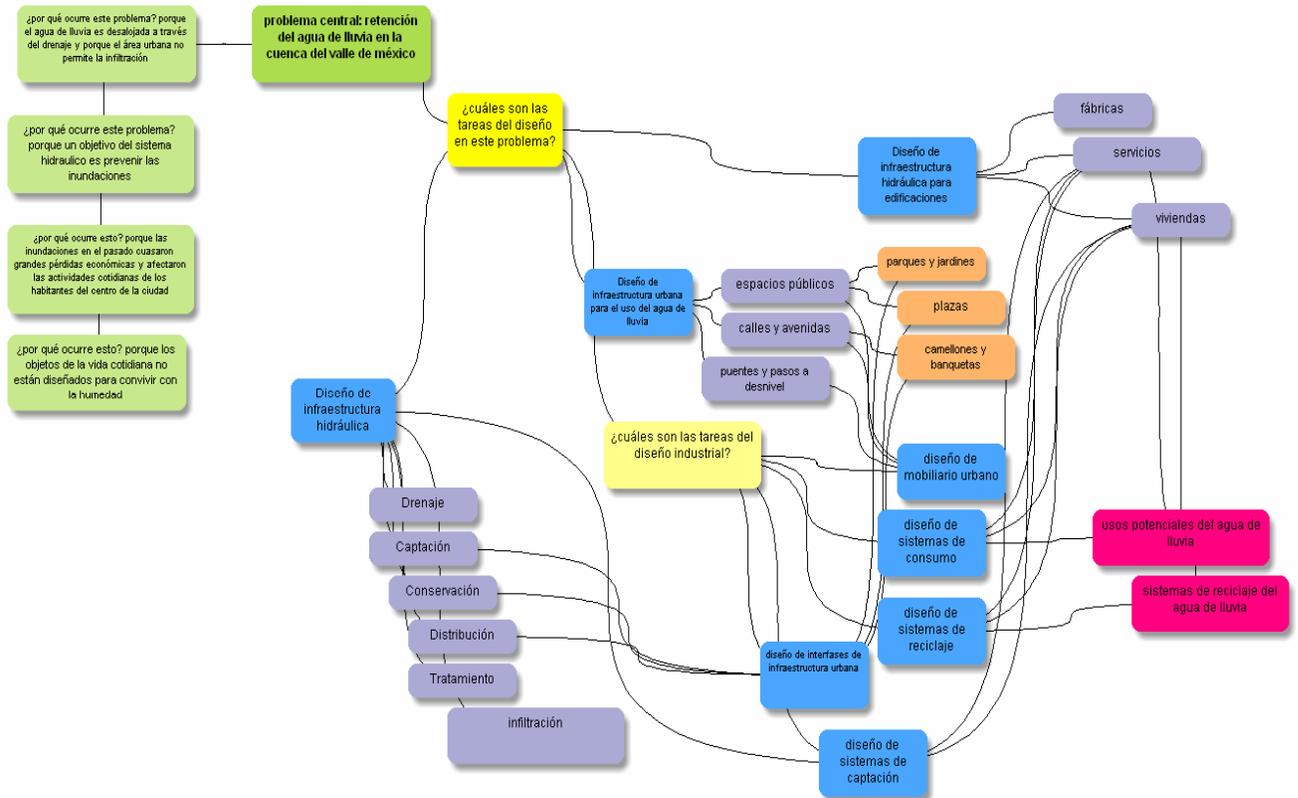
Anexo II, Capítulo 2

Delegaciones Políticas en el Distrito Federal



Anexo III, Capítulo 2

Mapa mental sobre la problemática central de la investigación y el ámbito de intervención del diseño industrial



Anexo IV, Capítulo 4 VOLUMEN DE CAPTACIÓN PLUVIAL POR DELEGACIÓN POLÍTICA

Objetivo

El objetivo de este anexo es presentar los resultados del análisis de un escenario de captación pluvial doméstica en la Ciudad de México para generar criterios aplicables al diseño de sistemas de captación desde la perspectiva de la disponibilidad de recursos hídricos pluviales y de requerimientos de consumo familiar.

Método

La determinación de los posibles volúmenes de captación pluvial doméstica por Delegación Política en el Distrito Federal se realizó siguiendo las siguientes etapas de trabajo documental:

1. Se documentó el promedio mensual histórico de precipitación pluvial en la Ciudad de México.
2. Se seleccionó aleatoriamente una muestra de 100 edificaciones en la Ciudad de México para obtener dimensiones promedio de las áreas de captación doméstica en techos. Esta muestra es demasiado pequeña para asignarle representación estadística. No obstante, se realizó un ajuste con el perfil socioeconómico de las delegaciones con la finalidad de dotar al ejercicio de cierta representatividad. Las unidades domiciliarias muestreadas fueron identificadas desde la perspectiva aérea. La siguiente tabla expresa las viviendas seleccionadas por cada delegación política:

Delegación	Viviendas particulares habitadas	Porcentaje	Muestra =	Ajuste de muestra	Estrato socioeconómico	Población	Porcentaje	Estratos socioeconómicos	Porcentaje de población
	1	100				2			
Azcapotzalco	110842	5.2%	5	5	4	441008	5%	5	15%
Coyoacán	164487	7.7%	8	7	5	640423	7%	4	50%
Cuajimalpa de Morelos	34567	1.6%	2	3	2	151222	2%	3	0%
Gustavo A. Madero	296211	13.9%	14	13	4	1235542	14%	2	34%
Iztacalco	99000	4.7%	5	5	4	411321	5%	1	1%
Iztapalapa	407660	19.2%	19	19	2	1773343	21%		
Magdalena Contreras	51322	2.4%	2	3	2	222050	3%		
Milpa Alta	21724	1.0%	1	1	1	96773	1%		
Álvaro Obregón	164889	7.8%	8	7	4	687020	8%		
Tláhuac	69991	3.3%	3	4	2	302790	4%		
Tlalpan	141327	6.7%	7	7	4	581781	7%		
Xochimilco	83176	3.9%	4	5	2	369787	4%		
Benito Juárez	116708	5.5%	5	4	5	360478	4%		
Cuauhtémoc	149352	7.0%	7	7	4	516255	6%		
Miguel Hidalgo	95568	4.5%	4	4	5	352640	4%		
Venustiano Carranza	117808	5.5%	6	6	4	462806	5%		
TOTAL	2124632		100	100		8605239			

Para la determinación de la muestra se realizó el siguiente procedimiento. En primer lugar se consideró la cantidad total de viviendas particulares habitadas censadas en el

año 2000 en cada Delegación Política del Distrito Federal, esto es 2'124,632. Luego se procedió a definir el porcentaje de cada delegación en el total de viviendas. Con esta información y con el criterio de muestrear 100 casos se procedió a realizar una primera distribución de las viviendas muestreadas en razón de los porcentajes de vivienda en cada delegación.

Por otro lado se cuantificó la población censada en el año 2000 en cada delegación política, para obtenerse un total de 8'605,239 habitantes. Se obtuvo el porcentaje de población delegacional con respecto al total.

También se consideró el estrato socioeconómico generado por el INEGI para cada delegación, conforme a 5 categorías.

Con la información relativa a la población delegacional y los datos generados por el estrato socioeconómico predominante en cada delegación se ajustó la primera distribución de la muestra para obtener una determinación del número de viviendas a dimensionar en cada Delegación, considerando tanto el porcentaje de viviendas con respecto al total en el Distrito Federal como el porcentaje con respecto a la distribución por estratos socioeconómicos.

La muestra se seleccionó considerando la densidad poblacional en cada Delegación Política y los estratos económicos de la población. Para llevar a cabo las mediciones de las áreas de captación (techos de viviendas) se empleo el software GoogleEarth y su aplicación de dimensionamiento.

3. Con la información anterior se estableció un escenario para cada promedio de superficie delegacional de captación pluvial doméstica considerando el nivel de precipitación en cada zona del Distrito Federal en un techo construido de losa de concreto (al que se le denominó techo A).

4. Finalmente, se comparó el volumen de captación estimado contra los requerimientos de uso de agua a nivel doméstico, con la finalidad de obtener un referente del ritmo de consumo posible de los recursos hídricos pluviales.

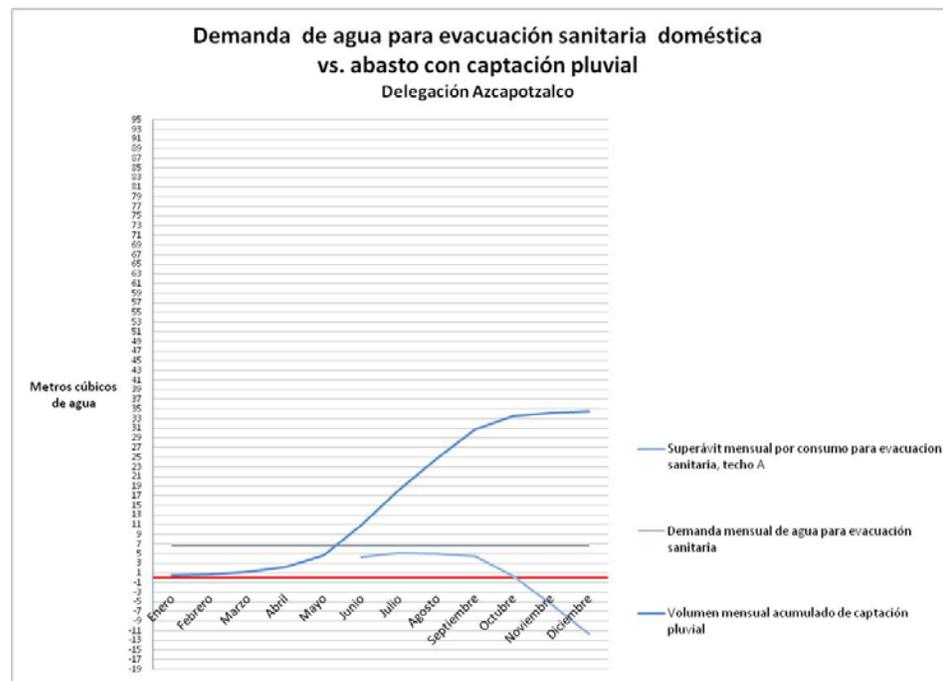
Resultados

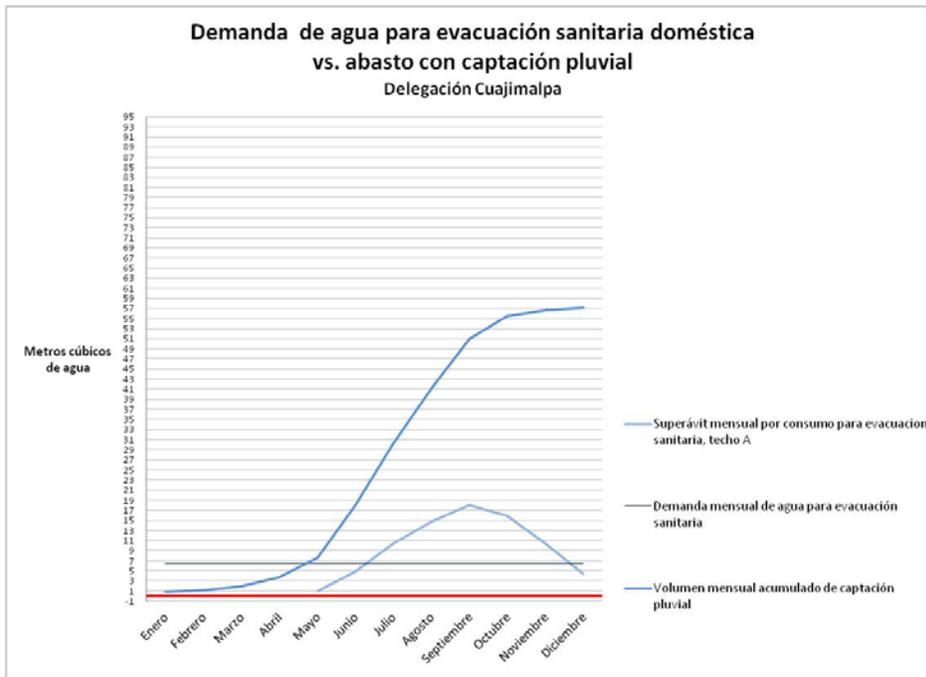
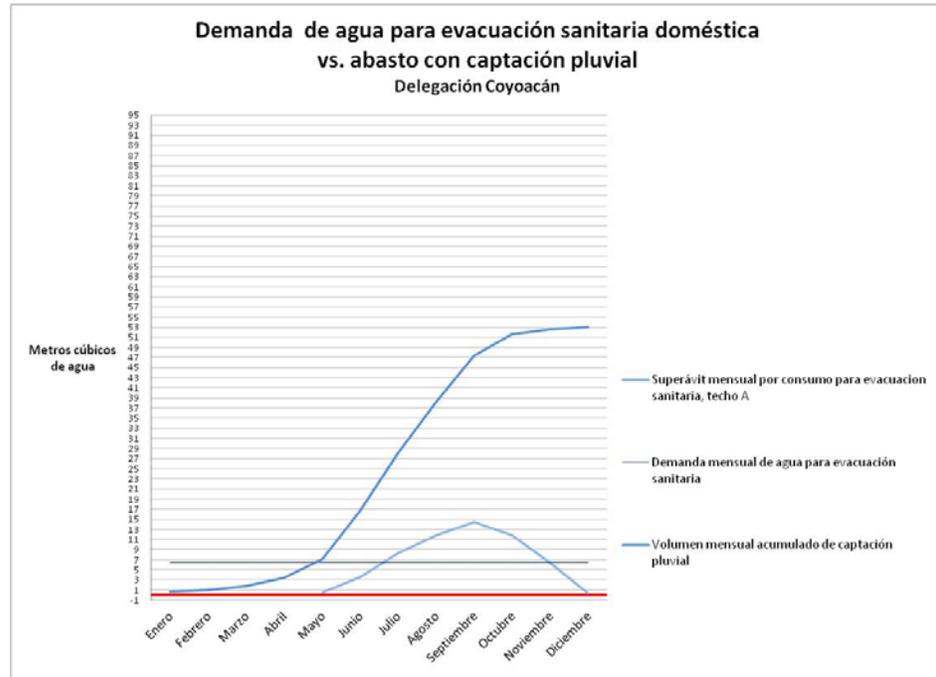
El análisis contempló una estimación del volumen de captación de precipitación pluvial para cada una de las 16 Delegaciones Políticas que constituyen el territorio del Distrito Federal. Con la información obtenida se elaboró un escenario en el que el volumen de captación mensual se contrasta con los requerimientos domésticos de agua para la actividad específica de la evacuación sanitaria (34% del consumo de agua doméstico).

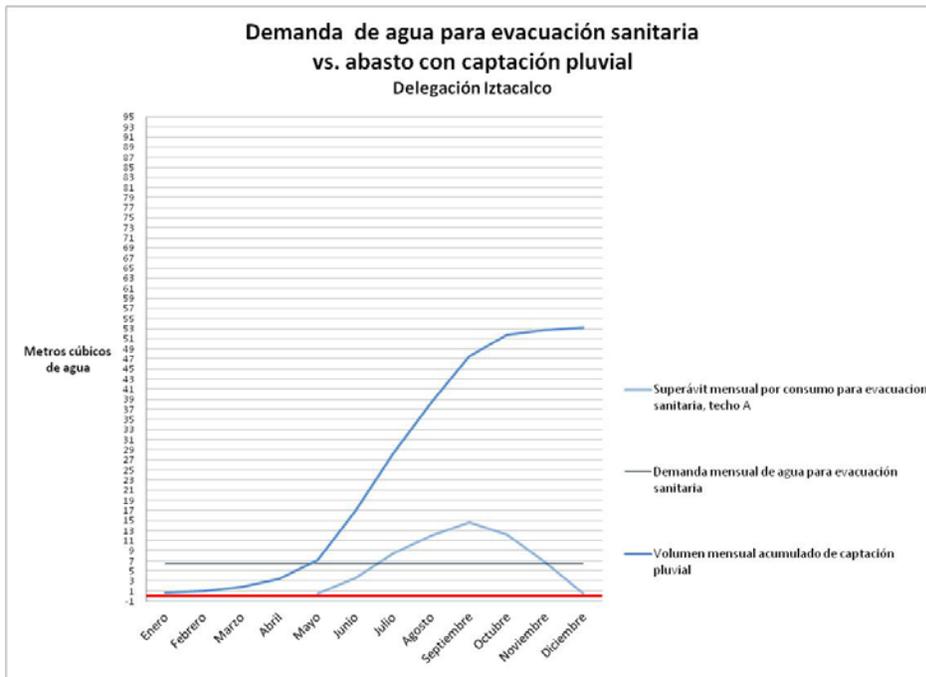
El agua utilizada para evacuación sanitaria se seleccionó entre otras, -como el agua empleada para higiene personal (39%), el lavado de ropa (14%) o otros usos (13%)-, en virtud de que se trata de un uso que no requiere tratamiento especial del agua de lluvia cosechada y, en segundo término, ésta sola actividad representa la tercera parte de la demanda de recursos hídricos a nivel doméstico. No obstante, es necesario aclarar que el uso de este indicador constituye solamente un parámetro de comparación con la disponibilidad de recursos hídricos y de ningún modo se quiere sugerir que la evacuación sanitaria sea el fin de la captación pluvial en la Ciudad de México.

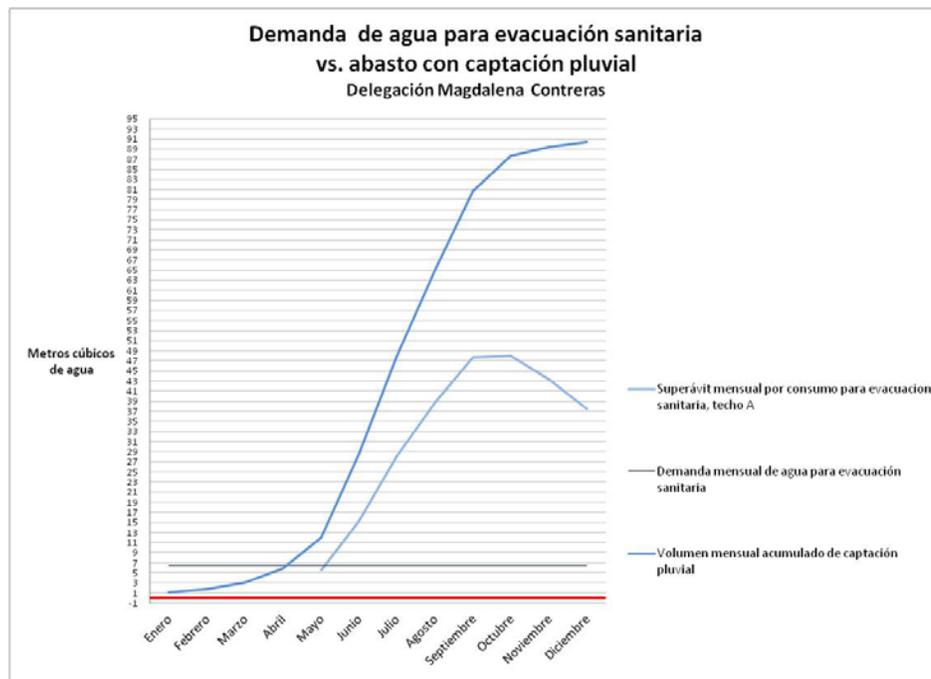
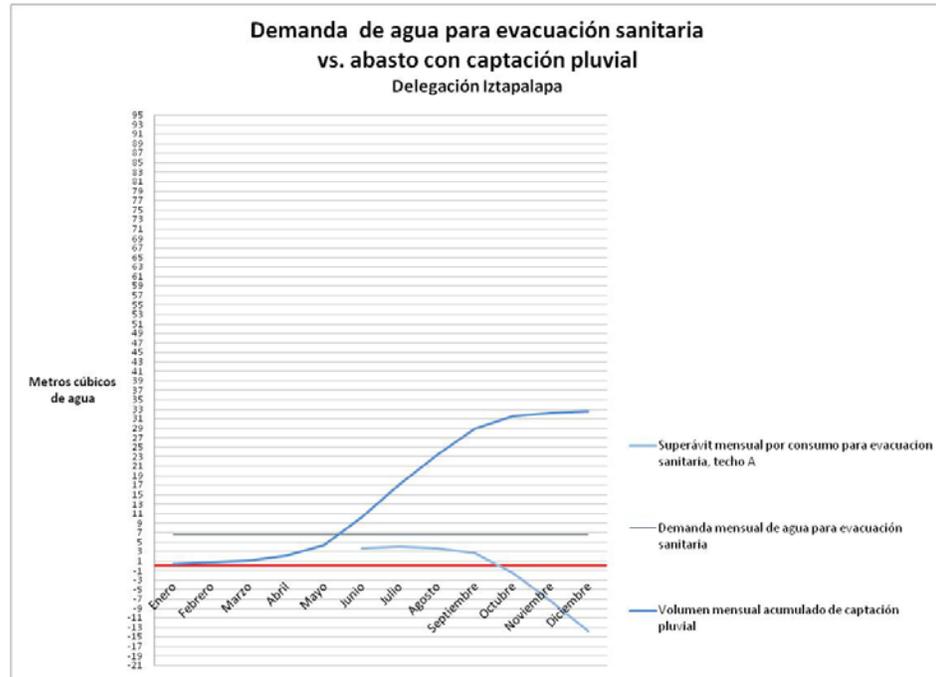
Para elaborar los escenarios se consideró un índice promedio de evaporación de 20% constante a lo largo de todos los meses del año. En la realidad la temperatura ambiental es variable a lo largo del año y en consecuencia la evaporación es un fenómeno también variable.

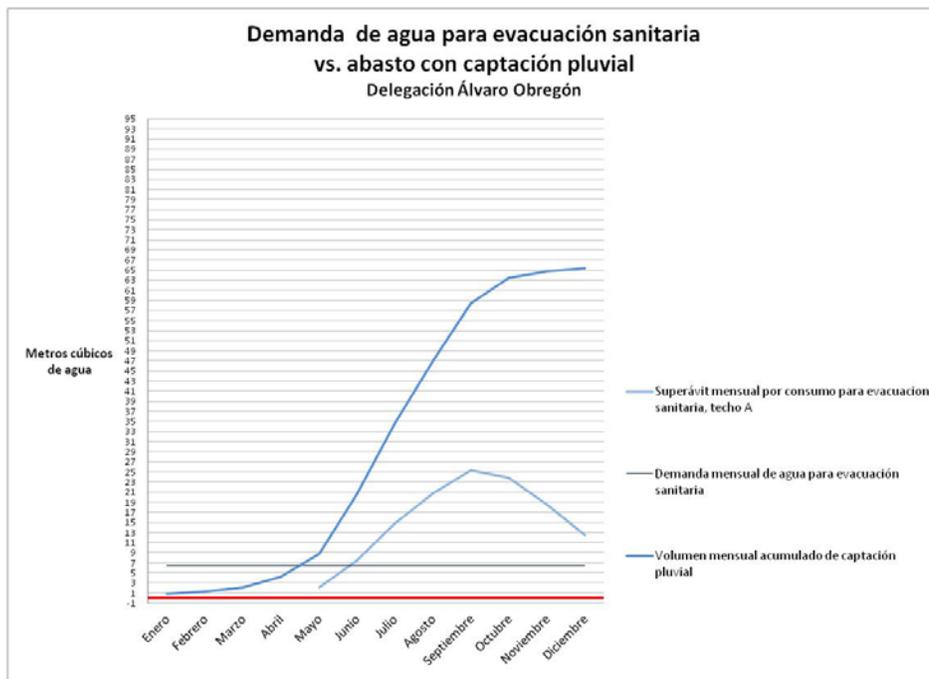
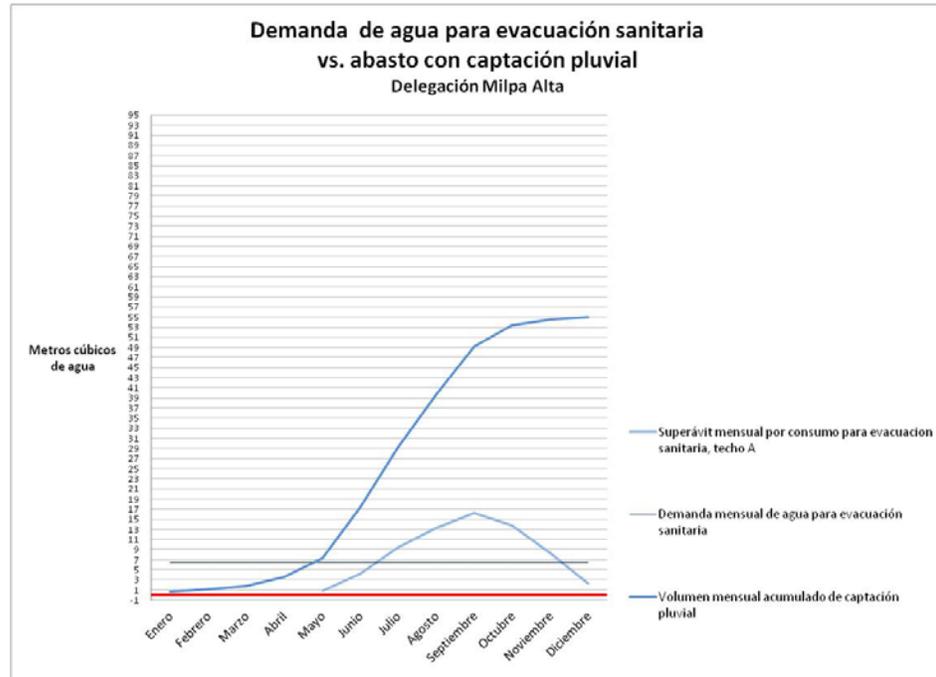
Las gráficas que se presentan a continuación muestran los resultados de los escenarios de captación y consumo proyectados:

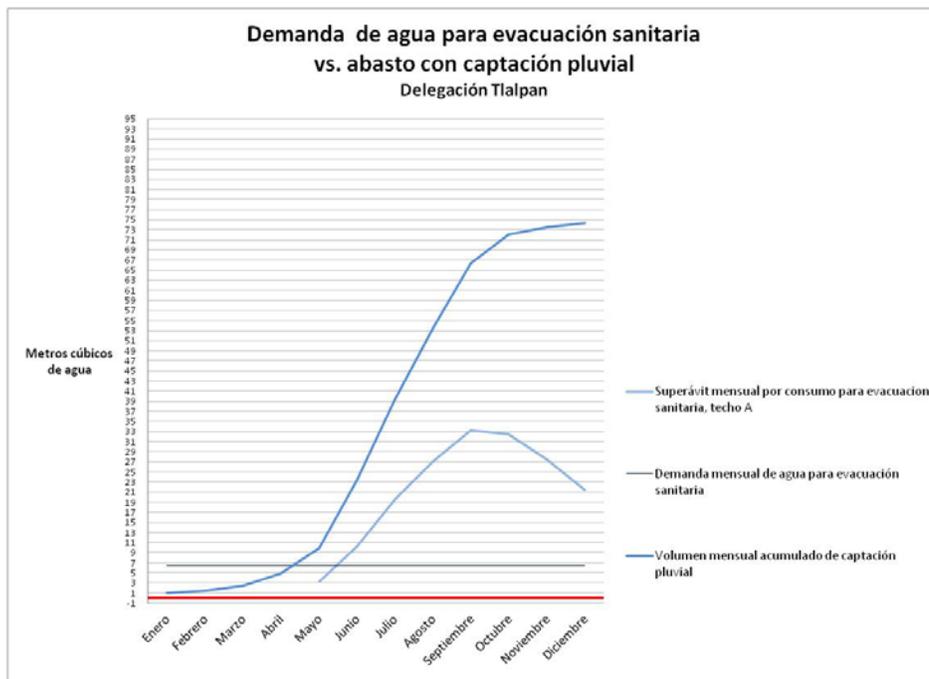
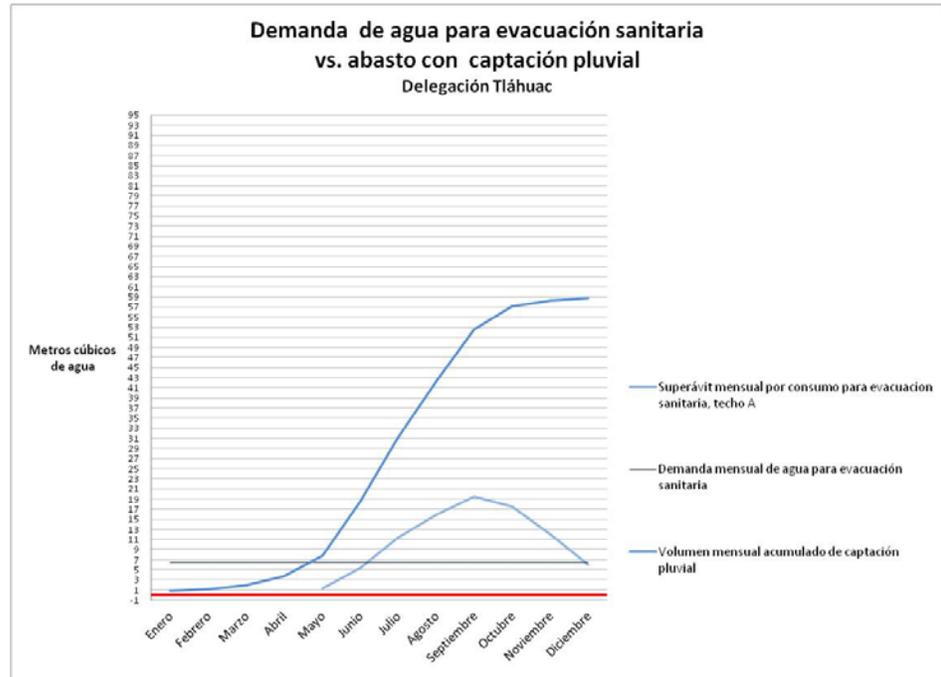


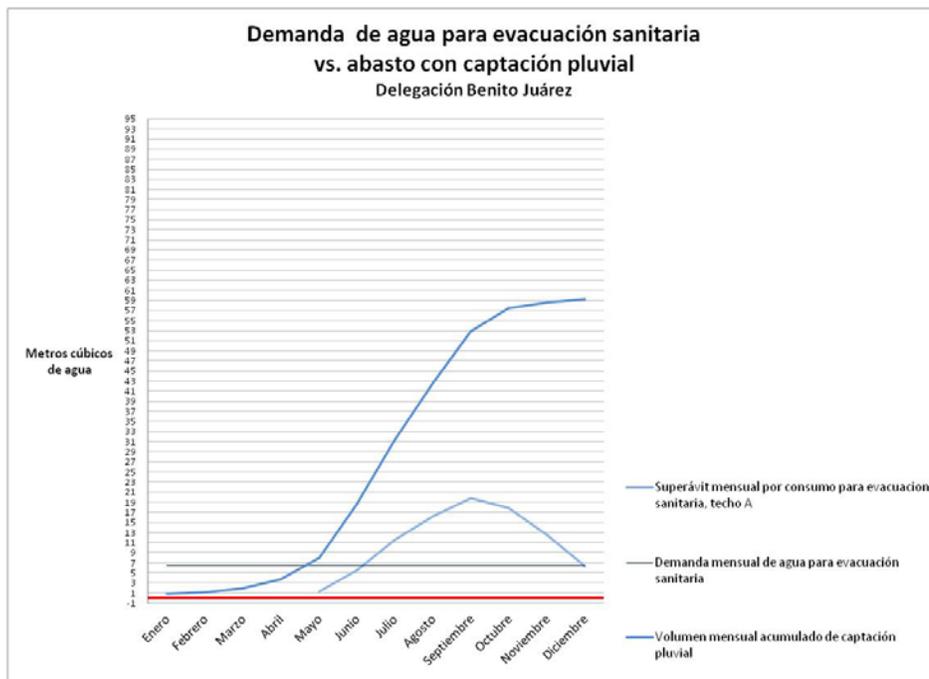
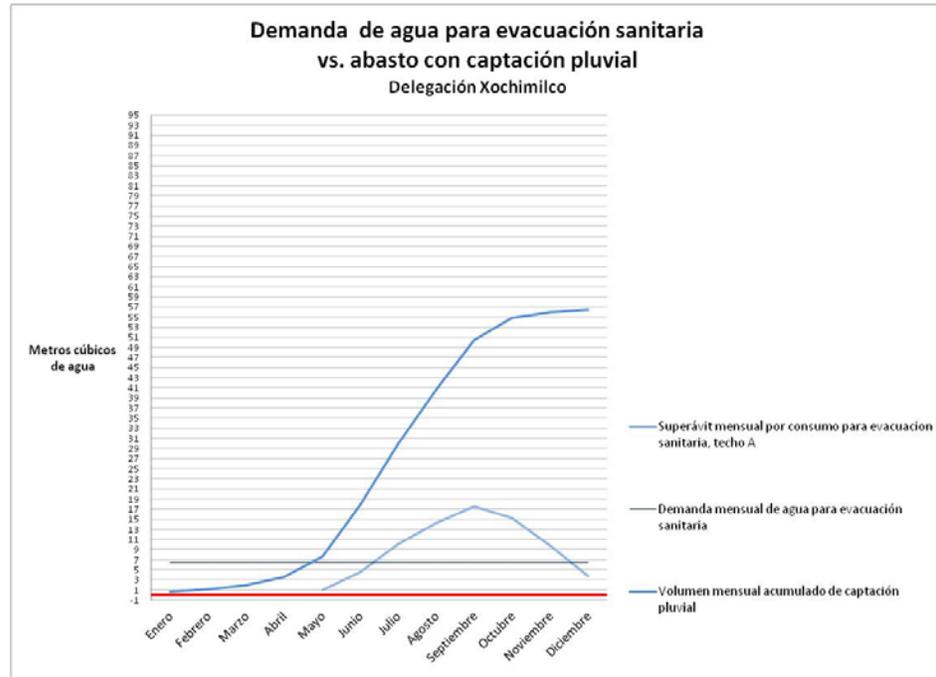


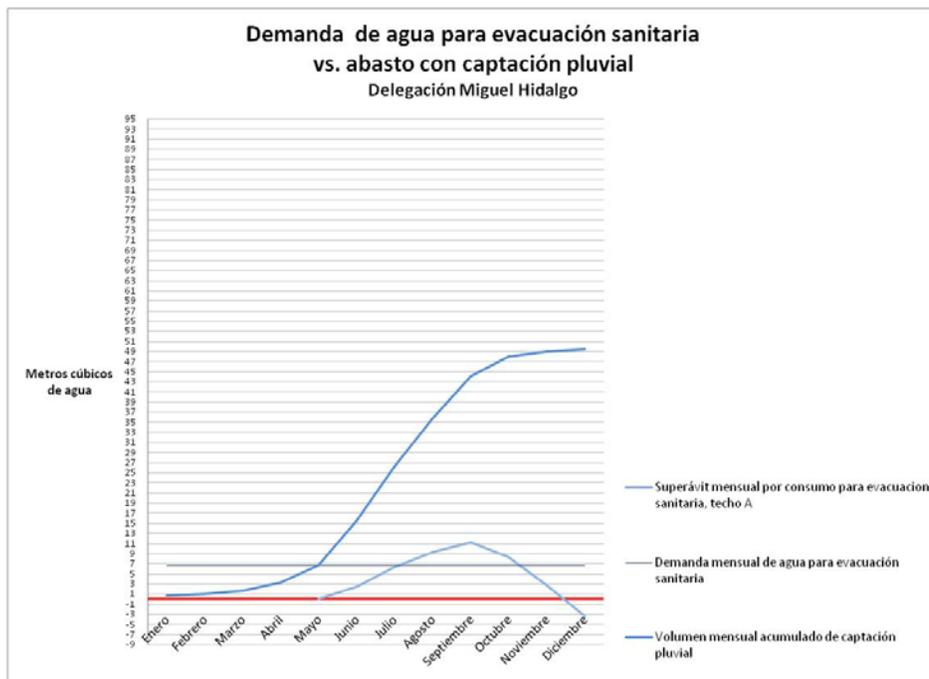
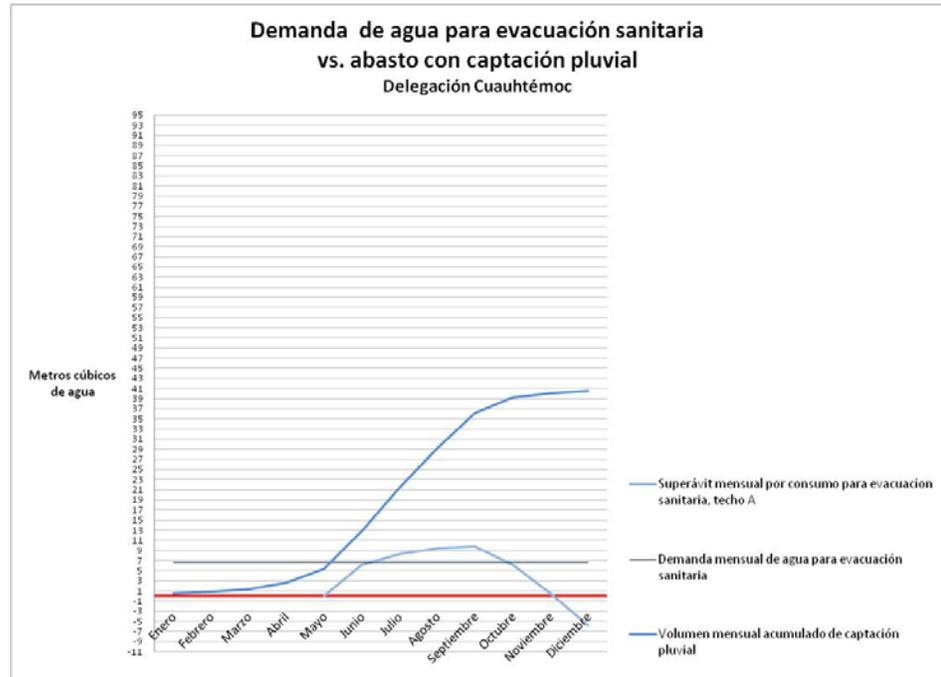


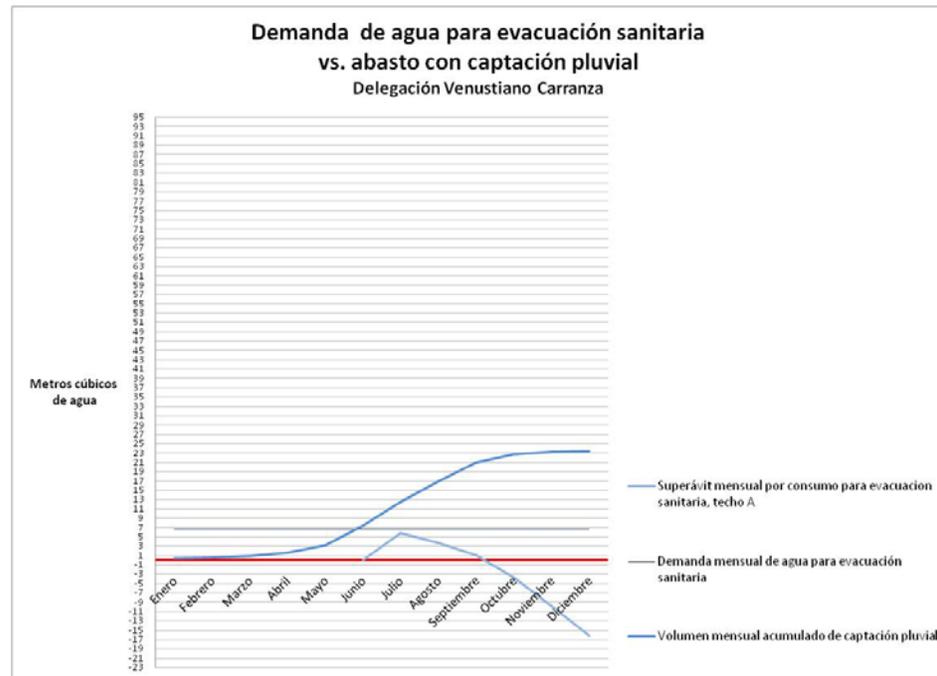












Discusión

Las delegaciones más densamente pobladas tienen mayores limitaciones para la captación pluvial, debido a que en esas zonas llueve menos y las viviendas tienden a tener un tamaño más reducido.

De acuerdo con los escenarios presentados la captación pluvial debe ser un proceso desarrollado de forma permanente a lo largo del año pero, suponiendo una utilización para evacuación sanitaria, el uso puede comenzar a partir de junio para las Delegaciones de menor volumen de captación (4 Delegaciones) y en mayo para las Delegaciones con mayor volumen (12 Delegaciones).

En el caso de las 10 Delegaciones con mayor volumen de captación pueden hacer uso del recurso a lo largo de 8 meses del año. Las 6 Delegaciones con menor volumen pueden hacer uso del recurso desde un periodo de 3 a 7 meses, de acuerdo con el volumen de captación y en la suposición de un uso para evacuación sanitaria.

El volumen mínimo anual de capacidad de almacenamiento está dado por la Delegación Venustiano Carranza, con 5 metros cúbicos de agua, mientras que el volumen máximo anual está dado por la Delegación Magdalena Contreras, con 49 metros cúbicos, para un uso supuesto de evacuación sanitaria.

Ocho de las 16 Delegaciones tendrían superávits en su reserva de agua para el año siguiente, en el supuesto del uso para evacuación sanitaria.

En el caso de que el uso del recurso hídrico fuera diferente al supuesto y de menos demanda los volúmenes de capacidad de almacenamiento tendrían que ser mayores a los especificados en el rango del párrafo previo. A su vez, con usos más intensivos del agua se requerirían capacidades de almacenamiento menores. Del mismo modo, se infiere que un uso menos intensivo del agua requiere un gasto menor en infraestructura de distribución y un uso más intensivo requiere un gasto mayor en la infraestructura necesaria para su distribución.

Conclusiones

La captación pluvial doméstica constituye una alternativa de abasto complementario a las fuentes de abasto actuales del recurso hídrico en la Ciudad de México. No obstante, los grandes volúmenes posibles de almacenamiento plantean, junto con la infraestructura adecuada para el uso del agua de lluvia, los factores más relevantes a ser atendidos para la implementación de esta alternativa. Estos factores tienen que ser considerados a la luz de los posibles usos a los que se desee orientar el agua captada, y a los ritmos reales de ese consumo.

Los diferentes escenarios delegacionales nos brindan una clara expresión de la diversidad de situaciones que se pueden presentar y ello nos conduce a enfatizar el carácter de flexibilidad que debe privar en el diseño de sistemas de captación pluvial para el medio urbano.

Un aspecto que puede afectar de manera negativa la implementación de sistemas de captación doméstica urbana es el referido a las características climáticas de las Delegaciones con menores índices de precipitación. Como antes advertimos, se trata también de las zonas más densamente pobladas y que padecen de modo acentuado la escasez de agua en la actualidad.

BIBLIOGRAFÍA

Aguilar Flores, Felipe; *Posibilidades técnicas del uso de dispositivos de infiltración de agua en las cuencas del suroeste del Distrito Federal*, Tesis de Licenciatura, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 2007.

Ávila García, Patricia; *Agua, cultura y sociedad en México*, El Colegio de Michoacán, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México, 2002.

A water harvesting manual for urban areas. Case studies from Delhi, Centre for science and environment, New Delhi, 2003.

Bonsiepe, Gui; *Las Siete Columnas del Diseño*, Universidad Autónoma Metropolitana, México, 1993.

Banks; Suzy y Richard Heinnichen; *Rainwater collection for the mechanically challenged*, Tank Town, Estados Unidos, 2004.

Bauman, Zygmunt; *Vida de consumo*, Fondo de Cultura Económica, México, 2007.

Collado, María del Carmen; *Miradas recurrentes I. La Ciudad de México en los siglos XIX y XX*, Instituto de Investigaciones Dr. José María Luis Mora, UAM, CONACYT, México, 2004.

Esquivel Garduño, Gabriela; *Prospectiva de la demanda de agua en México*, Tesis de Maestría, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 2005.

Fernández L, Bonifacio; Pedro Rivera y José P. Montt; *Con bajo impacto hidrológico-ambiental: uso de pavimentos permeables*, Revista BIT, noviembre de 2003.

Gould, John y Erik Nissen-Petersen; *Rainwater catchment systems for domestic supply. Design, construction and implementation*, Practical Action Publishing, Reino Unido, 1999.

Gray, N.F.; *Calidad del agua potable. Problemas y Soluciones*, Ed. Acribia, España, 1994.

Gleason Espíndola, Arturo; *Manual de aprovechamiento de agua pluviales en centros urbanos*, Centro Universitario de Arte, Arquitectura y Diseño, Universidad de Guadalajara, México, 2005.

¿Guerra por el agua en el Valle de México?, Programa Universitario de Estudios sobre la Ciudad, Universidad Nacional Autónoma de México, México, noviembre de 2005.

Hammer, Mark J., Mark J. Hammer Jr.; *Water and wastewater technology*, 6ª ed., Pearson, Prentice Hall, Estados Unidos, 2008.

Habermas, Jürgen; *The Structural Transformation of the Public Sphere, An Inquiry into a Category of Burgeois Society*, MIT, Polity Press, Chicago, 1989.

Hyde, Richard; *The environmental brief: pathways to green design*, Taylor and Francis, New York, 2006.

Hernández Frayuti, Regina (comp.); *La Ciudad de México en la primera mitad del siglo XIX*, Tomo II, Instituto de Investigaciones Dr. José María Luis Mora, México, 1994.

Kinkade-Levario, Heather; *Design for Water, Rainwater harvesting, Stormwater catchment and Alternate water reuse*, New Society Publishers, Canadá, 2007.

Lenz, Hans; *México-Tenochtitlán, ciudad lacustre. Según relato de sus cronistas*, Miguel Ángel Porrúa, México, 1991.

Legorreta, Jorge; *El agua y la Ciudad de México. De Tenochtitlán a la megalópolis del siglo XXI*, División de Ciencias Sociales y Humanidades, Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco, México, 2006.

Margolin, Victor; *Global Expansion or Global Equilibrium? Design and the World Situation*, Design Issues, Vol. 12, Num. 2, Verano, 1996.

Manzini, Ezio; *Artefactos*, Celeste ediciones, Madrid, 1996.

Morelli, Nicola; *Social Innovation and New Industrial Contexts: Can Designers Industrialize Socially Responsible Solutions?*, en *Design Issues*, Volume 23, Num. 4, MIT, MA , Autumn 2003.

Perló Cohen, Manuel; *El paradigma porfiriano. Historia del desagüe del Valle de México*, Programa Universitario de Estudios sobre la Ciudad, Instituto de Investigaciones Sociales, Universidad Nacional Autónoma de México, Miguel Ángel Porrúa Grupo editorial, México, 1999.

Pürschell, Walfang; *La captación y el abastecimiento de agua potable*, Urma Ediciones, Grijalbo, México, 1965.

Reflexiones y apuntes sobre la Ciudad de México, versión paleográfica, Introducción y notas por Ignacio González, Departamento del Distrito Federal, México, 1984; (atribuido a Baltasar Ladrón de Guevara).

Relaciones del desagüe del Valle de México, Años 1555 a 1823, 3ª edición, Secretaría de Obras Públicas, México, 1976.

Rodríguez Morales, Luis; *Diseño: estrategia y táctica*, Editorial Siglo XXI, México, 2005.

Rose, J (edit.); *Water and environment*, Gordon and Braec Science Publishers, Estados Unidos de América.

Sánchez Flores, Ramón; *Historia de la tecnología y de la invención en México*, Fomento Cultural Banamex, México, 1980.

Saldívar, Américo, *De la economía ambiental al desarrollo sustentable*, Programa Universitario del Medio Ambiente, UNAM, México, 1998.

Simon, Herbert; *Las Ciencias de lo Artificial*, COMARES, Granada, 2006.

Tapia, Alejandro; *El Diseño gráfico en el espacio social*, Editorial Designio, Colección Teoría y práctica, México, 2004.

Tortolero Villaseñor, Alejandro; *El agua y su historia. México y sus desafíos hacia el siglo XXI*, Siglo XXI editores, México, 2000.

Turriano, Pseudo Juanelo; *Los veintiun libros de los ingenios y de las máquinas, I*, Colegio de Ingenieros de caminos, canales y puertos, Ediciones Turner, España, 1983.

Valek Valdés, Gloria; *Agua, reflejo de un valle en el tiempo*, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 2000.

Water in Mexico, Comisión Nacional del Agua, Subdirección General de Programación, México, 2006.