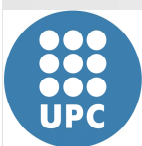




Auditoría y estudio de las causas de insostenibilidad de la gestión del agua en el DF y ZMVM



Arq. Christopher Ramos Mota
Master en Sostenibilitat
Tutor: Beatriz Escribano Rodríguez de Robles
Universitat Politècnica de Catalunya

Agradecimientos

Agradezco a mi tutora Beatriz Escribano por su empeño en que este documento fuera presentado con el rigor científico que se merece y por su amistad.

A mi pareja Daniela Torreblanca por su paciencia y apoyo para llevar a cabo éste proyecto de vida para ambos que fue realizar una estancia de estudios en Barcelona, España para desarrollarnos profesionalmente.

A mis padres Lilia Ana Mota Castillo y Eduardo Ramos Fernández que considero mis dos pilares de vida, quienes me han dado la valiosa educación que ahora tengo y su apoyo moral, además de su comprensión incondicional en todo momento.

A mis abuelos que han sido parte fundamental de mi formación como persona. También quiero agradecer a todas las personas grandiosas y especiales que conocí en mi estancia de maestría tanto en Barcelona, España como en la Universitat Politècnica de Catalunya.

Dedicatoria

Este trabajo se lo dedico a mi futura esposa Daniela Torreblanca Guzmán
a mis padres Lilia Ana Mota Castillo y Eduardo Ramos Fernández
a mis abuelos Ana María Castillo Pérez y Miguel Mota Hipólito

Resumen

Lo que ha llevado a realizar ésta investigación, así como éste camino profesional que he tomando acerca de arquitectura y sostenibilidad ha sido debido a que durante mis estudios en la licenciatura de arquitecto me comencé a hacer preguntas que generalmente nadie hace en la arquitectura tradicional acerca de los posibles daños ambiental, social y en ocasiones económico que podrían generarse, cuando se construye; se contratan numerosos camiones que salen de la construcción con “residuos” naturales y desperdicios de construcción y éstos generalmente tienden a terminar en tiraderos de basura y muchos profesionales no se preocupan de ello, ésta parte de analizar los impactos que genera una construcción lo da el estudio de la sostenibilidad.

En la presente investigación se hará un análisis de la insostenibilidad, en primera instancia del estado del recurso hídrico (llámese agua dulce) a nivel mundial y la relación que guarda éste con las actividades antropogénicas, describiendo indicadores desarrollados por investigadores reconocidos a nivel internacional, con los que dan un panorama gráfico y descriptivo de la situación que vive cada uno de los continentes del Planeta Tierra con respecto a la existencia, gestión y re-uso de los recursos hídricos de cada continente.

En la segunda parte de la investigación trataremos el tema del estado del recurso hídrico a nivel país de los Estados Unidos Mexicanos (México), con el fin de acotar la escala de la información para finalmente enfocar esta investigación a una escala más puntual donde entramos en la tercera parte donde trataré la insostenibilidad del recurso hídrico en la Ciudad de México y su Zona Metropolitana, la cual es el área de estudio fundamental de esta investigación.

Después se desarrollará un balance hídrico gráfico en el que se muestra el metabolismo urbano del agua en la Ciudad de México y su Zona Metropolitana, pudiendo observar que las entradas de agua potable son en base a extracciones desde pozos profundos, por importación de otras cuencas y manantiales (que son los menos); además se podrá ver la etapa de distintos usos que se le da al recurso hídrico en la ciudad y a su vez las salidas del recurso hídrico tanto de desvío del mismo a otras cuencas como el re-uso.

Por último, se tratarán las causas de insostenibilidad ambiental, social y económicas del recurso hídrico encontradas en el desarrollo de esta investigación.

Abstract

The motive to develop this research, plus the professional road that I took of architecture and sustainability has been due to my concerns about environmental, social and economic impacts that no one is used to ask in traditional architecture through my studies in the faculty, when construction buildings take place; many trucks are hired that take all the natural and construction waste out of the site, which tend to end up in landfills, and no one cares; the impact analysis of construction is founded easier to achieve it through sustainability.

In the present investigation it would be an analysis of insustainability, firstly the state of hydric resources (also known as sweet water) in all the world and the relation that this and the anthropogenic activities, describing indicators developed by known international researchers, which give us a graphic panoramic and describe the situation that lives each one of the continents of the Planet regarding the existence, using and re-using of the hydric resources of each continent.

In the second part of this research we'll talk about the state of water resources in the United Mexican States (Mexico), to limit the scale of information to finally address this research to a point scale where we enter the third part where the unsustainability of water resources in Mexico City and its metropolitan area, which is the area of fundamental study of this investigation.

After this, I'll develop a graphic hydric balance in which it would demonstrate the urban metabolism of the water in Mexico City and its Metropolitan Zone, observing the entrance of pure water that are based on extraction on deep wells, of imports from other basins and springs (which are the less); also the stage from different applications to water resources in the city is given and the outputs both from the drift of water resources to other basins as the reuse of it.

In the last part, I will address the environmental, social and economic unsustainable causes of the water resources founded through this research.

Índice

	página
1. INTRODUCCIÓN.....	9
2. OBJETIVOS.....	10
3. ESTADO DEL ARTE.....	12
3.1 INTRODUCCIÓN.....	12
3.2 CICLO DEL AGUA.....	13
3.2.1 Climatología en el mundo.....	15
3.2.2 Pluviometría en el mundo.....	18
3.2.3 Índice de Humedad Climática.....	19
3.2.4 Ciclo del agua urbano.....	20
3.3 RECURSOS HÍDRICOS EN EL MUNDO.....	21
3.3.1 Aguas superficiales.....	22
3.3.2 Aguas subterráneas.....	22
3.3.3 Cambio climático y su influencia en el ciclo del agua.....	23
3.4 INDICADORES DETERMINANTES DEL RECURSO HÍDRICO EN EL MUNDO.....	26
3.4.1 Indicadores ambientales.....	26
3.4.1.1 Extracción de agua superficial y subterránea.....	27
3.4.1.2 Extracción de agua por habitante.....	29
3.4.1.3 Disponibilidad de agua dulce por persona y año.....	30
3.4.1.4 Índice de Estrés Hídrico.....	31
3.4.2 Indicadores socio – económicos del recurso hídrico.....	32
3.4.2.1 Población.....	32
3.4.2.2 Producto Interno Bruto.....	33
3.4.2.3 Índice de Desarrollo Humano.....	34
3.4.2.4 Índice de Pobreza de Agua.....	35
3.4.2.5 Huella hídrica del consumo por persona, por país 1997 – 2001.....	37
3.4.2.6 Huella hídrica de la producción, por país 1997 – 2001.....	38
3.4.2.7 Uso del agua dulce por sector a principios del año 2000.....	40
3.4.2.7.1 Sector agrícola.....	41
3.4.2.7.2 Sector industria.....	41
3.4.2.7.3 Sector doméstico.....	41
3.4.3 Objetivo de Desarrollo del Milenio.....	42
3.5 CONCLUSIÓN.....	43
3.6 VISIÓN GLOBAL DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS.....	46
3.6.1 Factores Ambientales.....	46
3.6.1.1 Climatología.....	46

3.6.1.2 Pluviometria.....	48
Escurrimiento natural medio	
3.6.1.3 Recarga natural media.....	50
3.6.1.4 Extracción total bruta anual.....	51
3.6.1.5 Disponibilidad natural media total.....	52
3.6.1.6 Contaminación y calidad del agua potable.....	53
3.6.1.7 Presas hídricas.....	56
3.6.2 Factores socio – económicos.....	56
3.6.2.1 Crecimiento de población en el país.....	57
3.6.2.2 Evolución del Producto Interno Bruto.....	58
3.6.2.3 Índice de Desarrollo Humano (IDH).....	59
3.6.2.4 Cuencas y regiones hídrico – administrativas Usos del agua....	60
3.6.2.5 Clasificación de los usos del agua (Comisión Nacional de Agua).....	61
3.6.2.6 Usos del agua y su distribución.....	61
3.6.2.6.1 Uso agrícola.....	61
3.6.2.6.2 Uso industrial.....	62
3.6.2.6.3 Uso doméstico.....	62
3.6.2.7 Tratamientos de agua.....	63
3.6.2.7.1 Plantas potabilizadoras.....	63
3.6.2.7.2 Plantas de depuración de aguas residuales.....	63
3.7 ESCENARIO FUTURO.....	64
3.8 CONCLUSIÓN.....	66
4. CIUDAD DE MÉXICO Y ZONA METROPOLITANA.....	69
4.1 INTRODUCCIÓN.....	69
4.2 FACTORES AMBIENTALES.....	70
4.2.1 Ubicación Geografía.....	70
4.2.2 Estado del ciclo hídrico urbano en la Ciudad de México y Zona Metropolitana del Valle de México.....	70
4.2.2.1 Región hídrico – administrativa XIII.....	70
4.2.2.2 Acuíferos de la Cuenca del Valle de México.....	73
4.2.2.3 Recursos Hídricos.....	74
4.2.2.3.1 Climatología.....	74
4.2.2.3.2 Pluviometria.....	80
4.2.2.3.3 Recarga natural media.....	82
4.2.2.4 Extracción total bruta de agua potable.....	83
4.2.2.5 Sistemas de importación de agua potable.....	83
4.2.2.5.1 Sistema Lerma – Cutzamala.....	84
4.2.2.5.2 Sistema de Pozos, Plan de Acción Inmediata.....	89
4.2.2.6 Transporte del agua a través de la Ciudad de México y Zona Metropolitana del Valle de México.....	92
4.2.2.6.1 Macrocircuito.....	92
4.2.2.6.2 Acuaférico.....	93
4.2.2.7 Cobertura de agua en la Ciudad de México	

y Zona Metropolitana del Valle de México.....	93
4.2.2.8 Disponibilidad natural media total.....	94
4.2.2.9 Contaminación y calidad de agua potable.....	95
4.3 FACTORES SOCIO – ECONÓMICOS.....	96
4.3.1 Crecimiento de población en la Ciudad de México y Zona Metropolitana del Valle de México.....	96
4.3.2 Producto Interno Bruto.....	98
4.3.3 Acciones institucionales hacia la sostenibilidad en la Ciudad de México y Zona Metropolitana del Valle de México.....	98
4.3.3.1 Programa de Sustentabilidad Hídrica del Valle de México.....	98
4.3.3.2 Plan Verde de la Ciudad de México.....	99
4.3.4 Usos del agua.....	102
4.3.4.1 Aprovechamientos subterráneos.....	103
4.3.4.2 Uso agrícola.....	104
4.3.4.3 Uso doméstico.....	104
Comparativo de tarifas entre la Ciudad de México y Barcelona por el suministro de Agua Potable	
4.3.4.4 Uso industrial.....	106
4.4 FACTORES URBANOS.....	107
4.4.1 Desarrollo urbano del Valle de México.....	107
4.4.2 Metropolización de la Zona Metropolitana del Valle de México.....	118
4.4.3 Sistemas de drenaje y tratamiento de agua.....	120
4.4.4 Hundimiento diferencial de la Ciudad de México.....	126
4.4.5 Inundaciones en la Ciudad de México y Zona Metropolitana del Valle de México.....	131
5. BALANCE HÍDRICO DEL METABOLISMO URBANO DEL AGUA EN LA CIUDAD DE MÉXICO Y ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO.....	133
6. ANÁLISIS DE LAS CAUSAS DE INSOSTENIBILIDAD DE LA GESTIÓN DE AGUA EN LA CIUDAD DE MÉXICO Y ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO.....	135
7. CONCLUSION.....	137
8. BIBLIOGRAFÍA.....	140
9. ANEXO.....	145

Anexo A: Plan Verde de la Ciudad de México

1. Introducción

El agua ha sido un recurso vital desde la existencia de los primeros organismos vivos; en el caso de los seres humanos nos ha ayudado a desarrollar diversas actividades, sobre todo a partir de que el hombre es hombre, como herramienta de hidratación de nuestro organismo, bebiendo en ríos, lagos y manantiales, después aprendiendo por medio del fuego a hervirla para evitar contraer bacterias que nos ocasionaran enfermedades graves y en algunos casos la muerte; así como la práctica de la agricultura, siendo la base de la alimentación del hombre sedentario que se ubicaba a orillas de un río para beneficiarse tanto de la escurrentía de los ríos como de la temporada de lluvias anuales para cultivar sus alimentos, el que a su vez era limpiado con el agua de río para poderlo ingerir. Por otra parte el descubrimiento del agua como herramienta para la higiene, con la que descubrimos que podíamos eliminar gérmenes de nuestra piel evitando graves enfermedades transmisibles y pestes que también ocasionaban la muerte de poblados enteros, también nos ha ayudado a transportarnos a través de mares y ríos por medio de barcos, en sus inicios con fuerzas tomadas tanto del metabolismo humano como del aprovechamiento de las fuerzas naturales de los mares y ríos.

La gestión del agua a formado parte importante de las discusiones internacionales a partir de la Cumbre de Río de Janeiro en 1990; Donde investigadores internacionales se han dado a la tarea de determinar el estado del recurso hídrico alrededor del mundo para dar a conocer las existencias con las que se cuenta.

Es por ello que en ésta investigación los alcances que se perseguirán serán el realizar un análisis del balance hídrico de la Ciudad de México y su Zona Metropolitana durante un período determinado de años, plasmándolo gráficamente para poder apreciar de donde se obtienen los aportes hídricos para la ciudad y en que cantidad, cuanta agua se transporta en el desagüe, que porcentaje de la misma se reutiliza, y por último realizar un escenario de futuro, que permitirá prever sobre problemas futuros.

La Ciudad de México y Zona Metropolitana tiene problemas hídricos desde muchos años atrás, sin acciones concretas ni anunciadas por parte de los gobernantes para solventar el problema, a su vez hay inundaciones anuales que afectan la movilidad en la ciudad, destruyen los niveles de calle de casas y los drenajes no son suficientes para desaguar las avenidas que están pavimentadas, lo que me llevó a pensar que hay parte del proceso que no está funcionando adecuadamente.

La información obtenida en documentos para poder realizar ésta investigación fue de gran utilidad tanto a escala global como a escala Ciudad de México, en los documentos acerca del Planeta se presenta la situación actual del recurso hídrico, y los documentos sobre los Estados Unidos Mexicanos y Ciudad de México presentan la gestión hídrica y la evolución de la ciudad por décadas, también la información técnica de medición del recurso hídrico que es fundamental para poder conocer el estado actual.

2. Objetivos

En éste apartado se definirán los objetivos que deberán guiar la investigación del estado del recurso hídrico con los que se ha de ir conociendo la información relevante en cada uno de los apartados en los que se dividirá, determinando los diferentes referentes que nos lleven a conocer el estado del recurso hídrico.

Los objetivos a obtener son lo siguientes:

- Conocer el panorama actual de los recursos hídricos en los Estados Unidos Mexicanos.
- Determinar y analizar el balance hídrico de la Ciudad de México y su Zona Metropolitana, así como determinar si hay pérdidas en las distintas etapas del balance, conocer cuanto porcentaje representan éstas pérdidas dentro del total del balance.
- Realizar un posible escenario a futuro sobre el comportamiento del balance hídrico de los Estados Unidos Mexicanos en función de la oferta y demanda.
- Determinar las causas de sostenibilidad o insostenibilidad de la gestión del recurso hídrico



3. Estado del arte

3.1 Introducción

Para poder discutir el estado actual del agua cabe aclarar primero que hay varios estudios con respecto al tema desde diversas instituciones serias, que si se toma información de todas las fuentes puede darse cabida a contradicciones entre las diversas opiniones que se tienen sobre el recurso hídrico; se dará la información que mejor se adapte a éste estudio evitando las contradicciones; por tanto espero que tanto los datos, como el análisis aquí proporcionados cumplan con las expectativas del lector.

Uno de los aspectos que ha influenciado en poner especial atención al estado del agua hoy en día es que como veremos más adelante, la cantidad de agua dulce de la cual nos podemos sustentar tanto nosotros como los demás seres vivos en el mundo y que ayuda a tener mayor biodiversidad en el Planeta, en relación con la cantidad total de agua es muy baja, y la presión que está ejerciendo tanto el crecimiento de la población a nivel global como la actividad humana sobre esa pequeña porción de agua dulce está generando alteraciones irreversibles.

A su vez las estrategias de obtención del recurso no se hacen de manera adecuada, ni mucho menos se reparte de manera equitativa alrededor del mundo lo que genera desequilibrios entre las poblaciones y la posibilidad de acceso al agua dulce, lo que provoca impactos a nivel ambiental, social y económico.

En el siglo pasado se provocó una sobreexplotación y contaminación del recurso hídrico por el nivel de consumismo que se generó a raíz de la Revolución Industrial del siglo XVIII, con el que se confiaba en que cualquier recurso se podía explotar infinitamente y se podía obtener lo que se deseara, sin pensar que la naturaleza tiene un límite y que debe reajustarse de vez en cuando para poder proporcionarnos los recursos que nosotros necesitamos para vivir.

Ahora se intentará describir un panorama lo más amplio posible de lo que ocurre alrededor del recurso hídrico, esperando obtener suficientes herramientas para poder analizar más adelante con mayor criterio el estado actual de la ciudad de México y su gestión del recurso hídrico.

3.2 Ciclo del agua

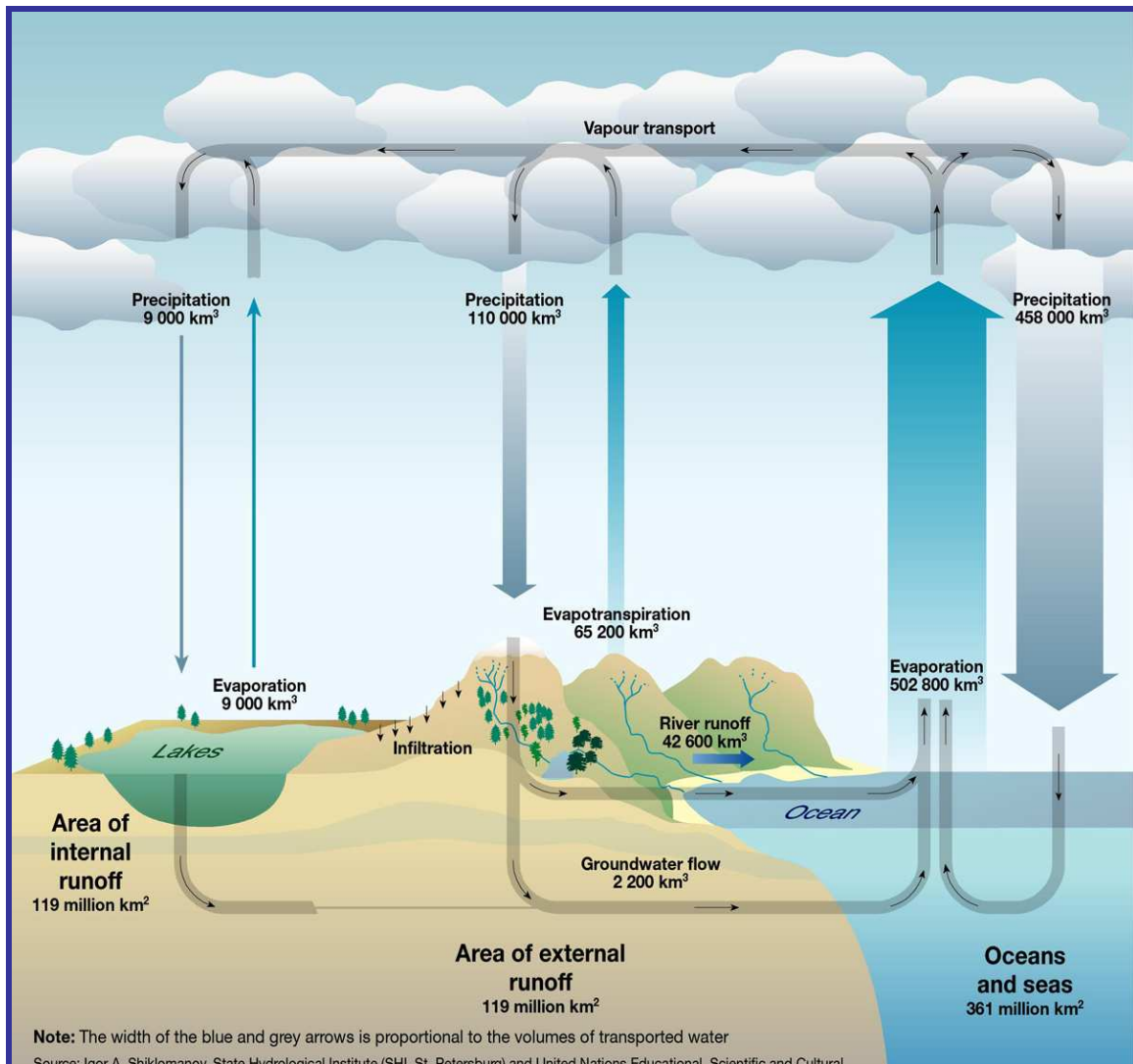


Imagen 3.2.1: Ciclo del agua. Fuente: A.Shiklomanov Instituto del estado hidrológico (State Hydrological Institute) San Petersburgo, 1999. UNESCO. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente .UNEP, 2008.

De acuerdo al *World Water Development Report (WWDR)* el agua en el mundo existe de manera natural bajo distintas formas y en distintos lugares: en el aire, en la superficie, bajo el suelo y en los océanos. Es por esto que es importante evaluar los flujos anuales de agua teniendo en cuenta donde y como se desplazan a lo largo del ciclo hidrológico.

El ciclo del agua a nivel mundial consiste en precipitación, transporte de vapor, evaporación, evapotranspiración, infiltración, corrientes de agua subterránea y escorrentía.

Se puede observar en la siguiente imagen acerca del ciclo del agua en el mundo, que el agua sufre transformaciones pero siempre es la misma cantidad entre el agua que se evapora y el agua que cae en forma de precipitaciones, representando cerca de $577,000 \text{ km}^3$ de agua anual, la cantidad que se evapora de mares y océanos es de $502,800 \text{ km}^3$, de los cuales recuperan por precipitación el 90% ($458,000 \text{ km}^3$), lo restante se precipita sobre la superficie terrestre.

La precipitación sobre montañas y glaciares donde se conservan en estado sólido es de 110,000 km³, para después formar escorrentías superficiales en ríos con alrededor de 42,600 km³ o corrientes subterráneas con alrededor de 2,200 km³ los cuales llegan nuevamente al mar.

Los otros 9,000 km³ se precipitan sobre lagos, pero provocan un micro ciclo donde la misma cantidad se devuelve a la atmósfera y que además tiene aportaciones hacia la escorrentía del flujo subterráneo de agua dulce.

El modelo que se presenta a continuación del ciclo del agua fue desarrollado por Falkenmark y Rockström en el año 2004.

Éste modelo conceptual tiene en cuenta los flujos de todas las aguas y trayectos que éstas siguen, a la vez distinguiendo entre dos componentes: agua azul y agua verde.

Las aguas azules están directamente relacionadas con los ecosistemas acuáticos y fluyen en masas de aguas superficiales y en acuíferos. El agua verde abastece los ecosistemas terrestres y la agricultura de secano a través de la humedad de los suelos y también es agua verde la que se evapora de las plantas y las superficies acuáticas a la atmósfera en forma de vapor de agua. (WWDR, 2009)

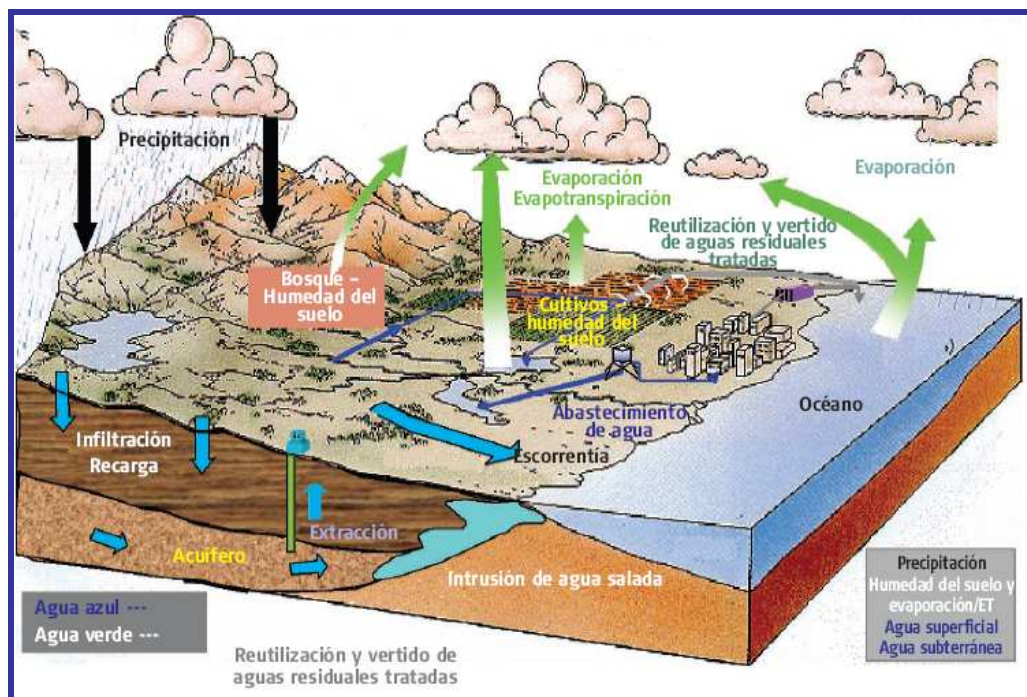


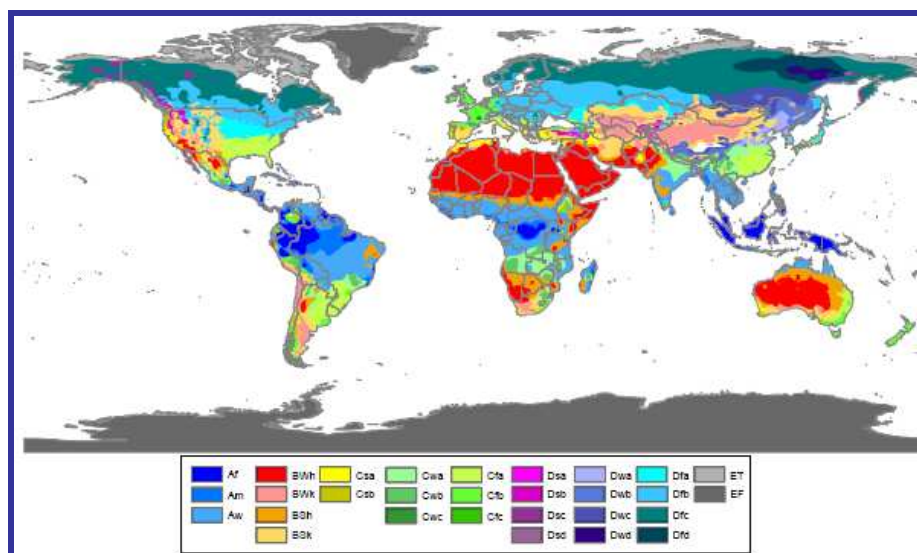
Imagen 3.2.2: Componentes hidrológicos en la actualidad. Fuente: UN WATER; "Water Resources", 2010

Como se puede observar, éste modelo toma en cuenta no sólo las etapas naturales del ciclo del agua sino a su vez incluye la influencia humana dentro del ciclo.

Donde describen la influencia de las actividades humanas sobre el ciclo natural, como es el abastecimiento de agua para los asentamientos humanos desde fuentes subterráneas o superficiales para uso doméstico, industrial o agrícola, a su vez introducen el concepto en el ciclo de la reutilización y

Todos ellos generando impactos importantes como por ejemplo en la extracción se puede generar la desecación de los acuíferos. Con la captación de las escorrentías para uso humano se genera que las tierras productivas, tanto bosques, tierras de cultivo y tierras de pastoreo pierdan humedad y se sequen; con lo cuál se pierde comida para alimentar al ganado, los bosques que nos proveen de madera para diversos usos, dejando de crecer y mueren.

3.2.1 Climatología



El clima A que son los primeros tonos azules que aparecen en la nomenclatura, se refieren a un clima Tropical o Megatermal, donde el clima siempre es de una temperatura media superior de 18 °C, y las precipitaciones anuales son superiores a la evaporación.

f : precipitaciones constantes
m : precipitaciones constantes excepto algún mes seco y precipitaciones exageradas algunos meses
s : período seco en verano
w : período seco en invierno

Las combinaciones posibles son Af (Ecuatorial), Am (Monzónica), As (Sabana en verano seco), Aw (Sabana pero de invierno seco).

Estos climas los podemos encontrar en países como Brazil, Colombia, Venezuela, las Guyanas, Ecuador, Perú, zona centro de África, Indonesia y parte norte de la India.

El clima B llamado Seco (Árido, Semiárido) se caracteriza porque las precipitaciones anuales son inferiores a la evaporación. En éste tipo de clima la segunda letra explica el grado de aridez:

S : las lluvias medias anuales están entre un 50 y un 100% de la temperatura media anual multiplicada por 24;

W : las lluvias medias anuales están entre 0 y 50% de la temperatura media anual multiplicada por 24.

La tercer letra explica las temperaturas:

h : temperatura media anual por encima de 18º

k : temperatura media anual por debajo de 18º

Dando como resultado climas como BS (Estepario), BSh (Estepario Cálido), BSk (Estepario Frío), BW (Desértico), BWb (Desértico Cálido), BWk (Desértico Frío).

Estos climas se pueden hallar en la parte norte de África, Arabia Saudita, Iraq, Irán gran parte de Oriente Medio y Australia.

El clima C llamado también Templado o Mesotermal se caracteriza porque la temperatura media del mes más frío es menor a 18 °C y superior a -3 °C y la del mes más cálido es superior a 10 °C. Las precipitaciones exceden a la evaporación.

La segunda letra explica el régimen de lluvias:

f: precipitaciones constantes todo el año

s: verano seco, estación de lluvias no necesariamente en invierno

w: invierno seco, estación de lluvias no necesariamente en verano

La tercera letra explica el comportamiento de las temperaturas:

a: Subtropical

b: Templado

c: El verano es suave pues no se alcanzan los 22 °C de media en el mes más cálido

Las posibles combinaciones son Cf (Precipitaciones Constantes) donde incluyendo la tercer letra nos da los siguientes clima, Cfa (Verano Cálido), Cfb (Verano Suave), Cfc (Verano Frío). Cuando la combinación es Cs (Verano Seco) se tienen los siguientes climas, Csa (Verano Cálido), Csb (Verano Suave), Csc (Verano Frío). Cuando la combinación es Cw (Invierno Seco), nos da los siguientes climas en combinación con la tercer letra, Cwa (Invierno Cálido), Cwb (Invierno Suave), Cwc (Invierno Frío).

El clima Templado se puede encontrar en la mitad del territorio de Estados Unidos, en toda Europa, parte baja de Brazil, alta de Argentina, China y Australia en menor grado.

El clima D o Templado Frío se caracteriza por temperaturas media del mes más frío menor a -3°C y las del mes más cálido es superior a 10°C , las precipitaciones exceden la evaporación. En este clima el régimen de lluvias se explica con las siguientes letras:

- f : precipitaciones constantes todo el año
- s : verano seco, estación de lluvias no necesariamente en invierno
- w : invierno seco, estación de lluvias no necesariamente en verano

La tercer letra explica igual que en el caso anterior las temperaturas:

- a : Verano caluroso por encima de 22°C de media en el mes más caluroso, las temperaturas medias superan los 10°C al menos en cuatro meses;
- b : Verano suave no alcanza los 22°C de media en el mes más caluroso, las temperaturas medias superan los 10°C al menos en cuatro meses;
- c : Verano suave no alcanzan los 22°C de media en el mes más caluroso, las temperaturas medias superan los 10°C se dan en menos de cuatro meses;
- d : Verano caluroso por encima de 22°C de media en el mes más caluroso, las temperaturas medias superan los 10°C se dan en menos de cuatro meses.

La combinación de climas que resultan son, Df (Precipitaciones Constantes), de los que se denominan el Dfa (Verano Cálido), Dfb (Verano Suave), Dfc (Verano Frío), Dfd (Invierno Frío), en ellas se reparten las precipitaciones a lo largo del año. El clima Ds (Verano Seco) resulta en las siguientes combinaciones de climas, Dsa (Verano Cálido), Dsb (Verano Suave), Dsc (Verano Frío), Dsd (Invierno Muy Frío) en estos climas disminuyen las precipitaciones considerablemente en verano. Y el clima Dw (Invierno Seco), deriva en climas como Dwa (Verano Cálido), Dw b (Verano Suave), Dwc (Verano Frío), Dwd (Invierno Muy Frío) en éstos climas las precipitaciones disminuyen en invierno.

Este clima se puede encontrar en Canadá, los países nórdicos, Rusia y en menor cantidad al sur de Chile y Argentina.

Existe a su vez una 5 categoría que es el clima E que se llama Polar o de Alta Montaña el cual se caracteriza porque la temperatura media del mes más cálido es inferior a 10°C , es un clima extremadamente frío por lo que las estaciones no se perciben. Existen tres variantes:

ET o Tundra en la que la temperatura media del mes más cálido está entre 0 y 10°C . El clima EF o Hielo donde la temperatura media del mes más cálido es inferior a 0°C . Y el clima EH que se refiere a Alta Montaña éste se podría encuadrar en cualquiera de las categorías anteriores ya que son climas condicionados por la altura, generalmente superiores a los 1,500 msnm.

Estos climas se pueden encontrar en Groenlandia, en el continente Antártico y en la Antártida.

A nivel global el clima dominante por cantidad de área que abarca es árido B (con 30,2%) seguido del clima frío D (con 24,6%), tropical A (19,0%), templado C (13,4%), y polar E (12,8%). El clima más común por el área que abarca es BWh (desierto muy cálido).

3.2.2 Pluviometria

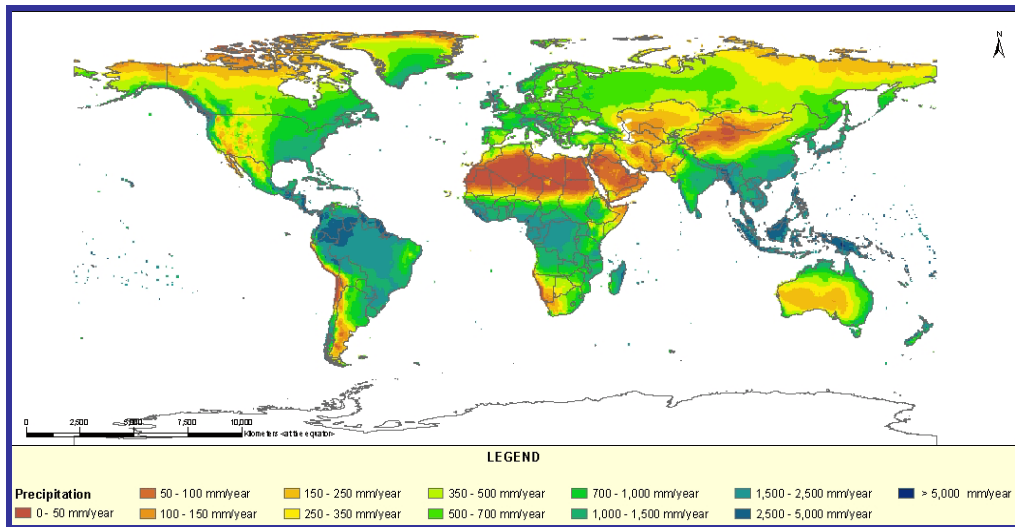


Imagen 3.2.4: Precipitación anual. Fuente: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) 1999.

De acuerdo al mapa que se presenta anteriormente realizado por la Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), la precipitación pluvial a nivel mundial va de los 50 mm/año a más de 5,000 mm/año, lo que significa que es muy desigual dependiendo de diversos factores tales como la altitud y longitud donde se encuentre uno, así como la humedad, temperatura a lo largo del año entre muchos otros.

La media de precipitación pluvial al año en el mundo es de 760 mm, ésta cantidad de precipitaciones son características en las regiones por encima del Trópico de Cáncer, en el continente americano se puede observar que la mitad Este de Estados Unidos, así como la parte Este de México están dentro del promedio mundial. Al igual, en el continente europeo todos sus países se encuentran dentro del promedio mundial.

La franja a nivel mundial que se encuentra entre el Ecuador y el Trópico de Capricornio en tonos azules se puede decir que cuenta con grandes cantidades de precipitación anual ya que se encuentran en un promedio de entre los 1,000 y 2,500 mm/año, ésta puede que no se encuentre con problemas de precipitaciones, pero es posible que por ser países en su mayoría en vías de desarrollo y algunos con una cantidad de aumento poblacional que es muy seguro que la distribución del recurso no sea equitativa o en ocasiones la infraestructura necesaria para aprovecharla no sea la adecuada.

Las zonas altas de Canadá, Rusia, Australia y la parte central de Estados Unidos y México donde predomina el color amarillo, significa que presentan un nivel bajo de precipitaciones lo que puede definirse como escasez media de precipitaciones, ya que al año hay estaciones específicas de lluvias y hay meses secos o con precipitaciones casi nulas.

Los países que se encuentran con tonalidades rojas o anaranjadas son aquellos que presentan pocas precipitaciones dando a entender que son climas desérticos árido o semiáridos, éstos se encuentran generalmente por encima del Ecuador como la zona norte de África, Arabia Saudita, Kazajstán y la parte norte de China, también hay zonas al norte de Chile. Estas regiones se encuentran en graves problemas de precipitación pluvial, con lo que se puede asegurar que se tienen una grave escasez de agua.

3.2.3 Índice de Humedad Climática

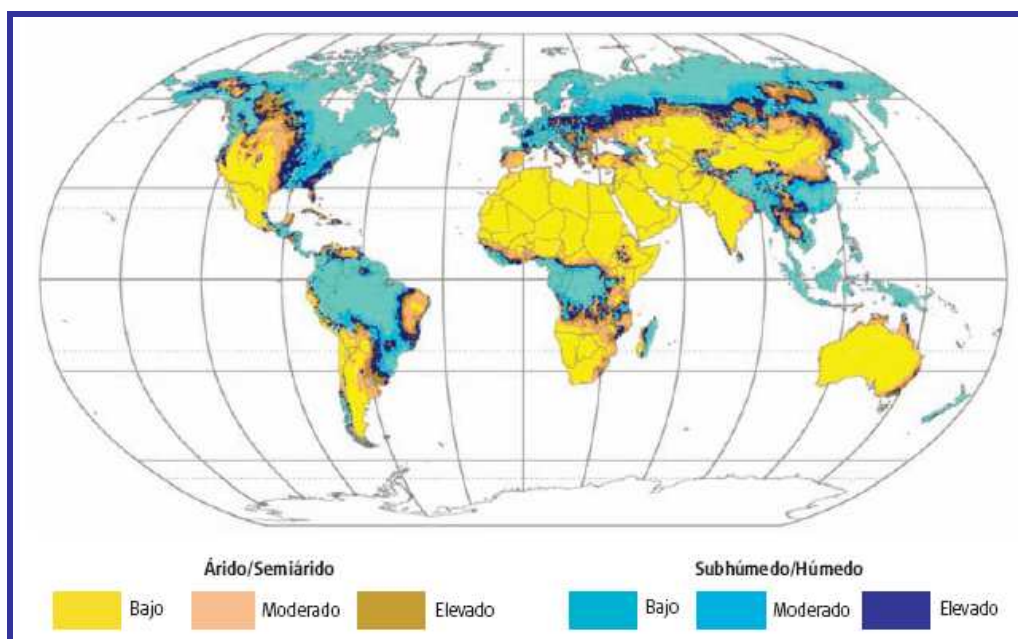


Imagen 3.2.5: índice de Humedad Climática. Fuente: World Water Development Report 2 (WWDR2), 2009

Este índice fue creado por los científicos Willmott y Feddema en el año 1992, ayuda a determinar la disponibilidad de los suministros renovables de agua dulce. Es una medida del balance entre las precipitaciones y la evaporación anual en función del clima; este índice varía entre -1 a +1, en el que los climas húmedos muestran valores positivos y los climas áridos muestran valores negativos.

Se mide mediante el Coeficiente de Variación, definido como el ratio entre la desviación anual y la media anual a largo plazo. Un valor del CV < 0,25 se considera una variabilidad baja, mientras que de 0,25 a 0,75 se considera moderada y > 0,75 se considera elevada.

Las regiones que se puede observar con mayor variabilidad en el mundo son aquellas donde se encuentran en contacto la zona árida y la zona húmeda, en estos lugares hay gran fluctuación de un año a otro, lo que dificulta poder predecir el clima en esas zonas. Un ejemplo de estas zonas de contacto es la región seca del Sahel en el norte de África y la zona húmeda de África suboccidental o en la región de las Grandes Llanuras de Estados Unidos, estas regiones son conocidas por sus graves sequías periódicas y por la escasez de agua.

De acuerdo al mapa anterior tanto las zonas áridas como las zonas húmedas presentan una variabilidad baja.

Este mapa tiene similitudes con el de precipitaciones que se muestra en un apartado anterior, en las zonas que reciben mayores cantidades de precipitación son aquellas con menor CV, lo que significa que estos países que se encuentran en esas regiones tienen un clima moderadamente constante en el que podrían tener gran aprovechamiento de la captación de lluvias para uso doméstico y después enviar estas aguas a plantas de tratamiento para reutilización en otros sectores.

3.2.4 Ciclo del agua urbano

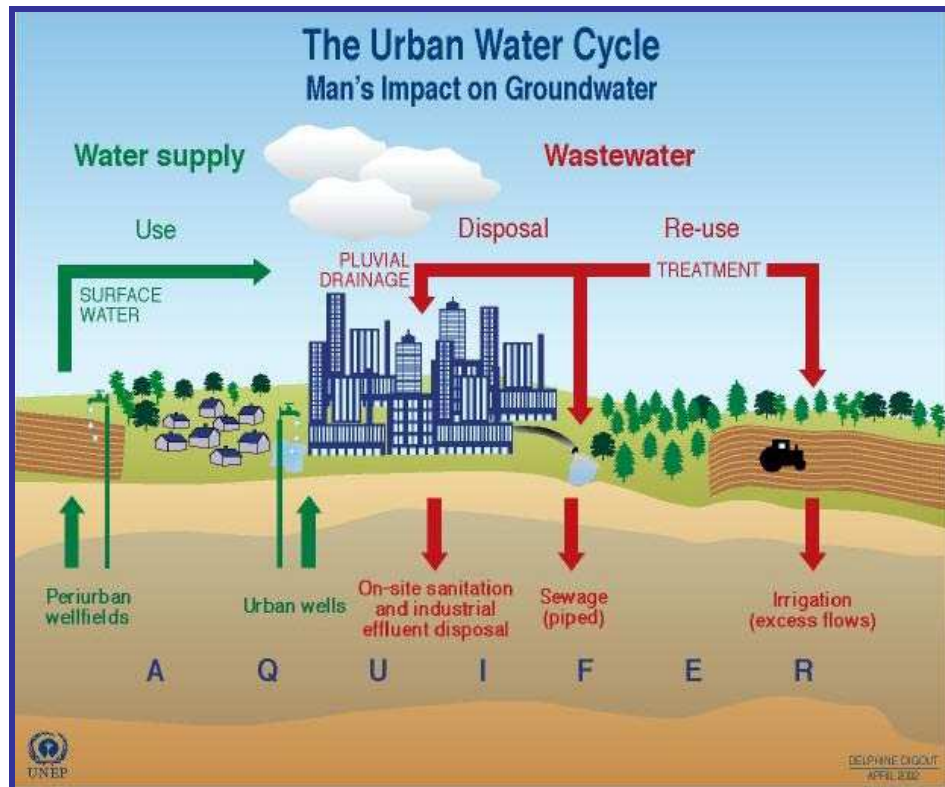


Imagen 3.2.6: The Urban Water Cycle. Fuente: Brian Morris, British Geological Survey, 2001

La imagen anterior realizada por Brian Morris para British Geological Survey muestra el ciclo del agua y el impacto que tiene el ser humano en la existencia del recurso hídrico en el acuífero.

Se puede observar que en el tema de las extracciones existen dos tipos, las que se realizan para campos de cultivo en las periferias de las ciudades y las extracciones urbanas, ambas teniendo grandes impactos sobre las recargas del acuífero.

Después tenemos las precipitaciones en la ciudad las cuales las canalizan a través de drenajes pluviales, éste tipo de drenajes no se encuentran en todas las ciudades grandes del mundo, esto depende de que tan desarrollado sea el país y que tengan plantas de tratamiento adecuadas para quitar las impurezas en cada caso, y poder hacer uso posterior de las mismas.

En los países en vías de desarrollo generalmente las aguas pluviales se mezclan en el drenaje junto con las aguas residuales lo que lleva a perder cantidades importantes del recurso, dificultando su posterior tratamiento y reutilización.

Se puede observar a su vez, en la imagen anterior dos tipos de residuos hídricos, los primeros son saneamiento del agua *in situ* y eliminación de efluentes industriales los cuales se pueden filtrar hacia el acuífero de donde obtenemos el recurso y de no ser tratados adecuadamente todas las partículas o contaminantes que contengan éstas aguas se produce contaminación de las aguas subterráneas.

El siguiente tipo de residuo hídrico planteado es a través del drenaje entubado que se dirige generalmente hacia ríos y lagos para después dirigirla hacia los mares, este recorrido que tiene que

hacer el agua urbana a través de sistemas naturales que tiene generalmente poco o nulo tratamiento, provoca contaminación de los ecosistemas que se alimentan de los mismos, provocando impactos irreversibles sobre los suelos, plantas, animales y peces que habitan en ellos y que viven gracias al mismo recurso hídrico que los humanos.

Por último en la etapa de reutilización del recurso hídrico se plantea en términos generales que parte de esa agua que se ha utilizado en la zona urbana se le de un tratamiento para poder posteriormente darle uso para irrigación de campos de cultivo para producir la gran cantidad de alimentos que demanda hoy en día la población a nivel urbano en las megalópolis, en éste uso el impacto humano que describen es un exceso de flujos hacia el acuífero.

Es importante que se tomen acciones en países no desarrollados donde los impactos del ciclo urbano que se ha mencionado, son mayores que los descritos anteriormente ya que no cuentan con las infraestructuras básicas para reducir sus impactos sobre el recurso hídrico y si pensamos que en algunos países en vías de desarrollo hay ciudades con gran cantidad de población que puede llegar a superar la capacidad de carga del territorio que ocupan esto agrava el problema.

3.3 Recursos hídricos en el mundo

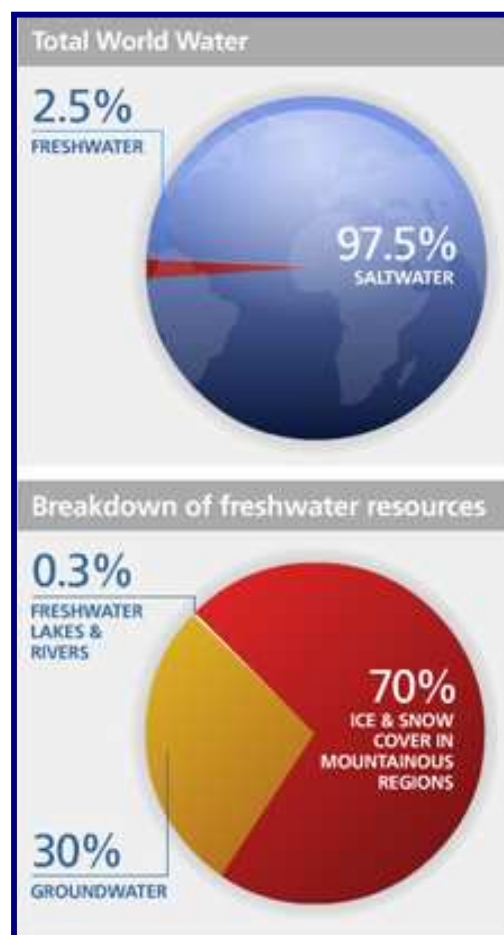
De acuerdo a los datos proporcionados por la UN Water (división para el análisis del agua de las Naciones Unidas) el volumen de agua en la Tierra es de aproximadamente 1,4 mil millones de km³; de los cuales el volumen de agua dulce tan sólo corresponde a 35 millones de km³ o el 2,5% del total.

De éstos recursos de agua dulce cerca de los 24 millones de km³ o el 70% se encuentra en forma de hielo y nieve permanente en regiones montañosas, Antártica y Antártida.

Alrededor de 30% del agua dulce mundial se almacena en forma de aguas subterráneas (cuencas de agua superficial o profundas hasta los 2000 m, suelos húmedos, agua pantanosa y permafrost en 0,8%).

Lagos y ríos de agua dulce contienen un estimado de 105,000 km³ o alrededor de 0,4% del agua dulce mundial dividido en 67,4% en lagos y 1,6% en ríos; la atmósfera de la Tierra contiene aproximadamente 13,000 km³ de agua por tanto 9,5%, la humedad del suelo constituye el 12,2%, otros humedales el 8,5% y entre plantas y animales consumen el 0,8%.

El suministro total de agua dulce utilizable por ecosistemas y humanos es de aproximadamente 200,000 km³ de agua menos del 1% de todos los recursos de agua dulce.



Gráfica 3.3.1: Porcentaje de agua potable en el planeta. Fuente: UN Water, 2010.

3.3.1 Aguas superficiales

Las aguas superficiales son de gran importancia ya que se forman de diversas formas y en la naturaleza las podemos encontrar en lagos (estanques), embalses, ríos, arroyos y humedales. El origen de éstas aguas proviene de la lluvia y de la escorrentía de la nieve que se derrite en los glaciares; éstas a pesar de formar tan solo el 0,3% del total de los recursos de agua dulce en la Tierra, representan el 80% de las aguas superficiales y subterráneas renovables anualmente.

De acuerdo a estudios realizados por importantes científicos como Meybeck (1995), Shiklomanov y Rodda (2003) y en el 2004 Lehner y Döll, los lagos llegan a almacenar los mayores volúmenes de agua dulce superficial ($90,000 \text{ km}^3$); en conjunto con los embalses, los lagos cubren un área total de casi 2,7 millones de km^2 , esto representa el 2% de la superficie terrestre, sin incluir las regiones polares.

En el caso de los ríos y arroyos se estima que el volumen total de agua almacenada en ellos es de $2,120 \text{ km}^3$ aproximadamente, tan sólo el Amazonas transporta el 15% del total del agua que regresa a los océanos y la cuenca del Congo – Zaire contiene el 33% del caudal fluvial de África.

Los humedales son medios saturados de agua, normalmente en forma de pantanos, ciénagas, marismas, marijales y lagunas. Los humedales ocupan una superficie casi cuatro veces mayor que los lagos del mundo, éstas son zonas fundamentales que deben tenerse en cuenta y protegerse para proteger a su vez las aguas superficiales y en ocasiones las aguas subterráneas.

Éstos recursos han tenido que ser medidos para su mejor comprensión en cuanto a la variabilidad que presenta a lo largo de los años, tanto en países desarrollados como en países en vías de desarrollo ya que los países desarrollados cuentan con la tecnología necesaria para poder monitorear los flujos y cantidades que les llegan; los países en vías de desarrollo normalmente no cuentan con la tecnología necesaria para monitorear y mantener una observación continua del recurso hídrico.

Por otro lado, ya que éstos recursos de aguas superficiales los utilizamos para diversas actividades, ya sean deportivas, como pesca, esquí en agua, velleo, etc; así como para ocio, transporte, irrigación e hidroeléctricas, es que son tan importantes para nosotros hoy en día.

3.3.2 Aguas subterráneas

El volumen global de aguas subterráneas almacenado bajo la superficie terrestre representa el 96% del agua dulce no congelada del Planeta (Shiklomanov y Rodda, 2003). Estas abastecen a arroyos, manantiales y humedales mantienen la estabilidad de la superficie del suelo en zonas donde el terreno es inestable y actúan como un recurso hídrico fundamental para satisfacer nuestras demandas físicas de agua. De acuerdo a Morris (2003) hoy en día la mitad de las megalópolis del mundo y cientos de otras ciudades de gran tamaño en todos los continentes dependen de las aguas subterráneas o bien consumen gran volumen de las mismas. Las aguas subterráneas pueden suplir la falta de abastecimiento durante largas temporadas sin lluvias o durante las sequías.

A su vez las aguas subterráneas también tienen alta variabilidad, en cuanto a su distribución, su tasa de renovación y los volúmenes almacenados en distintos tipos de acuíferos. Los acuíferos de zonas montañosas suelen estar fragmentados, mientras que los medios de roca volcánica poseen unas condiciones únicas. Los sistemas acuíferos poco profundos tienen unos niveles freáticos cercanos a la superficie fuertemente vinculados a las masas de aguas superficiales e intercambiables con éstas.

Las aguas superficiales tienen dos características principales: **la tasa de renovación y el volumen almacenado**; La mayor parte de las aguas subterráneas proceden de las recargas que tuvieron lugar en condiciones climáticas pasadas y reciben el nombre de “aguas subterráneas no renovables”(OIEA, 2002).

Cuando se habla de calidad de las aguas subterráneas se puede decir que son de lo mejor en el Planeta, ya que sin necesidad de grandes tratamientos se pueden usar en irrigación, uso doméstico, entre otros. Por otro lado el análisis químico y biológico de las mismas no puede dejarse de lado, ya que pueden existir sustancias nocivas para nuestra salud.

Tanto en las aguas subterráneas como en las aguas superficiales se tiene que guardar especial cuidado en la gestión tanto de la medición de las recargas como de las extracciones que se realizan para abastecer las ciudades actuales, sobre todo cuidar la resiliencia del recurso hídrico en las megalópolis del mundo, para no producir efectos irreversibles que puedan acarrear problemas graves de escasez de agua o sequías, que afecten a su vez en otras actividades humanas importantes.

3.3.3 Cambio climático y su influencia en el ciclo del agua

En el año 2007 el Panel Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático o IPCC por sus siglas en inglés, publicó su reporte acerca del cambio climático que vivimos en nuestros días y las causas naturales y antropogénicas del mismo y posibles acciones de cambio que podríamos tomar para que las afecciones a los ecosistemas no sean tan severos y podamos continuar viviendo en el Planeta con suficientes recursos para todos.

En este reporte se incluye información obtenida desde los tres grupos de trabajo del IPCC, el primero que trata los fundamentos físicos, el segundo grupo que trata temas de impactos, adaptación y vulnerabilidad y el trabajo del tercer grupo que se encarga del tema de la mitigación del cambio climático.

El IPCC en el año 2007 reportó que la tendencia lineal a cien años es de un aumento de 0,74°C en la temperatura terrestre, calentando las regiones terrestres más rápido que los océanos. En cuanto al aumento en promedio del mar observado entre el 1998 y 2003 es de entre 2,4 y 3,8 mm anuales (20 cm en 2005), ello debido a la dilatación térmica de los océanos, observada desde 1993 que representa el 57% de la suma de aportaciones estimadas al aumento del nivel del mar, así la disminución de los glaciares y de los casquetes de hielo contribuyó en un 28% y las pérdidas de los mantos de hielo polares aportaron el resto.

Otro cambio importante que estudio el IPCC fue la disminución de extensiones de nieve y hielo, desde 1900 la extensión máxima de suelo estacionalmente congelado se ha reducido en torno a un 7% en el Hemisferio Norte, con disminuciones de hasta un 15% durante la primavera, en términos generales, las temperaturas de la capa del permafrost han aumentado en la región ártica, desde los años ochenta en hasta 3°C.

Se han presentado aumentos en las precipitaciones en algunas regiones del mundo así como han disminuido en otras afectando algunas regiones con sequías muy prolongadas. A su vez se habla de cambios meteorológicos como posible disminución de los días y noches frías anuales en el Planeta y por el contrario aumentarán las olas de calor y los días cálidos serán más, a lo largo del año.

En cuanto a los sistemas hidrológicos del Planeta de acuerdo al IPCC sufren cambios como aumento de la escorrentía de un 10% a un 40% en latitudes superiores y zonas tropicales y disminución de las mismas entre un 10% y un 30% en regiones secas de latitudes medias, adelanto de las fechas de caudal máximo primaveral en numerosos ríos alimentados por nieve y por glaciares y los lagos y ríos presentan calentamiento en distintas regiones del Planeta afectando la calidad del agua.

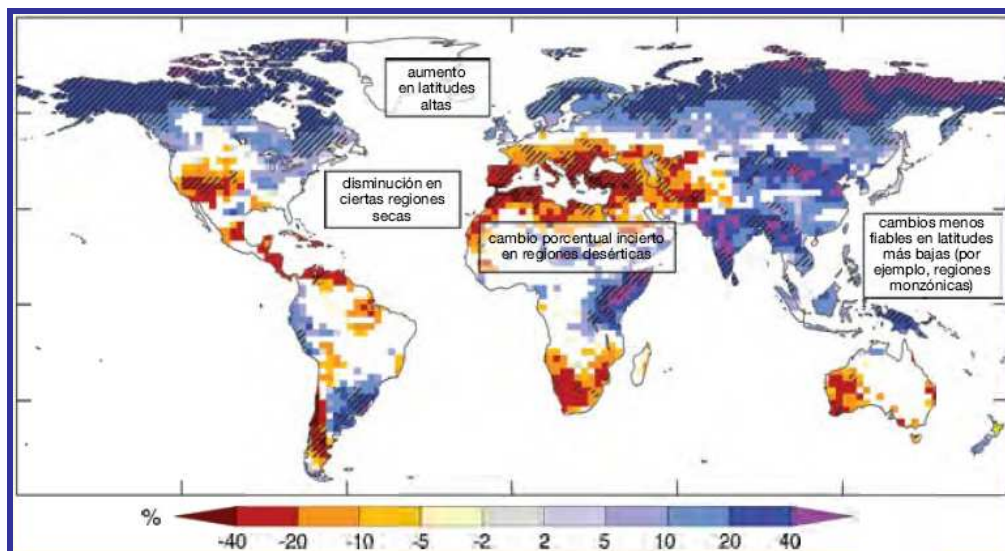


Imagen 3.3.2: Cambios relativos de la escorrentía de 2070 a finales del siglo XXI. Fuente: Panel Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático (IPCC); "Informe de Síntesis 2007: Cambio Climático"; 2007.

También observaron cambios importantes en la existencia de especies marinas en ríos y lagos, ya que comenzó a haber presencia de algas marinas, plancton en latitudes altas donde antes era imposible que sobrevivieran.

Las causas que provocaron éstos cambios son por una parte la emisión de gases de efecto invernadero de origen antropogénico; el gas que se toma como referente es el Dióxido de Carbono (CO_2), ya que de acuerdo a los estudios realizados por el IPCC en el período de 1970 a 2004 aumentó su concentración en la atmósfera en un 80% pasando de 21 a 38 gigatoneladas, éste cambio provocado por los sectores de suministro de energía, transporte e industria.

Otra causa del aumento de GEI (Gases de Efecto Invernadero) en la atmósfera es el crecimiento mundial de la población en conjunto con las actividades que desarrollamos en el Planeta; nosotros generamos emisiones de cuatro gases - CO_2 , metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), y halocarbonos. Menciona el IPCC que es muy probable que el aumento de concentración de CH_4 se deba al uso de combustibles fósiles y a la agricultura.

La concentración de CO_2 en la atmósfera en el 2005 aumentó de 280 ppm (partes por millón) en épocas preindustriales a 379 ppm. En cuanto a la concentración de CH_4 en la atmósfera también ha aumentado desde épocas preindustriales en las que era aproximadamente de 715 ppmm hasta 1732 ppmm en los años 90 y para el 2005 alcanzó 1774 ppmm. La concentración de N_2O en la atmósfera a su vez ha aumentado pasando de 270 ppm a 319 ppm. Y por último la concentración de halocarbonos ha aumentado, pero comparándolo con épocas preindustriales en las que no se encontraban en la atmósfera, lo que nos dice que su presencia se debe a la acción humana.

En el año 2009 se reunieron los países firmantes del Protocolo de Kyoto y otros para discutir el tema de cambio climático y hacer una auditoria sobre el progreso de los objetivos del protocolo para el 2012 para saber si se alcanzaran, en una reunión llamada COP – 15 (Copenhague 2015, por plantear objetivos para el 2015), en ella determinaron los efectos e impactos actuales de cambio climático plasmándolos en un reporte realizado por la Universidad de Nueva Gales Sur que comentaré a continuación.

Para empezar determinaron que las emisiones de GEI para el año 2008 fueron 40% mayores que las reportadas en 1990, por lo que los escenarios futuros que planteaba el IPCC de control de las emisiones se están quedando obsoletos. Las concentraciones de CO₂ en la atmósfera alcanzaron las 385 ppm teniendo un incremento del año 2005 al 2008 de casi un 2% en tres años, de acuerdo al reporte del COP – 15 el nivel de incremento que presentaba en los noventa era de 1,5 ppm/año cuando en el período 2000 – 2008 aumentó a 1,9 ppm/año.

En el caso del CH₄ reporta un aumento desde 2007 a 1800 ppmm, el cual no se sabe con certeza su origen ya que tanto actividades humanas así como por reservas naturales lo emiten. Esto traerá consecuencias irreversibles en el futuro, como se puede observar en el permafrost donde si se llega a derretir el contenido tiene grandes cantidades de CO₂ (Schuur 2008) estimados en 1,672 gigatoneladas, casi el doble de lo que hay en la atmósfera, los cuales si llegan a liberarse, agravarían el calentamiento global.

Los glaciares y capas de hielo a su vez han continuado deritiéndose, contribuyendo al incremento del nivel del mar en 1,2 mm/año hoy en día, manteniendo ésta tendencia la aportación sería de 18 cm (Bahr 2009). Las plataformas de hielo de la Antártica se han ido debilitando a causa del calentamiento global y no hay indicios de que paren, esto también afectará el nivel del mar en el Planeta.

Otros impactos como ya veíamos sobre el océano serán el calentamiento de los mismos de acuerdo a Domínguez y Bindoff entre 1963 y 2003 ha presentado un aumento del 50% en su temperatura, y de acuerdo al científico Stott, el nivel de salinidad del ciclo hidrológico ha aumentado con certeza alta en latitudes altas por la influencia humana sobre el ciclo natural.

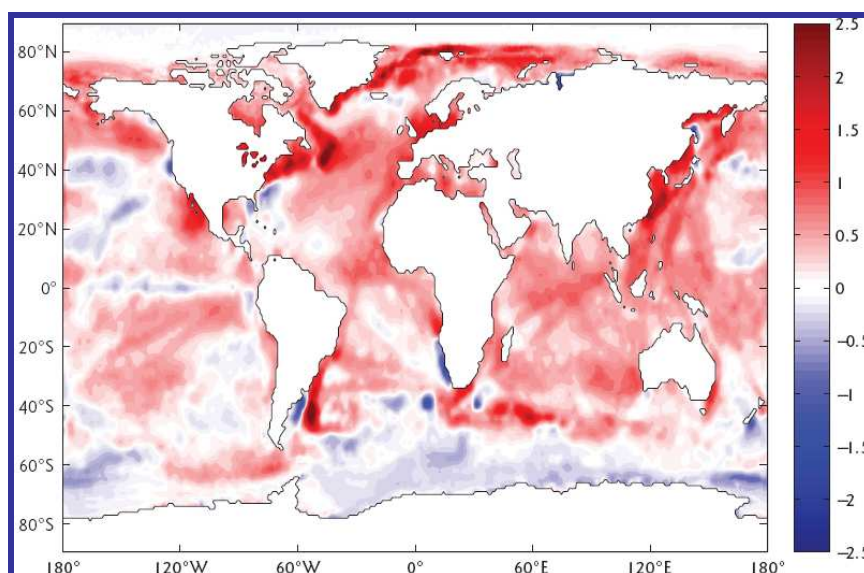


Imagen 3.3.3: Tendencia en la temperatura superficial del océano. Fuente: The University of New South Wales; “The Copenhagen Diagnosis 2009: Updating the world on the latest climate science”; 2009

Como se puede apreciar en el mapa anterior el aumento de temperatura a nivel global tanto en el océano como la terrestre ha alcanzado los 0,84°C y aún actuando para reducir los impactos predicen que llegaremos a aumentar la temperatura 2°C como mínimo.

El aumento del nivel del mar puede tener un impacto social y económico muy significativo a nivel mundial siendo que 160 millones de personas viven a un metro sobre el nivel actual.

Con el panorama actual que se ha planteado anteriormente a través del reporte realizado por la Universidad de Nueva Gales Sur y el reporte sobre el cambio climático del IPCC, en el que no se ve mejora, sino todo lo contrario, se puede deducir que los impactos que presenciemos serán bastante graves, sino es que ya los estamos viviendo y son afecciones sobre los recursos hídricos dependientes de la nieve fundida, aumento de la demanda de agua dulce y problemas con la calidad del agua, mayor estrés hídrico en zonas donde ya existían sequías, menor disponibilidad de agua dulce por intrusión de agua salada.

3.4 Indicadores que influyen en el Recurso Hídrico en el Mundo

Los mapas y tablas que se muestran a continuación tienen el objetivo de obtener un panorama general del estado del recurso hídrico a nivel global, esto ayudando a definir la sostenibilidad o insostenibilidad que representa nuestra gestión del mismo como seres humanos.

3.4.1 Indicadores Ambientales

Antes de desarrollar cada uno de los indicadores, haré un prelude sobre la definición de lo que es un indicador o en su caso un índice, en que casos se utilizan y que función principal cumplen éstos.

Para ello he de basar mi argumento en el científico Gilberto C. Gallopín ya que en una de sus publicaciones llamada *“Los Indicadores de Desarrollo Sostenible: Aspectos Conceptuales y Metodológicos”*, da una explicación bastante amplia de los que son, en términos generales, los indicadores.

Cuando de definir un indicador se trata, muchas fuentes y científicos han planteado diversos significados, algunos atinados, otros que no abarcan en su totalidad lo que un indicador ofrece desde su significado; Gallopín por su parte coincide con el científico Marcus quien en 1983 lo definió como un signo (en sentido general), ya que un signo de acuerdo a la Semiótica es todo lo que se refiere a otra cosa y que sirve para comunicar.

A nivel operativo Gallopín lo define como una variable, esto lo veo coherente si pensamos que cuando se analiza una situación o un sistema, uno cuenta con información o datos, éstos están contenidos dentro de un sistema que define, delimita y representa un atributo del mismo, ésta información se organiza en variables que pueden ser medibles y observadas, a través de valores en un tiempo y espacio determinado.

De acuerdo a Gallopín, las funciones principales de los indicadores son

- Apreciar condiciones y tendencias
- Comparar entre lugares y situaciones

- Evaluar condiciones y tendencias en relación a metas y objetivos
- Permitir una alerta temprana
- Anticipar condiciones y tendencias futuras

Un indicador por ejemplo podría ser un índice, pero no al contrario, ya que un índice es un número que está dado por una ecuación simple de dos o más variables o subíndices que en ocasiones se ponderan, se sacan máximos, mínimos o en casos más complejos ayuda a hacer una simulación como lo es un modelo del comportamiento de las temperaturas a lo largo de un año; pero esto puede ser una variable de algún indicador ambiental que contemple más índices para plantear una acción multidisciplinar a tomar, para responder al resultado que presente el estudio de el indicador ambiental.

Ahora, cuando se habla de tipos de indicadores en sentido general puede ser una variable cuantitativa (cardinal), una variable de rango (ordinal), o una variable cualitativa (nominal); independientemente de que para un enfoque de desarrollo varios investigadores sólo tomen en cuenta los cuantitativos por ser mediciones que cuantifican el estado del indicador.

Por ejemplo un indicador cualitativo es aquel que se ha usado mucho en la ecología, y denotan una especie estrechamente asociada a una condición ambiental particular. Éstos son preferibles a los cuantitativos en lugares donde no se cuente con información cuantitativa o el atributo no es cuantificable y cuando las consideraciones de costos se vuelven determinantes. (Gallopín, 2006)

Por tanto si nos centramos en una visión sistémica de lo que pasa en nuestro Planeta, necesitamos de los tres pilares básicos de la sostenibilidad que son el ámbito social, ámbito ambiental y ámbito económico, para poder tener una visión holística de lo que se quiera analizar.

3.4.1.1 Extracción de agua superficial y subterránea 2001

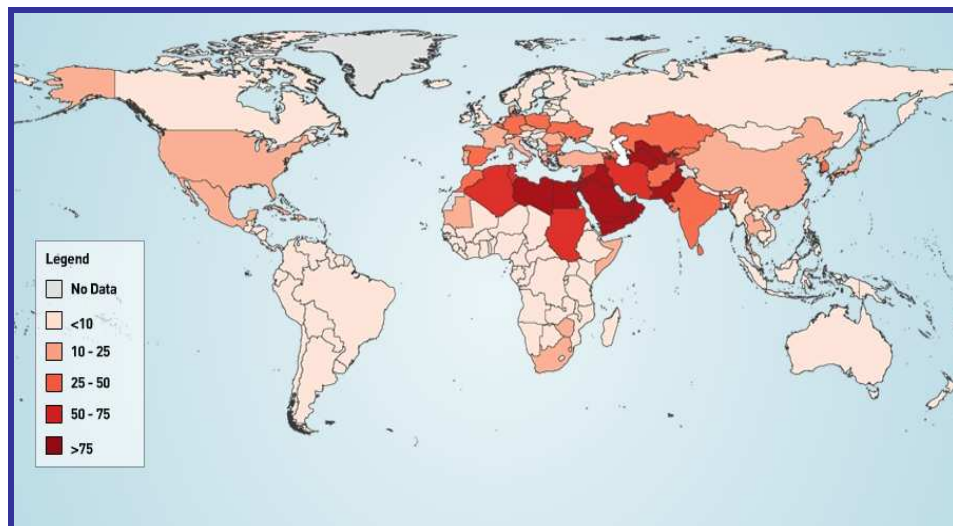


Imagen 3.4.1: Extracción de agua superficial y subterránea 2001. Fuente: Food and Agriculture Organization; Aquastat (FAO - Water); 2008.

Por definición éste indicador expresa el volumen de extracción de agua superficial y agua subterránea desde sus fuentes para uso humano (doméstico, industrial y agrícola), expresado en porcentaje del volumen total anual de agua existente en el ciclo hidrológico.

El método por el cuál se calcula es a través de la extracción realizada por los tres sectores de consumo mencionados en el párrafo anterior a nivel país expresado en $\text{km}^3/\text{año}$. Los recursos renovables de agua actuales para una región o un país se definen por la suma de los recursos renovables de agua internos y los flujos entrantes originados fuera de la región o el país, igualmente expresados en $\text{km}^3/\text{año}$.

Los recursos renovables de agua son definidos como el flujo porcentual anual de los ríos y recargas de aguas subterráneas para una región o país determinada generado por precipitaciones endógenas. Los flujos entrantes incluyen flujos de agua dentro de la región o país, tomando en consideración la cantidad de flujos reservados para ciudades río arriba y río abajo a través de acuerdos o tratados y reducción de flujos debido a las extracciones río arriba. El indicador es computado dividiendo la extracción total de agua por el total actual de recursos renovables de agua y expresado en puntos de porcentaje.

El objetivo de éste indicador es mostrar el grado en el que los recursos hídricos renovables están siendo explotados para alcanzar las demandas de agua de cada país. Representa una medida de presión de los países sobre sus recursos hídricos y por ello a la sostenibilidad de gestión del agua.

Este indicador muestra hasta que punto los recursos hídricos han sido usados, y la necesidad de un suministro ajustado y una política de gestión de la demanda. También es útil como indicador del aumento de competición y conflicto entre diferentes usos de agua y usuarios en una situación de incremento de escasez de agua. Éste incremento de escasez de agua, medido por un incremento en el valor del indicador, teniendo impactos negativos en la sostenibilidad de los recursos naturales básicos y el subsecuente impacto negativo en el desarrollo económico.

Los países que se encuentran por debajo de 50, dentro de la nomenclatura de éste indicador son aquellos que de acuerdo al estudio de la FAO (Food and Agriculture Organization) no tienen impactos relevantes sobre sus recursos hídricos renovables, éstos pueden contribuir a la recarga del acuífero de cada región o país sin afectar las existencias del recurso, contando con una gestión adecuada y tecnología que ayude a la gestión de la misma; los países como Estados Unidos, México, Alaska, Sudáfrica, China y otros son los que entran en éstas categorías.

Por el contrario aquellos países que se encuentran por encima de 50, son los que tienen un nivel de sostenibilidad muy bajo ya que sus extracciones representan mucho impacto sobre las existencias anuales, podemos ver en el mapa que la región que se encuentra en peor nivel de sostenibilidad de sus recursos hídricos es la región norte de África y el Medio Oriente, gran parte de la Unión Europea, la India.

Los países restantes que muestran un indicador de menos de 10, puede significar que son regiones muy secas y no pueden recurrir demasiado a sus existencias de aguas subterráneas y superficiales, por otro lado puede significar que no tengan una gestión muy eficiente de sus recursos hídricos renovables, también puede que no cuenten con la infraestructura necesaria para gestionarlos adecuadamente.

3.4.1.2 Extracción de agua por habitante

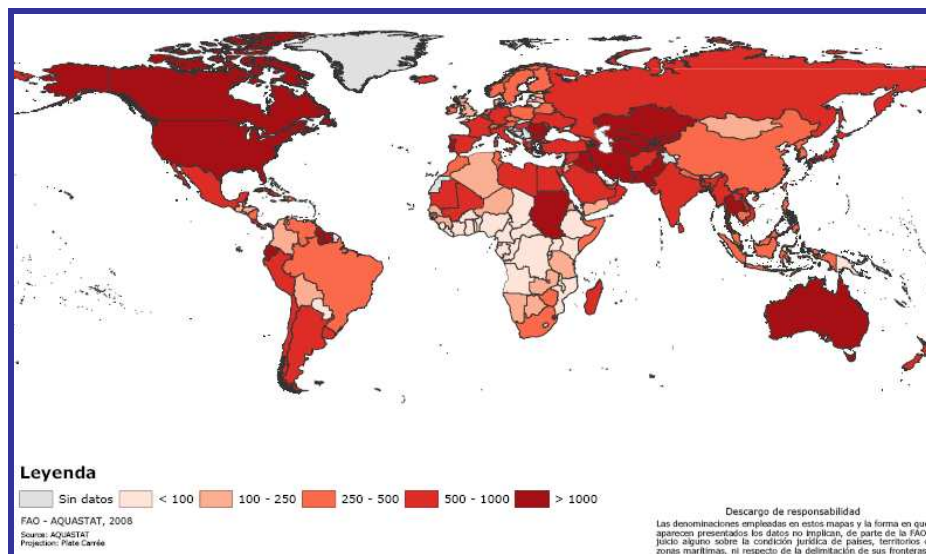


Imagen 3.4.2: Extracción de agua potable por habitante. Fuente: Food and Agriculture Organization; (FAO – AQUASTAT); 2010.

He incluido la extracción de agua por habitante después de la extracción de agua superficial y subterránea para conocer la demanda que generamos los seres humanos como habitantes de zonas urbanas y rurales tan sólo en la primera parte del balance hídrico urbano.

Este índice realizado por la FAO y Aquastat describe a través de un mapa la cantidad de agua que se extrae en el mundo, ésta la miden en m³ por año. La nomenclatura que utilizan para describir el mapa va de un tono gris indicando que no hay datos en esa región sobre el tema, pasando por un tono rosa que describe extracción menor a 100 m³/año, un tono naranja claro que describe extracciones de 100 a 250 m³/año, un tono naranja con 250 a 500 m³/año, después un tono rojo con extracción de 500 a 1000 m³/año y por último las extracciones mayores a 1000 m³/año tienen un tono vino.

Lo que muestra el mapa es que a nivel mundial la extracción es elevada, ya que predominan tonos rojizos y vino, con lo que podemos ver la importancia que representa el agua para que podamos vivir. En algunos casos podemos observar como algunas de las regiones con mayor extracción coinciden con las regiones que mayor variabilidad de CV que se describió anteriormente tienen.

En el caso de África es en el continente en el que menor extracción del recurso hídrico se puede observar, pero esto puede ser debido a la poca cantidad de habitantes en muchos países africanos así como a la falta de infraestructura adecuada para obtener agua. Algunos países que se observan con el más alto nivel de extracción de agua son Estados Unidos, Canadá, Chile, Australia, Uzbekistán, Kazajistán, Turkmenistán, Afganistán, Irán e Iraq y de África el único país con un elevado nivel de extracción es Sudán.

También se puede ver en el mapa, como más de la mitad de los países en el mundo tienen una extracción por habitante mayor a 500 m³/año, mucho más preciso que la extracción de agua superficial y subterránea anterior que se daba en porcentaje y mostraba a muchos países casi con un porcentaje muy bajo de extracción.

En algunos países como es el caso de Australia que tiene una población aproximada de 21 millones de habitantes, se extrae casi la misma cantidad de agua por habitante, que para Afganistán donde la población actual es de 29 millones de habitantes y se distribuye en menores cantidades por habitante.

3.4.1.3 Disponibilidad de agua dulce por persona y año

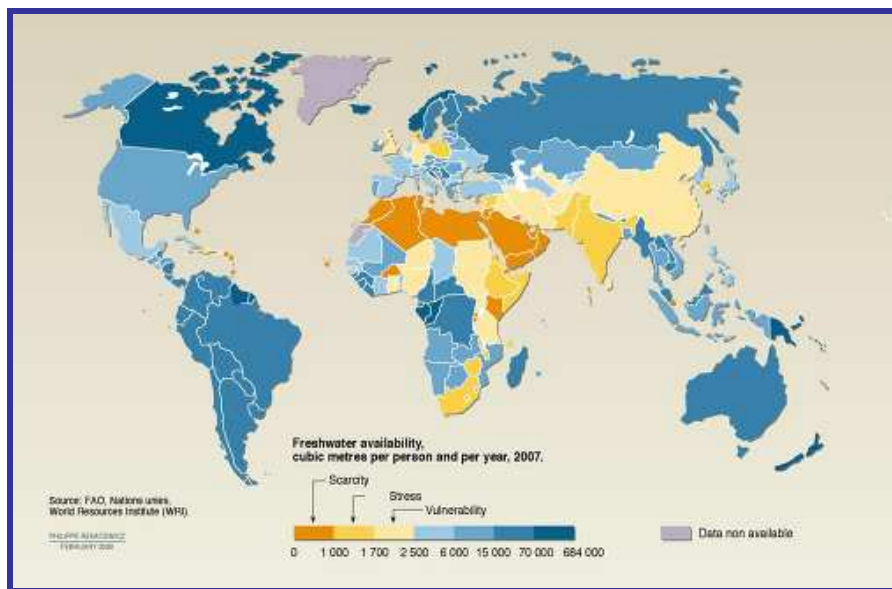


Imagen 3.4.3: Disponibilidad de agua dulce persona/año. Fuente: Food and Agriculture Organization (FAO); “Vital Water Graphics” 2008.

La disponibilidad de agua en el mundo está descrita en el mapa anterior realizado por la FAO, la unidad de medida son m³ por persona y año, donde los tonos anaranjados describen problemas hídricos y los tonos azules describen niveles de disponibilidad de agua dulce de moderado a muy alto.

En el mapa podemos observar una disponibilidad media alrededor del mundo, donde se pueden distinguir las regiones que sufren de niveles bajos o muy bajos de disponibilidad de agua dulce como es el caso del continente europeo donde se puede apreciar a grandes rasgos que países como Inglaterra, Alemania y Bélgica sufren de vulnerabilidad.

El continente africano es el que presenta mayor variabilidad del recurso, los países que se encuentran en problemas de escasez son Marruecos, Libia, Egipto, Algeria y Túnez, los países que presentan estrés hídrico son Etiopia, Somalia, Sudáfrica y Zimbabwe los países con vulnerabilidad son Sudán, Níger, Nigeria, Ghana, Uganda y la Republica Unida de Tanzania. Los países restantes del continente se encuentran dentro de la media lo cuál no los exime de tener posibilidad de cambiar su estado actual hacia una vulnerabilidad, estrés o escasez de agua, por lo que tendrán que cuidar muy bien la gestión que hacen del recurso hídrico.

Otros países como China, Irán, Iraq, Afganistán, Uzbequistán en Medio Oriente y en Oriente igualmente sufren de vulnerabilidad. Los países como Israel, Jordania, Arabia Saudita, Yemen y Oman presentan graves problemas de escasez de agua dulce, éstos países requieren tomar acciones inmediatas para solventar el problema y gestionar sus recursos hídricos de una manera más adecuada.

3.4.1.4 Índice de Estrés Hídrico

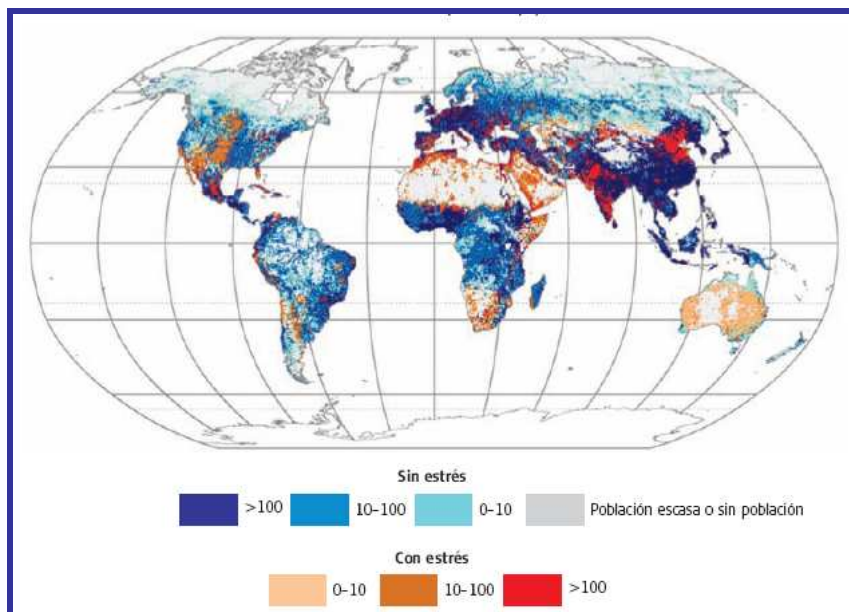


Imagen 3.4.4: Población (en miles) por encima (zonas en rojo) y por debajo (zonas en azul) del umbral de estrés hídrico. Fuente: World Water Development Report 2 (WWDR2), 2009

Este índice de acuerdo al *World Water Development Report (WWDR)* se basa en el ratio de uso total del agua (suma de la demanda doméstica, industrial y agrícola), respecto del suministro de agua renovable, que es la escorrentía local disponible (precipitación menos evaporación) o como lo veíamos anteriormente el Coeficiente de Variabilidad, repartida por arroyos, ríos y aguas subterráneas poco profundas.

El mapa que sigue muestra las poblaciones que viven en condiciones de estrés hídrico ($RSWI > 0,4$) y de relativamente poco estrés ($RSWI < 0,4$), poniendo de relieve diferencias sustanciales dentro de los países que, a menudo, los cálculos nacionales ocultan.

Reiterando la gravedad del tema de la escasez de agua a nivel mundial podemos observar mucho más a fondo en el mapa de este índice como hay muchas ciudades en el mundo que sufren de este problema, a su vez se aprecia que a comparación de los otros indicadores que hemos ido describiendo este muestra el nivel de estrés hídrico mucho más preciso no dando a entender que hay escasez en todo un país entero sino en ciertas regiones de cada país o no.

Siendo que este índice se basa en la población se puede a su vez observar como las zonas urbanas principales del mundo son las que en general demandan más recursos hídricos y por tanto se encuentran en problemas de estrés hídrico, pero dentro de algunos países podemos observar que tienen un nivel muy por encima del umbral de estrés hídrico y a su vez tiene regiones con problemas de escasez.

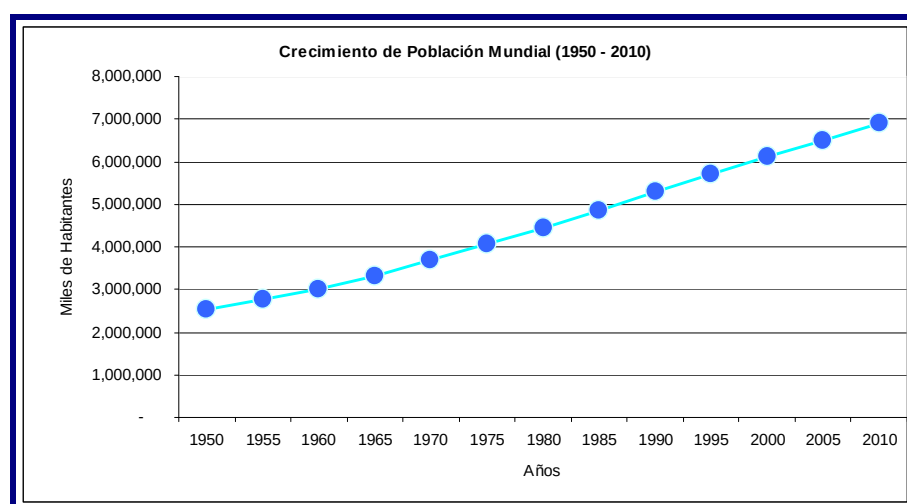
En el caso particular de Australia podemos decir que es uno de los casos más graves en cuanto a extensión de territorio con un índice de estrés que aunque nivel medio pero importante hacer mención de ello.

3.4.2 Indicadores socio - económicos de demanda de agua

Los factores socio - económicos son dos elementos de los tres importantes que toma en cuenta la sostenibilidad, es por esto que es de relevante importancia mencionar algunos de estos factores que influyen en la gestión del recurso hídrico.

3.4.2.1 Crecimiento de población mundial

El crecimiento demográfico a nivel mundial a partir del siglo XVIII se ha convertido en un tema de gran relevancia, ya que se estudiaban los efectos que se tendrían si la población continuara creciendo de la manera que lo ha ido haciendo hasta nuestros días, la presión que ejercerse sobre el medio natural, sobre la cantidad de alimentos que se producen, la cantidad de agua que se utiliza y su repartición adecuada.



Gráfica 3.4.1: Crecimiento de Población Mundial. Fuente: Elaboración Propia en base a United Nations Population Division "World Population Prospects: The 2008 Revision, Population Database".

Un ejemplo es el análisis realizado por el economista inglés Thomas Robert Malthus en su *Ensayo Sobre el Principio de la Población* (1798) en el estudio la interrelación entre población, el medio ambiente y el desarrollo económico donde explicaba que la desigualdad económica, la miseria y la pobreza de la clase trabajadora era debido al crecimiento de la población y la escasez de recursos, estudió el crecimiento poblacional de Estados Unidos durante el siglo XVIII, y realizó cálculos donde se percato de que la población presentaba un crecimiento exponencial mientras los recursos crecían de manera lineal y llegaría un momento en el que la cantidad de recursos para la cantidad de población iba a ser insuficiente. Por lo que éste crecimiento demográfico que ha ido incrementando de modo exponencial representa a su vez un factor muy importante en la explotación del recurso agua a nivel global.

El siglo XX fue un siglo de crecimiento demográfico, desarrollo económico, tecnológico y con ello una degradación del medio ambiente. Entre 1900 y 2000 la población mundial aumentó de 1,600 a 6,100 millones personas, más específicamente el 80% de este aumento tuvo lugar después de 1950 (Naciones Unidas, 2001). Este rápido crecimiento demográfico fue ocasionado por notables reducciones de la mortalidad, especialmente en las regiones menos desarrolladas, en las que a esperanza media de vida al nacer aumentó en más de 20 años durante la segunda mitad del siglo.

La Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, celebrada en Río de Janeiro (Brasil) en 1992, marcó un hito en la formación de un consenso internacional sobre la interrelación entre población, desarrollo y medio ambiente, tomando como base el concepto de desarrollo sostenible del Informe Brundtland o Nuestro Futuro Común en el que lo definen como:

“La capacidad de satisfacer las necesidades de las generaciones presentes, sin comprometer la habilidad de las generaciones futuras de alcanzar sus necesidades”.

Así como lo muestra la gráfica anterior, a partir del año 1950 habían 2,529,346 miles de habitantes cuando representaba tan sólo una densidad poblacional de 19 habitantes por km², ha ido aumentando de un orden de 12% anual, hasta que en el año 2010 alcanzó un aumento de 273% registrando una población de 6,908,687 miles de habitantes a nivel mundial lo que significa una densidad de 48 habitantes por km² lo que da como resultado una presión de los asentamientos humanos sobre el territorio a nivel mundial no tan acelerado, pero tenemos que recordar que los recursos con los que contamos globalmente son limitados y finitos, y mientras continúe ejerciéndose mayor presión sobre los mismos como es el caso del recurso hídrico, más rápido nos toparemos con problemas de abastecimiento de los asentamientos humanos.

3.4.2.2 Crecimiento del Producto Interno Bruto

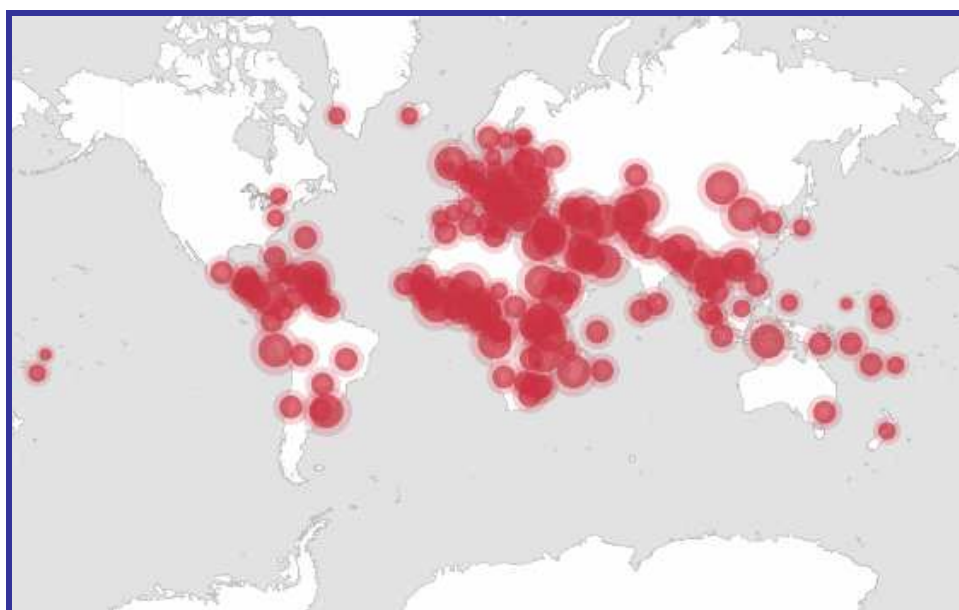


Imagen 3.4.5: Crecimiento anual del PIB (%). Fuente: WB, World Bank “Crecimiento del PIB” 2010.

El índice de producto interno bruto es un indicador que refleja la cantidad de producción de bienes y servicios durante un período determinado. Éste indicador se utiliza a nivel internacional que mide la riqueza de un país. Éste indicador se calcula en términos generales con variables como el consumo de un país, los ingresos asociados al país, el gasto público, las exportaciones e importaciones que se llevan a cabo.

El mapa anterior representa la tasa de crecimiento anual porcentual del PIB a precios de mercado en moneda local, a precios constantes. Los agregados están expresados en dólares de los Estados Unidos a precios constantes del año 2000. El PIB es la suma del valor agregado bruto de todos los productores

residentes en la economía más todo impuesto a los productos, menos todo subsidio no incluido en el valor de los productos. Se calcula sin hacer deducciones por depreciación de bienes manufacturados o por agotamiento y degradación de recursos naturales.

En la imagen anterior obtenida del Banco Mundial sobre el crecimiento del PIB anual podemos observar muy someramente que los países desarrollados, aquellos con esferas rojas pequeñas son los que presentan un crecimiento de su PIB mucho más lento, a diferencia de los países en vías de desarrollo que presentan esferas más grandes ya que su crecimiento anual ha sido más acelerado.

Los países que presentaron el crecimiento más elevado en el 2008 son Bhután con 13,8%, Angola con 13%, Macao 13,2%, Timor Leste 13,2%, Etiopía 11,3%, Guinea Ecuatorial 11,3%, Rwanda 11,2%, Azerbaiyán 10,8% y Belarús 10%; la mayoría de éstos países se encuentran en regiones que como veíamos tienen índices de estrés hídrico alto.

Es también interesante mencionar las economías de países que tuvieron años atrás un crecimiento acelerado y que en el año 2008 no continuaron creciendo como se esperaba debido a la recesión económica que comenzó en éste mismo año a nivel mundial. Éstos países son Afganistán, Armenia, Camboya, China, Etiopía, India, Kazajstán, Letonia, Mongolia, Sudán, Turkmenistán, Venezuela.

En términos generales los países de bajos ingresos han tenido un crecimiento económico de 4,7% en el período de 1990 a 2000 y de 6,5% en el período de 2000 a 2006. Los países de ingresos medios tuvieron un crecimiento de 3,8% en el período de 1990 a 2000 y de 5,6% en el período de 2000 a 2006.

La parte este de Asia y el Pacífico aumentó una décima su crecimiento del período 1990 a 2000 al período 2000 – 2006, el primer período con 8,5% y el segundo con 8,6%; Europa y Asia Central reportó un crecimiento importante del primer período al segundo, siendo el primero de - 0,9% y el segundo de 5,8%; Latinoamérica y el Caribe presentan una caída de una décima de un período al otro, 3,2% y 3,1% respectivamente; El Medio Este y el Norte de África tiene un incremento de 3,8% en el primer período a 4,2% en el segundo; el Sur de Asia aumentó de 5,5% en el primer período a 7,0% en el segundo; por último el África Subsahariana a su vez presenta un aumento de 2,5% para el primer período a 4,7% en el segundo. Éstos datos fueron obtenidos del reporte del banco mundial que habla acerca de los “Indicadores Mundiales del Desarrollo” del año 2008.

3.4.2.3 Índice de Desarrollo Humano (IDH)

El Índice de Desarrollo Humano fue publicado por primera vez en 1990 por el PNUD con el que se busca dar un panorama más amplio de bienestar que es lo que representaba desde entonces el Índice de Producto Interno Bruto (PIB) desde una perspectiva económica únicamente; El IDH introdujo una nueva manera de medir el desarrollo, toma en cuenta tres dimensiones para definir sus estándares, primero toma en cuenta *el vivir una vida larga y saludable*, esto lo expresa en el Índice de **Esperanza de Vida**, después toma en cuenta el **nivel de escolarización** que se tiene en todos los países o *tasa de alfabetización de adultos y matriculación en la enseñanza primaria, secundaria y terciaria*, a su vez en un tercer apartado, el **gozar de un nivel de vida digno** expresado por medio del *PIB de cada país*.

El IDH Define un nivel mínimo y un máximo para cada objetivo mostrando la posición de cada país con relación a valores objetivos, expresados mediante un valor entre 0 y 1, siendo el 1 el valor máximo de desarrollo.

Este índice busca dar tan sólo una perspectiva amplia sobre el progreso humano y la relación que existe entre los ingresos a nivel mundial y el bienestar. Claro que existen casos que no siguen la regla de que si un país tiene un poder adquisitivo mayor aumenta su IDH.

No se podrá encontrar como tal en el análisis un IDH a nivel mundial ya que sería imposible debido a las desigualdades que existen entre países desarrollados y países en vías de desarrollo. Lo que si es relevante mencionar son los países que se encuentran en los diez primeros lugares en el IDH los cuales son: Noruega, Australia, Nueva Zelanda, Estados Unidos, Irlanda, Liechtenstein, Países Bajos, Canadá, Suecia y Alemania.

Clasificación según el IDH	Valor del Índice de Desarrollo Humano (IDH)*	Esperanza de vida al nacer	Años promedio de instrucción	Años esperados de instrucción	Ingreso nacional bruto (INB) per cápita	Clasificación según INB per cápita menos clasificación según IDH	Valor IDH según componentes que no constituyen ingreso
	2010	(años)	(años)	(años)	(PPA en US\$ de 2008)	2010	2010
DESARROLLO HUMANO MUY ALTO							
1 Noruega	0,938	81,0	12,6	17,3	58.810	2	0,954
2 Australia	0,937	81,9	12,0	20,5	38.692	11	0,989
3 Nueva Zelanda	0,907	80,6	12,5	19,7	25.438	30	0,979
4 Estados Unidos de América	0,902	79,6	12,4	15,7	47.094	5	0,917
5 Irlanda	0,895	80,3	11,6	17,9	33.078	20	0,936
6 Liechtenstein	0,891	79,6 *	10,3 *	14,8	81.011 *	-5	0,861
7 Países Bajos	0,890	80,3	11,2	16,7	40.658	4	0,911
8 Canadá	0,888	81,0	11,5	16,0	38.668	6	0,913
9 Suecia	0,885	81,3	11,6	15,6	36.936	8	0,911
10 Alemania	0,885	80,2	12,2	15,6	35.308	9	0,915

Tabla 3.4.1: Clasificación según IDH. Fuente: UNDP United Nations Development Programme “Informe Sobre Desarrollo Humano 2010, La verdadera riqueza de las naciones: Caminos al desarrollo humano”.

Como podemos ver el que tiene el IDH más elevado es Noruega con 0,938, seguido de Australia con 0,937 y Nueva Zelanda en tercer lugar con 0,907 de IDH; el menor IDH entre los diez primeros es 0,885 que es igual para Suecia como para Alemania.

3.4.2.4 Índice de Pobreza de Agua

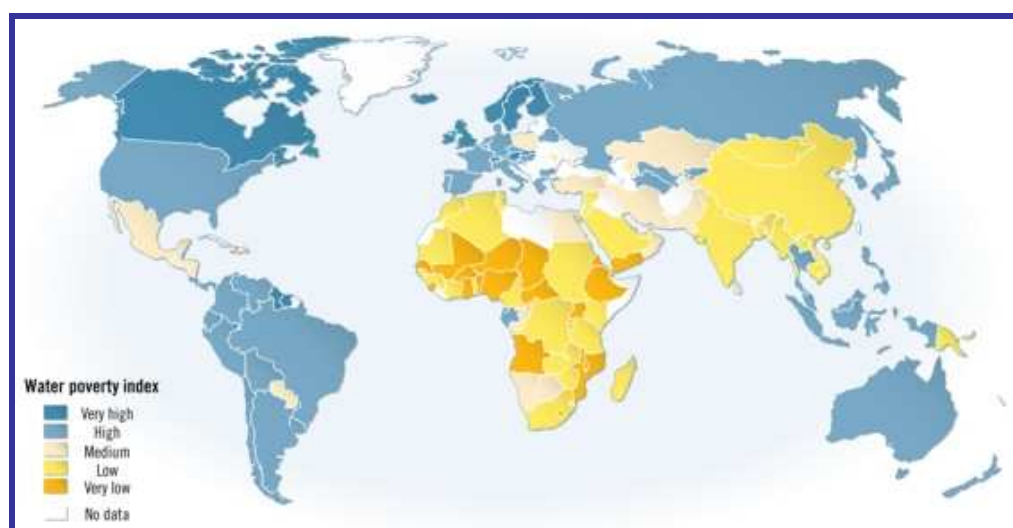


Imagen 3.4.5: Water poverty index. Fuente: The Centre for Ecology & Hidrology for the United Kingdom “Water Poverty Index” 2003.

Este mapa fue realizado por la científica Sullivan en 2001, 2002 y 2003, este índice lo diseñó tomando en cuenta la importancia del recurso hídrico, así como la estrecha relación que guarda con las zonas de extrema pobreza, ésta herramienta ayuda a monitorear el avance o retroceso del problema, también es una gran herramienta con intención de identificar las áreas de mayor necesidad.

Las variables que toma en cuenta éste índice, tratan de dar un panorama más comprensible del reto de la gestión del agua.

- *Recursos*: Cantidad de agua en existencia, tomando en cuenta la variabilidad interanual y de temporadas y la calidad del agua.
- *Acceso*: Que tan bien distribuida se encuentra el agua entre la población, incluyendo uso doméstico e irrigación.
- *Capacidad*: para gestionar los recursos hídricos, tomando en cuenta la educación, salud y acceso a financiamiento.
- *Uso*: recolecta el uso que se le ha dado al agua y su contribución a una economía más amplia.
- *Medio Ambiente*: Intenta recolectar el impacto ambiental que tiene la gestión del agua para asegurar la integridad ecológica a largo plazo.

Estos cinco temas representan a grandes rasgos lo que debe incluir el WPI. Mientras cada uno de estos componentes individualmente no son susceptibles de medición, cada uno está a su vez formado de varios subcomponentes o variables que pueden ser medidas o evaluadas en gran diversidad de formas.

La ecuación para obtener los componentes se escribe como sigue:

$$WPI = \frac{w_r R + w_a A + w_c C + w_u U + w_e E}{w_r + w_a + w_c + w_u + w_e}$$

En la que WPI es el índice de pobreza de agua, la fórmula es el peso promedio de los cinco componentes Recursos (R), Acceso (A), Capacidad (C), Uso (U), y Medio Ambiente (E), cada uno de los componentes se estandariza como primer paso, para que entre en un rango de 0 a 100; aunque el resultado final del WPI a su vez se expresa en un rango de 0 a 100. (Sullivan, 2002).

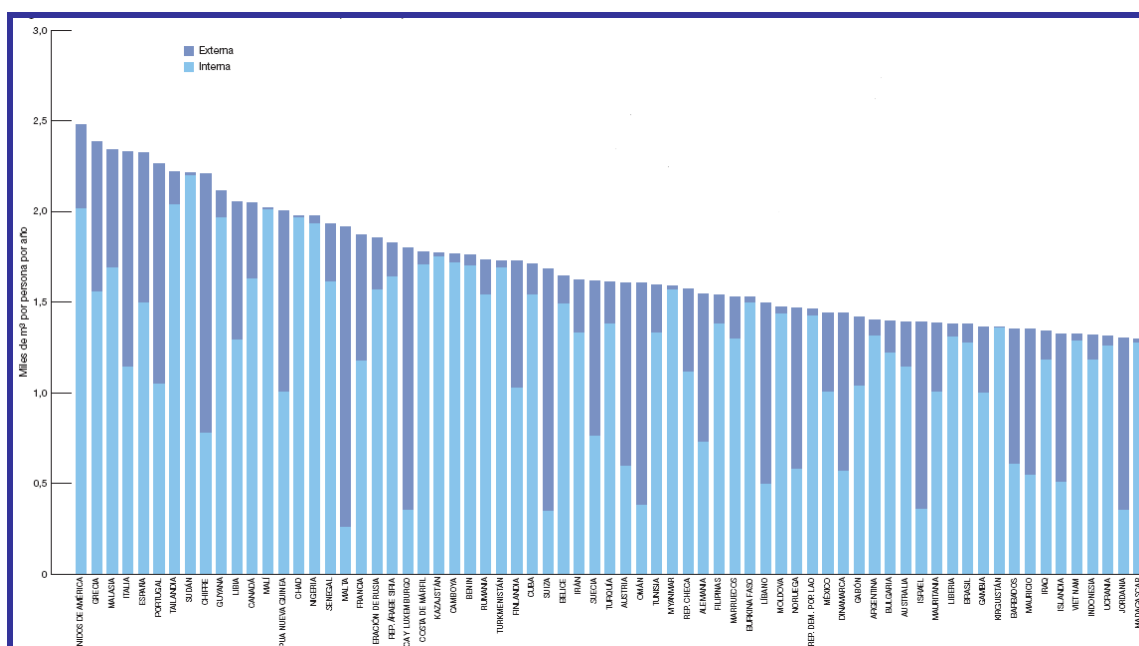
Se entiende por pobreza una condición derivada de la capacidad de privación. Construyendo una aproximación a las necesidades básicas esbozada por Pigou (1920), Se ha demostrado que la pobreza es resultado de la falta de al menos una de las condiciones básicas que son prerequisites para una vida plena. En éste sentido se interpreta la falta de agua como una falta de uno de los prerequisites básicos, pero la falta de agua tendrá muchas otras repercusiones. Por ejemplo, bajas cantidades de agua pueden estar relacionados directamente con la salud, así como la higiene personal y de la comida será mucho menos eficientemente cuidada.

En el mapa podemos observar como muchos de los países con grandes economías tienen a su vez un WPI bastante elevado, y por el contrario países con que se encuentran en crecimiento económico y que aún no cuentan con tecnología se encuentran en gran pobreza de agua.

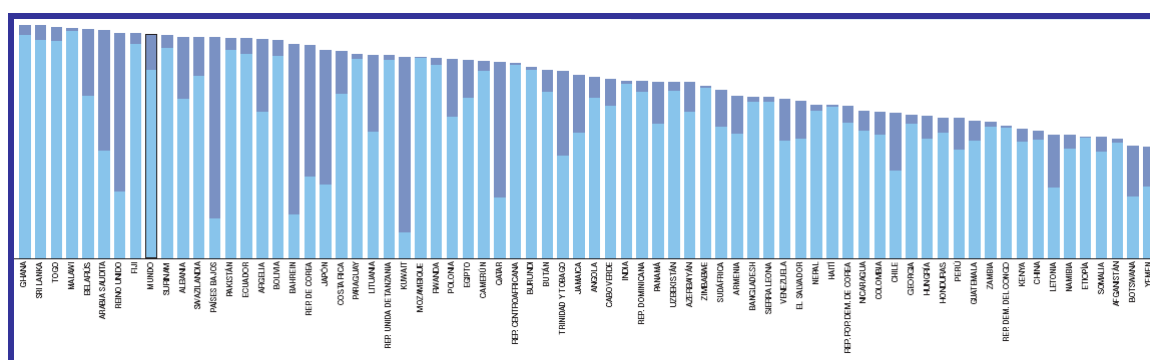
3.4.2.5 Huella hídrica del consumo por persona, por país 1997 - 2001

La World Wildlife Fund (WWF) en su reporte “*Planeta Vivo 2008*” definió este índice a través del cual se calcula el volumen de agua necesarios para producir los bienes y servicios para cada habitante, que en su caso la huella ecológica calcula en área total de espacio productivo. Incluye el agua sustraída de los ríos, lagos y acuíferos (aguas superficiales y subterráneas) para la agricultura, industria y uso doméstico, así como el agua de lluvia utilizada para los cultivos.

La huella hídrica total de un país tiene dos componentes. La huella hídrica interna es el volumen de agua necesario para cultivar y proporcionar los bienes y servicios que se producen y consumen dentro de ese país.



Gráfica 3.4.2: Huella Hídrica del consumo por persona/país 1997 – 2001 (I). Fuente: World Wildlife Fund; “*Informe Planeta Vivo 2008*”



Gráfica 3.4.2: Huella Hídrica del consumo por persona/país 1997 – 2001 (II). Fuente: World Wildlife Fund; “*Informe Planeta Vivo 2008*”

La huella hídrica externa es la resultante del consumo de bienes importados, o en otras palabras, el agua que se utiliza para la producción de bienes en el país exportador. Las exportaciones de un país no están incluidas como parte de su huella hídrica.

A escala mundial, la huella externa hídrica representa el 16% de la huella hídrica promedio por persona, aunque este porcentaje varía enormemente dentro de un mismo país y entre países. La huella hídrica de 27 países representa más del 50% de su huella hídrica nacional. La huella hídrica promedio mundial es de 1,24 millones de litros por persona por año, lo que equivale a la mitad del volumen de una piscina olímpica. (WWF, 2009)

La huella hídrica ayuda a reconocer cuando un país tiene problemas hídricos o en su caso está gestionando de manera adecuada sus recursos hídricos, pudiendo dar pautas a si un país ya se encuentra en problemas de escasez y gestiona mal sus recursos hídricos puede acarrear problemas más grandes como la desecación de ríos o la destrucción de ecosistemas, con pérdida asociada de biodiversidad.

Se puede ver como en la gráfica anterior los países que se encuentran con mayor huella hídrica del consumo son Estados Unidos, Grecia, Malaysia, Italia, España, Portugal, Tailandia, Sudán, Chipre y Guyana; la mayoría de éstos por tener mayor huella hídrica interna sobre todo en el caso de Sudán y Guyana.

Es también importante mencionar a los países que se encuentran con una gran huella hídrica externa, podemos encontrar a Malta, Bélgica y Luxemburgo, Suiza, Austria, Omán, Israel, Jordania, Reino Unido, Países Bajos, Bahrein, Kuwait, Qatar, éstos países de no contar con fuentes externas que les aportan agua se encontrarían en problemas muy graves de escasez de agua y como se puede ver, no son sólo países en vías de desarrollo, también encontramos a países desarrollados, por lo que unos países impactan en el recurso con gran tecnología y otros por la mala gestión de sus recursos hídricos.

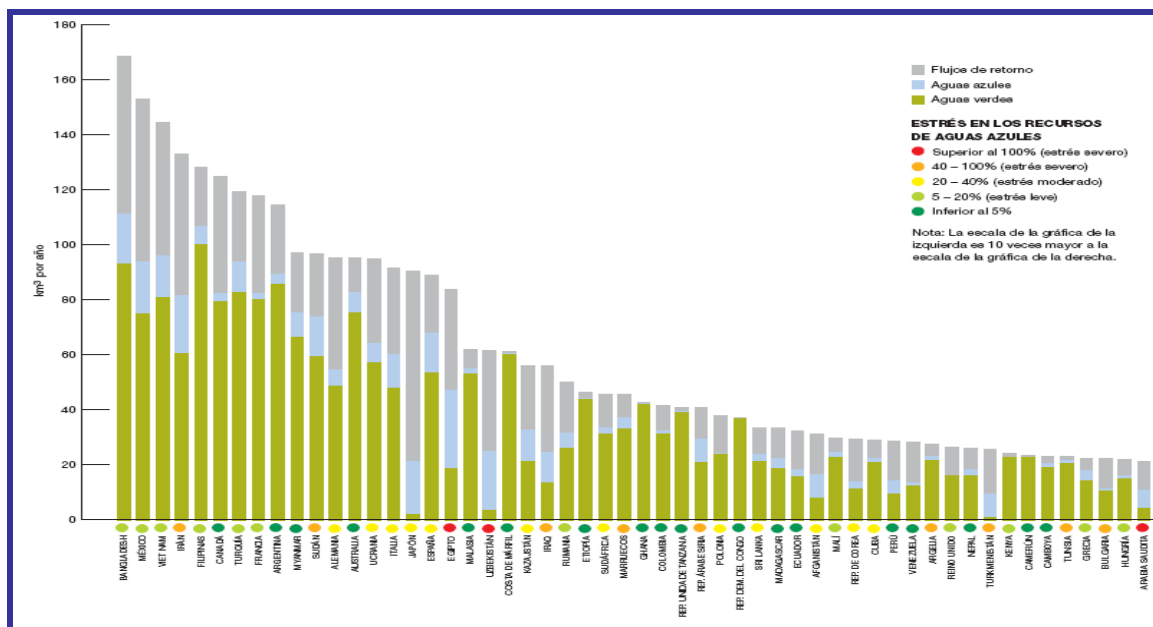
3.4.2.6 Huella hídrica de la producción, por país 1997 - 2001

Este índice es planteado por la WWF, así como el anterior; se representa toda el agua utilizada para uso doméstico, industrial y agrícola en un país. Está compuesto por tres tipos de uso del agua conocidos como huella hídrica azul, verde y gris. La huella hídrica verde es el volumen de aguas pluviales almacenado en el suelo que se evapora de los campos de cultivo. La huella hídrica azul es el volumen de agua dulce extraído de los cuerpos de agua, que es utilizado y no devuelto. La huella hídrica gris es el volumen de agua contaminada como resultado de los procesos de producción todas se expresan en km³ por año. (WWF, 2009)

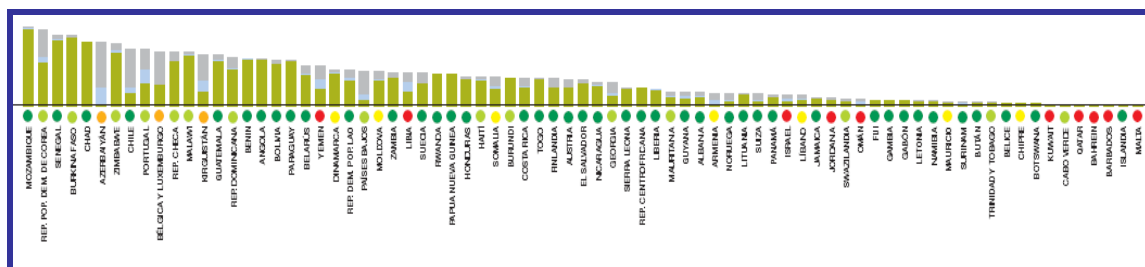
La huella hídrica de la producción a hacer conciencia sobre la sostenibilidad futura del recurso ya que deja entre ver que varios países a nivel global puede que en un futuro cercano se encuentren con problemas de escasez de agua absoluta o estacional y ésta aumentará en consecuencia del cambio climático actual y al aumento de demanda.

Como se puede observar en la gráfica siguiente, los países que se encuentran en primeros lugares no significa que sean más sostenibles o menos sostenibles en cuestiones de su huella hídrica de producción, éstos se debe a que cuentan con unas existencias de aguas verdes muy alto y a unos flujos de retorno acelerados los países que se encuentran en primeros lugares son Bangladesh, México, Vietnam los cuales presentan un nivel de estrés leve, después Irán con un estrés severo, Filipinas con un estrés leve, Canadá con un estrés imperceptible, Turquía y Francia con un estrés leve, Argentina y Myanmar con estrés imperceptible.

Los países que se encuentran en situaciones muy severas de huella hídrica de producción son Egipto, Uzbekistán, Arabia Saudita, Yemen, Libia, Israel, Omán, Kuwait, Qatar, Bahren y Malta; muchos de éstos países coincidentes en otros indicadores mostrados en ésta investigación.



Gráfica 3.4.3: Huella hídrica de la producción, por país 1997 – 2001 (I). Fuente: World Wildlife Fund; “Informe Planeta Vivo 2008”



Gráfica 3.4.3: Huella hídrica de la producción, por país 1997 – 2001 (II). Fuente: World Wildlife Fund; “Informe Planeta Vivo 2008”

3.4.2.7 Uso del agua dulce por sector a principios del año 2000

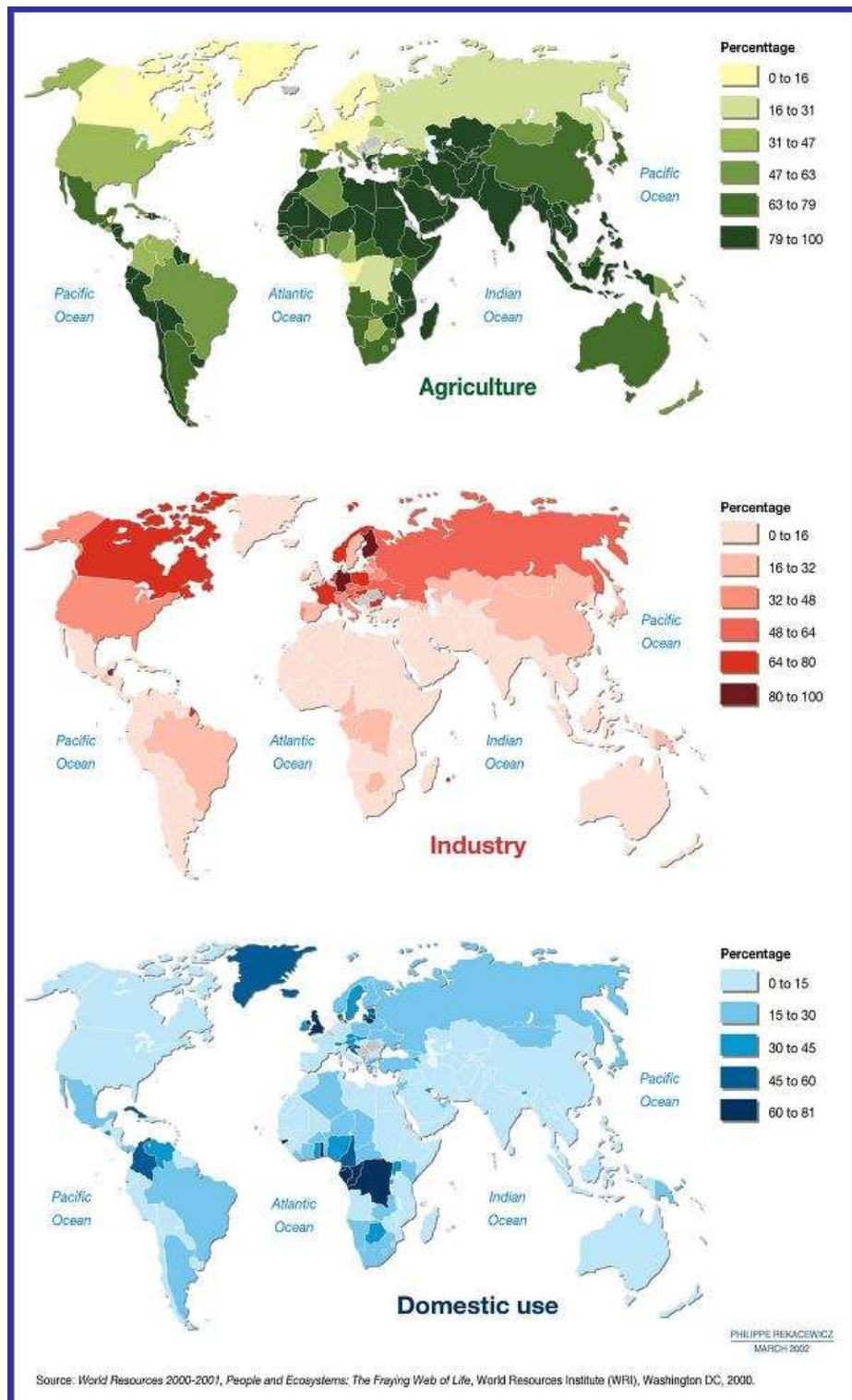


Imagen 3.4.6: Uso del agua dulce por sector a principios del año 2000. Fuente: World Resources 2000 - 2001; "People and Ecosystems: The Fraying Web of Life", World Resources Institute (WRI), Washington DC, 2000.

En el análisis realizado por el World Resource Institute en el año 2000 que se muestra en el mapa anterior, expresa el consumo de agua dulce dividido por sectores a nivel global.

3.4.2.7.1 Sector agricultura

De acuerdo al científico Igor Shiklomanov (1999), el sector agricultura es por mucho el mayor consumidor de agua dulce:

- En Estados Unidos, la agricultura cuenta alrededor del 49% del total del uso de agua dulce, con el 80% de éste volumen de agua siendo usado para irrigación. (Shiklomanov, 1999)
- En África y Asia, un estimado de 85 – 90% de toda el agua dulce consumida es utilizada para agricultura. (Shiklomanov, 1999)
- De acuerdo a estimaciones para el año 2000, la agricultura alcanzó un nivel de extracción de agua dulce total a nivel global de 67%, y el 86% de su consumición. (UNESCO, 1999)
- Para 2025, se tiene la expectativa de que la agricultura aumente sus necesidades de agua 1,2 veces, la industria 1,5 veces, y el consumo doméstico un aumento de 1,8 veces. (Shiklomanov, 1999)
- Las áreas de irrigación totales a nivel global, aproximadamente 253 millones de hectáreas en 1995. Para el 2010, se tiene la expectativa que alcance las 290 millones de hectáreas, y para el 2025 cerca de 330 millones de hectáreas. (Shiklomanov, 1999)
- Para el año 2000, un estimado de 15% de las tierras cultivadas del mundo fueron irrigadas para cultivo de alimentos, representando casi la mitad del valor de la producción de cultivos. (UNESCO, 1999)

3.4.2.7.2 Sector industrial

En el sector Industrial, la mayor parte de agua dulce se almacena en reservorios y presas para generación de energía eléctrica e irrigación. Sin embargo, el volumen de agua evaporada en los reservorios se estima excede las necesidades de agua dulce combinadas de la industria y el consumo doméstico. Esto contribuye ampliamente a pérdidas de agua alrededor del mundo, especialmente en las regiones cálidas del trópico. (UNESCO, 1999)

Los industriales representan cerca del 20% de extracciones de agua dulce a nivel global. De éstos, de 57 – 69% es usada para generación de energía nuclear e hidroeléctrica, 30 – 40% para procesos industriales, y 0,5 – 3% para generación de energía térmica (Shiklomanov, 1999).

3.4.2.7.3 Sector doméstico

El uso doméstico de agua se relaciona a la cantidad de agua disponible para la población en ciudades y pueblos.

- Personas en países desarrollados en promedio consumen cerca de 10 veces mas agua al día que aquellos países en vías de desarrollo. Se estima que una persona promedio en los países desarrollados usa de 500 – 800 litros por día (300 m³ por año), comparado con 60 – 150 litros por día (20 m³ por año) en países en vías de desarrollo. (UNESCO, 1999)
- En ciudades grandes con un suministro de agua centralizado y un eficiente sistema de canalización, la consumición doméstica no representa usualmente más de 5 – 10% del total de la extracción de agua. (UNESCO, 1999)
- La extracción de agua dulce en ciudades grandes se estima de entre 300 – 600 litros por persona y día, mientras ciudades mas pequeñas presentan extracciones de aproximadamente 100 – 150 litros por persona y día, y la consumición puede alcanzar 40 – 60% del total de la toma de agua. (UNESCO, 1999)
- En países en vías de desarrollo en Asia, África y Latino América, la extracción de agua pública representa justo 50 – 100 litros por persona y día. En regiones con recursos insuficientes de agua, ésta figura puede ser tan baja como 20 – 60 litros por día. (UNESCO, 1999)

Gestionando los recursos hídricos usando una aproximación a la gestión integral de la cuenca del río es la manera más sostenible de asegurar la integridad del ecosistema. Con este respecto, hay una necesidad de considerar el valor económico de los ecosistemas de agua dulce, incluyendo sus pescas, habitats de vida salvaje, los beneficios de control de inundaciones recreacionales o naturales.

3.4.3 Objetivos de Desarrollo del Milenio

De acuerdo al Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo en su informe del año 2010 sobre los ODM, el objetivo 7 es referente a “Garantizar la sostenibilidad del medio ambiente” una de sus metas es “reducir a la mitad, para el año 2015, el porcentaje de personas sin acceso sostenible al agua potable y a servicios básicos de saneamiento”.

En éste se menciona que el objetivo está muy cerca de lograrse, con aproximadamente un 85% de la población de países en vías de desarrollo con acceso a mejores fuentes de agua potable para el año 2015. Algunas de las regiones ya habiendo alcanzado el objetivo como África septentrional, América Latina y Caribe, Asia Oriental y el sudeste asiático. Un caso grave es Oceanía donde no se ha reportado ningún avance ni retroceso en 20 años y la cobertura sigue siendo baja de alrededor de 50%.

Aunque se espera que algunas regiones continúen trabajando para sobrepasar éste objetivo. La gráfica siguiente muestra la población con acceso a fuente segura de agua.

Por otra parte se requieren esfuerzos muy concisos para llevar esa agua potable a áreas rurales que son la que más lo necesitan, ya que como lo muestra el informe las áreas urbanas tienen un acceso entre el 83 y 100% (PNUD, 2010, p.p. 59), en cambio en áreas rurales se tiene un acceso desde 78 a 87% a agua potable, y como tema aparte con mayor importancia el caso de Oceanía con 37% y África Subsahariana con 47% de acceso en áreas rurales.

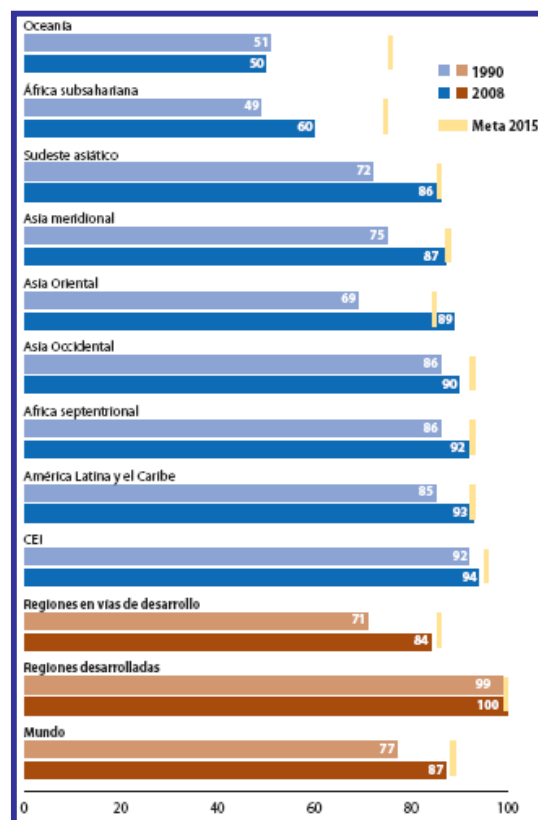
También se menciona el reto que representa el suministrar de agua potable al mundo, sobre todo con el aumento de la actividad agrícola y manufacturera, ya que éstas no sólo contribuyen a aumentar la demanda sino a la contaminación del agua superficial y subterránea, como el caso de aparición de

arsénico de aparición natural en Bangladesh y en el sur de Asia o de flúor en diversos países. Y de acuerdo al PNUD, en éste caso será necesario vigilar la calidad del agua antes de imponer objetivos en un futuro buscando maneras rápidas, confiables y económicas de medir localmente.

Así también se comenta en la meta referente a “Proporción de la población que utiliza servicios de saneamiento mejorados” que para el año 2015 será imposible alcanzarla, debido a que la mitad de la población de las regiones en vías de desarrollo carece de servicios sanitarios.

A su vez el informe reporta una gran desigualdad entre áreas urbanas y rurales en cuanto la cobertura de instalaciones sanitarias, donde tendría que actuar políticos para mejorar la situación, ya que presentan similitud con el acceso a agua potable porque en áreas rurales se cuenta con la mitad del porcentaje que en áreas urbanas aproximadamente en todas las regiones, por ejemplo el caso de América Latina y Caribe que cuentan con 86% de cobertura en áreas urbanas y 55% en áreas rurales, o casos que se encuentran dentro de un panorama mejor como África septentrional en donde cuentan con cobertura de 94% en áreas urbanas y 83% en áreas rurales.

Por otro lado se está dejando de lado a los pobres, como lo muestra el informe ODM 2010, donde en el caso de la África Subsahariana tan sólo el 20% de la población con mayor prosperidad tiene 5 veces más acceso a instalaciones sanitarias mejoradas, que el 20% más pobre. Lo que demuestra que las intervenciones que se llevan a cabo para el desarrollo no están dirigidas a la población más necesitada, a pesar de representar grandes beneficios para la salud pública y la equidad social y la reducción de la pobreza.



Gráfica 3.4.4: Porcentaje de Población que usa una fuente mejorada de agua, 1990 y 2008. Fuente: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD); “Objetivos de Desarrollo del Milenio: Informe 2010”; Nueva York, 2010.

3.5 Conclusión

Hoy en día vivimos una época de cambios importantes, tanto económicos, sociales como ambientales; el cambio climático de origen antropocéntrico ha afectado, aumentando la temperatura terrestre hasta 0,84°C (COP – 15, 2009), esto impactará directamente sobre el ciclo del agua; los glaciares que representan el 70% del recurso hídrico se derriten actualmente a un ritmo acelerado; los niveles del mar en las costas aumentarán, habrá mayores precipitaciones donde ya las había y menos donde eran casi nulas, impactando de diversas maneras sobre la población que habita en ella.

La población mundial para el año 2010 fue de 6,908,687 miles de habitantes y continuará aumentando (UNPD,2010), todo lo contrario de los recursos en el Planeta Tierra, así como el agua que a pesar de

representar la mayoría de la superficie terrestre, tan sólo se cuenta con 43,022 km³ de recursos internos renovables de agua dulce para nuestro consumo (AQUASTAT, 2008) y estamos sobreexplotándolo y no permitiendo que se de la resiliencia de las reservas naturales.

El modelo económico actual podrá renovarse y cambiarse de nombre pero mientras no modifique las bases sobre las que se fundamenta de un mercado autorregulado, seguirá un crecimiento aparente e ilusorio, porque no habrá dinero suficiente que pague la restauración de los acuíferos, las sequías de las tierras de cultivo, la desaparición de bosques, de especies animales, la hambruna en lugares donde antes no había, las inundaciones constantes que destruyan parte de las ciudades donde habitamos, en fin.

El tema de la desigualdad en cuanto al acceso al recurso hídrico, debiera resolverse mediante apoyos mutuos entre países desarrollados y países en vías de desarrollo, ya que como se ha visto en la investigación la extracción del recurso hídrico a nivel global es preocupante y mal gestionado, teniendo países con población pequeña y un acceso al recurso hídrico por habitante excesivo y por otra parte países con población masiva y un acceso casi nulo para su sustento.

La tecnología debe ser una herramienta que nos ayude a gestionar de una manera mejor nuestros usos de la cantidad de agua obtenido y a su vez que nos ayude a darle tratamiento, para poder darle un segundo uso ya sea para irrigación de campos u otros usos que no requieren de aguas potabilizadas, por otro lado ayudando a gestionar las precipitaciones pluviales que podemos recuperar para darles uso o ayudándolas a volver al acuífero para mantener estable el ciclo natural hídrico.

Los Objetivos de Desarrollo del Milenio son una buena manera de presión para que se actué localmente en cada país pero me parece que como seres humanos necesitamos de objetivos más ambiciosos y no tener miedo a no cumplirlos, sino luchar por alcanzar al máximo unos objetivos elevados, ya que como se comenta, hay objetivos que se rebasarán, pues debieran ser más altos, ya que son de gran relevancia. En cuanto la extracción de agua por sectores, en primer lugar se encuentra la agricultura con 67%, la cual se usa principalmente para nuestra alimentación; 22% en la industria y 11% en uso doméstico. El uso doméstico lo podríamos gestionar más eficientemente con facilidad, en cambio el sector agrícola que requiere consumir mucha agua para producir nuestros alimentos por el aumento de población en el mundo en el Planeta no habrá como alimentarnos todos y por otro agua suficiente para cultivar nuestros alimentos sino gestionamos mejor nuestros recursos hídricos. (UNEP, 2000)



3.6 Visión global de los recursos hídricos en los Estados Unidos Mexicanos

El país de México se encuentra situado entre los meridianos 118° 27' W y 86° 42' W y los paralelos 32° 43' N y 14° 32' N. Limita al norte con los Estados Unidos de América, al sureste con las Repúblicas de Guatemala y Belice, al este con el Golfo de México y Mar Caribe y al oeste con el Océano Pacífico. La extensión territorial del país es cercana a los 1,964 millones de km². La superficie con potencial agrícola se ha calculado en 34,7 millones de Ha y la superficie cultivada en 1997 fue de 22,1 millones de Ha, de las cuales 5,3 millones de Ha se cultivaron bajo riego y el resto en secano. Administrativamente el territorio nacional está integrado por 31 estados y un Distrito Federal. (AQUASTAT, 2009)

Es necesario previo al estudio de la Ciudad de México y su Zona Metropolitana mirar el estado del recurso hídrico a nivel país y poder dar un panorama de cómo puede percibir el mundo a los Estados Unidos Mexicanos. Es por ello que se miraran los aspectos ambientales, sociales y económicos que están involucrados en la gestión del agua en el país y poder determinar a su vez si a ésta escala, estamos dando una imagen en el mundo de un país responsable y comprometido a mitigar los efectos del cambio climático y sus impactos sobre los recursos hídricos con los que contamos.

3.6.1 Factores ambientales

Los factores ambientales son todos aquellos en los que el ser humano no influye directamente sino que son procesos naturales que se contabilizan tan sólo para tener conocimiento de la cantidad que existe de un recurso, en este caso en los Estados Unidos Mexicanos, a continuación se presenta un análisis del balance hídrico del país.

3.6.1.1 Climatología

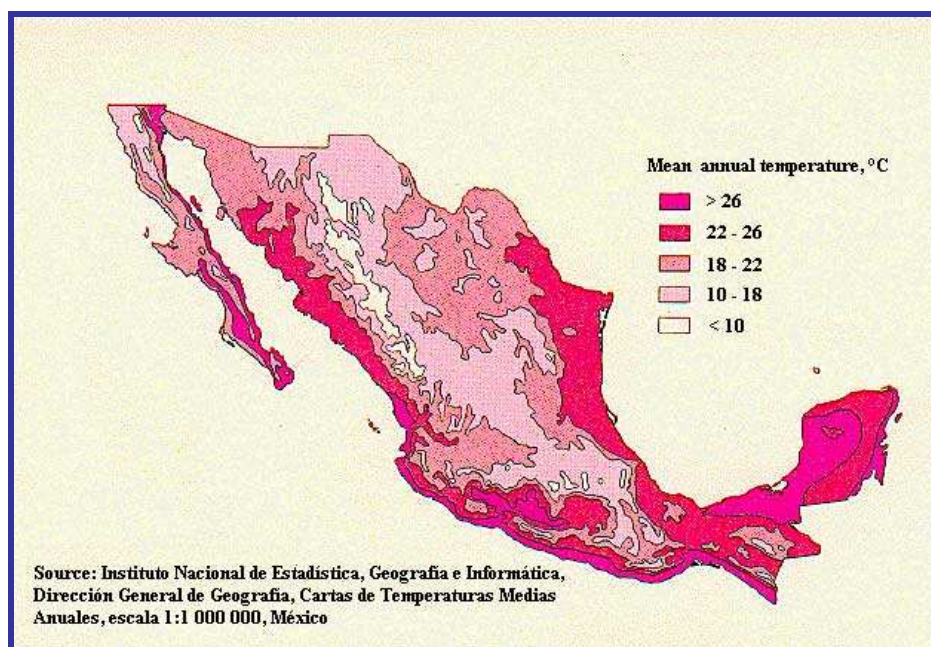


Imagen 3.6.1: Climatología. Fuente: Food and Agriculture Organization (FAO), 2010

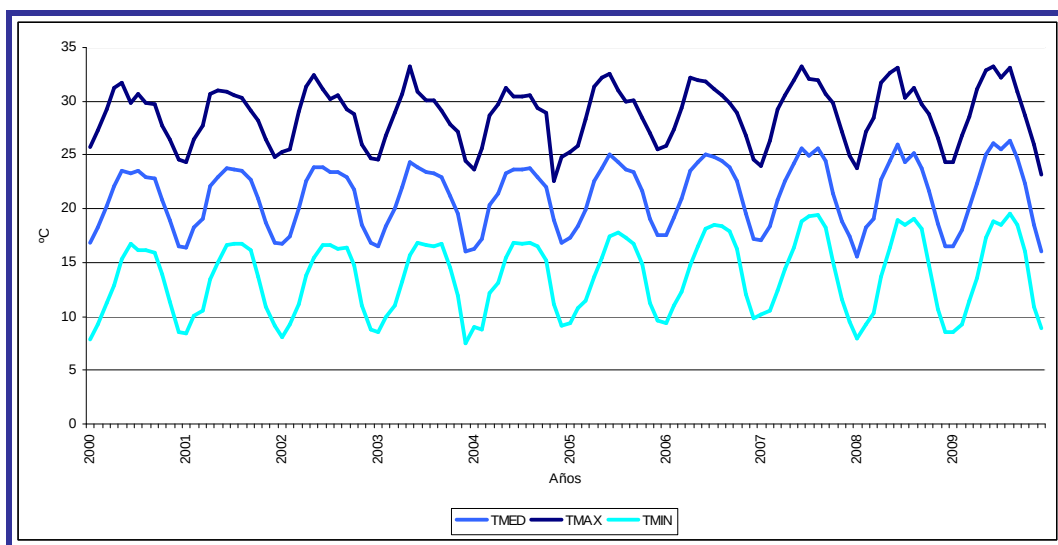
La República Mexicana presenta una gran variedad de climas; por su latitud, México se encuentra dentro de la Zona Intertropical, pero debido a la altitud, sus temperaturas no son tan elevadas como cabría esperar. Los climas predominantes, con una temperatura media anual entre los 10°C y los 26°C, son los secos en el 28% del territorio, cálidos-subhúmedos en el 23%, muy secos en el 21% y templados-subhúmedos con 21% tal como se ve en el mapa anterior.

El resto del territorio (7%) presenta climas muy cálidos, con temperaturas medias anuales mayores a los 26°C, o fríos, con temperaturas menores a 10°C. La influencia marítima, generadora de masas de aire húmedo que penetran procedentes del Golfo de México y el Océano Pacífico, contribuye a las escasas oscilaciones térmicas a lo largo del año y a su carácter moderador. (AQUASTAT, 2010)

En la gráfica siguiente podemos observar las variaciones de temperaturas altas, bajas y medias en el período del 2000 al 2009, la tendencia que sigue la gráfica es bastante estable no muestra cambios significativos de temperatura que nos puedan dar señales del cambio climático que se está dando en nuestros días.

Las temperaturas máximas presentan incremento para los meses calurosos como mayo y junio, si tomamos de referencia el año 2000; para esos meses la temperatura fue de 31,7°C aproximadamente y para el año 2009 la temperatura más alta se observa en junio con 33,3°C, resultando en un claro aumento de temperatura en los meses calurosos en el país. En las temperaturas máximas los meses de frío se observan medianamente estables, variando entre los 23°C y 26°C

Las temperaturas mínimas no se han mantenido tan estables, en los meses calurosos las temperaturas mínimas muestran un aumento aproximado de 3°C, y para los meses fríos se observa un aumento de 2°C hasta el año 2007 para después normalizarse a temperaturas de 8°C aproximadamente.



Gráfica 3.6.1: Temperatura en México período 2000 – 2009. Fuente: Elaboración propia con base en datos de CONAGUA 2010.

3.6.1.2 Pluviometría

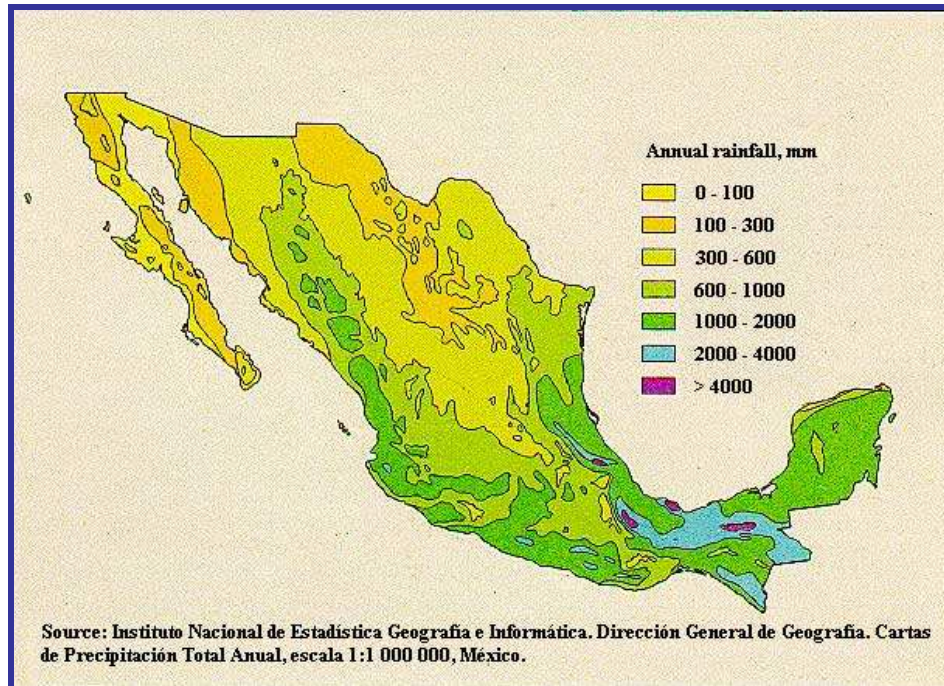
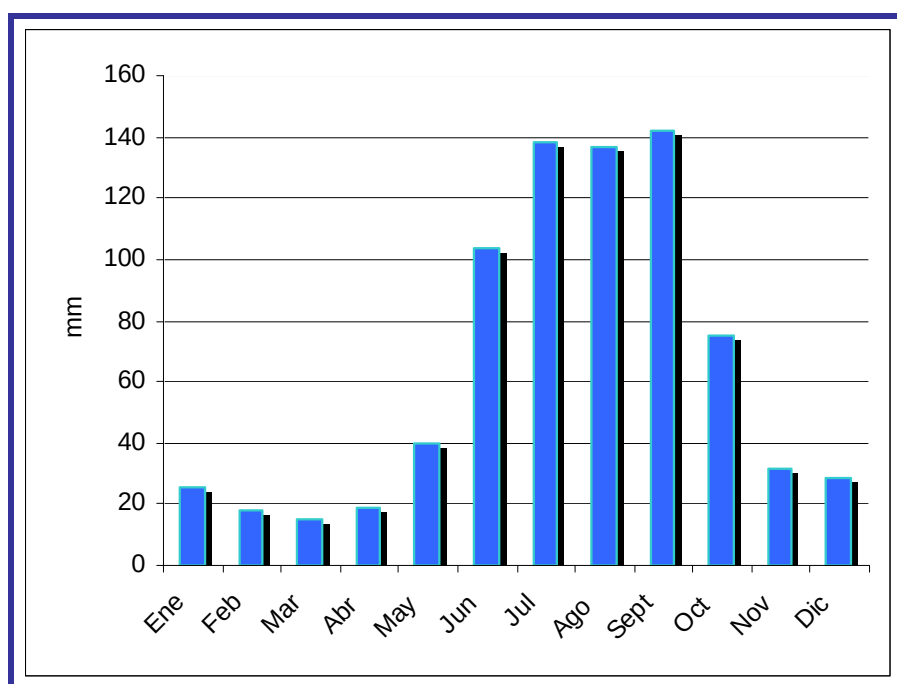


Imagen 3.6.2: Cartas de precipitación total anual. Fuente: Food and Agriculture Organization (FAO), 2010

Se puede observar en el mapa que el tono verde claro predomina, este corresponde con la precipitación media anual de la Comisión Nacional de Agua que se encuentra en 773,5 mm. Al sur del país hay precipitaciones de más de 1000 mm al año y en la región del Estado de Tabasco y Chiapas se tienen precipitaciones anuales de más de 2000 mm, que son las regiones que generalmente presentan inundaciones en las temporadas de lluvias.

Al norte se puede ver que las precipitaciones no son abundantes correspondiendo con el clima desértico ya que van de 0 a 300 mm. Y en el caribe mexicano se tienen precipitaciones de entre 1000 y 2000 mm anuales.

La gráfica describe el comportamiento de la precipitación pluvial a nivel país y se puede ver que la gráfica describe una campana de Gauss, donde los meses con menores precipitaciones son los meses de enero a mayo y después noviembre y diciembre con precipitaciones mínimas anuales de 15 mm como en el mes de marzo y máximas anuales de 31,6 mm como en el mes de noviembre; los meses con mayores precipitaciones se dan de junio a octubre, con precipitaciones mínimas anuales de 75,3 mm como en el mes de octubre y máximas anuales de 141,7 mm como en el mes de septiembre.



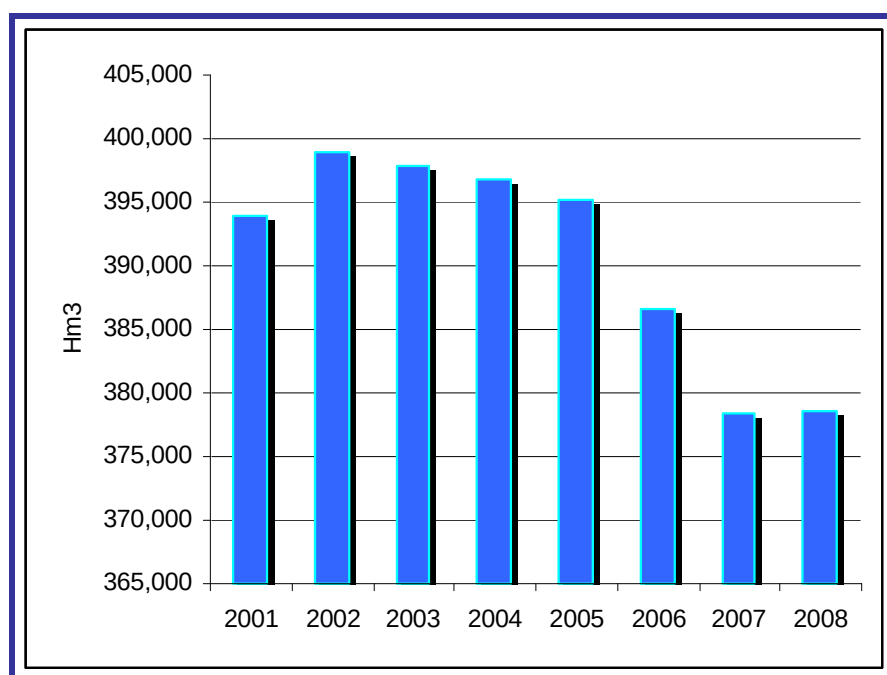
Gráfica 3.6.2: Precipitación pluvial media anual de México 1941 – 2005.
Fuente: Elaboración propia en base a datos de la Comisión Nacional de Agua (CONAGUA); 2010.

Escurrecimiento natural medio

El escurrecimiento natural es como ya se había comentado todas las aguas que se transportan por ríos o lagos y que llegan a las ciudades y se pueden aprovechar como aguas superficiales.

El escurrecimiento natural medio superficial es de 390,803 km³ de los cuales 88% se generan por la lluvia en el propio país y los 12% restantes en los países limítrofes. De Guatemala se reciben 47,000 hm³/año, aunque no existen convenios, y con Estados Unidos hay acuerdos internacionales que comprometen el aporte de 185 hm³/año en la cuenca del río Colorado y 70 hm³/año en la cuenca del río Bravo (región Norte). En ésta última región y hacia EEUU, existen compromisos de cesión de 430 hm³/año de la cuenca del río Conchos.

El año que mayor escurrecimiento presentó fue el 2002 en el que se alcanzaron los 398,962 hm³, y los años que menor escurrecimiento presentó fue el 2007 y 2008 en los que se dio un escurrecimiento de 378,451 y de 378,531 hm³ respectivamente, pero se puede observar una clara tendencia a disminuir de la cantidad del escurrecimiento natural.

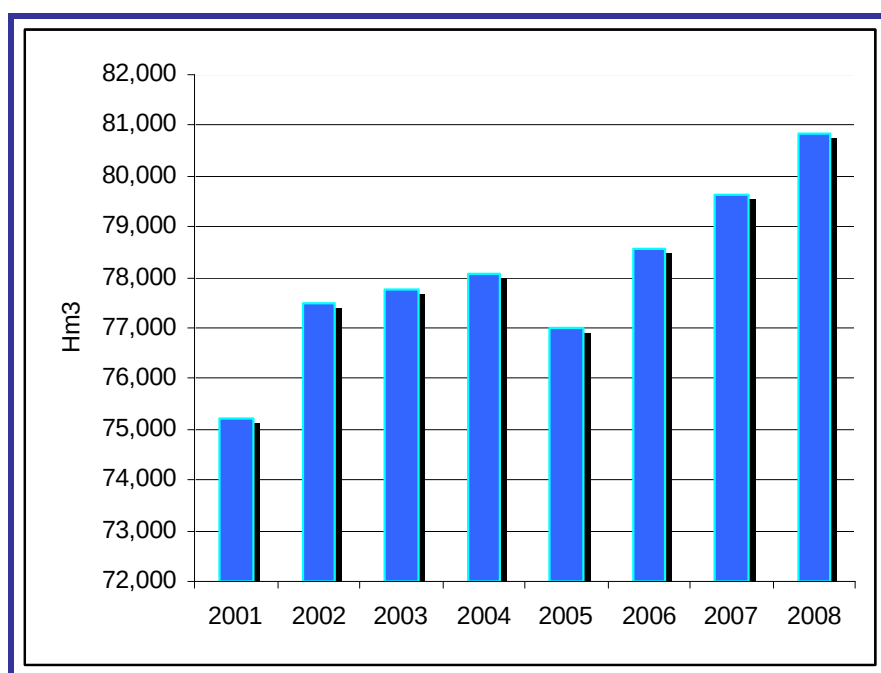


Gráfica 3.6.3: Escurrecimiento natural medio. Fuente: Para 2001: SEMARNAT. CONAGUA. *Compendio Básico del Agua en México*, 2001. México, D.F. Para 2002-2008: SEMARNAT. CONAGUA. *Estadísticas del Agua en México* (varios años). México, D.F.

3.6.1.3 Recarga natural media

A través de los años la recarga natural del acuífero ha tenido que requerir mayores volúmenes de agua, por el aumento de la extracción del recurso hídrico. La recarga natural de los acuíferos es la etapa del ciclo del agua en la se hace más notoria la sobreexplotación de agua en cualquier región.

En el caso del país la recarga natural media de los acuíferos se estima en 78,070 hm³/año. En la gráfica siguiente podemos observar que cada vez es mayor la cantidad de agua que requieren los acuíferos para recargarse, la tendencia que sigue es de aumento de recurso hídrico necesario para poder mantener su estabilidad, cuando en el año 2001 la recarga solo era de 75,219 hm³ en el 2008 los acuíferos han requerido de 80,822 hm³.

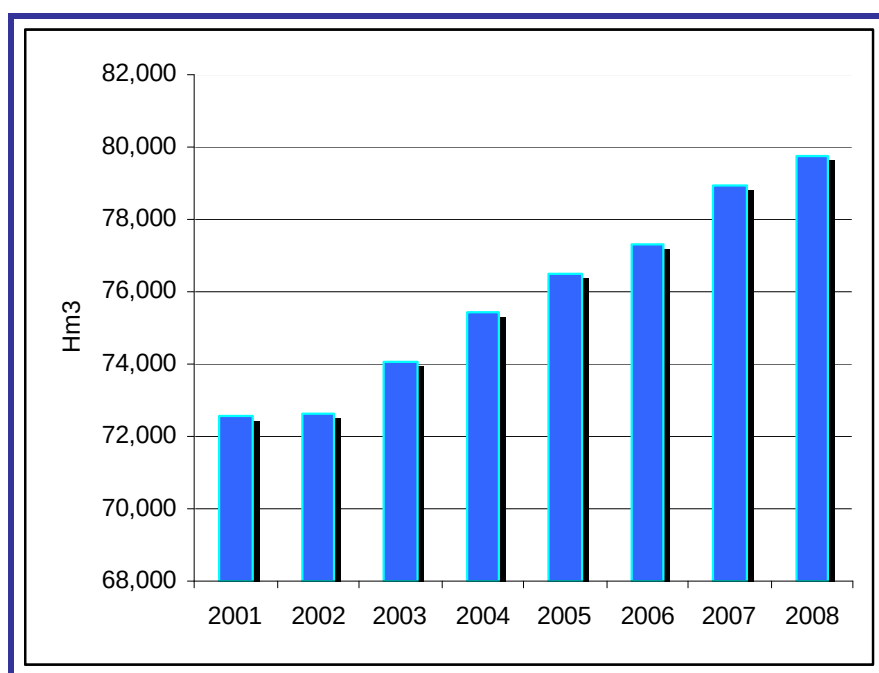


Gráfica 3.6.4: Recarga natural media. Fuente: Para 2001: SEMARNAT. CONAGUA. *Compendio Básico del Agua en México*, 2001. México, D.F. Para 2002-2008: SEMARNAT. CONAGUA. *Estadísticas del Agua en México* (varios años). México, D.F.

3.6.1.4 Extracción total bruta anual

La extracción a nivel país como se puede ver en la siguiente gráfica tiene una tendencia creciente, ésta sigue el comportamiento de la gráfica de recarga natural media anual, lo cuál tiene coherencia si pensamos que mientras más extraigamos del acuífero, más necesitará para volver a su estado natural.

En la gráfica podemos observar que los años en los que menor extracción había, fueron 2001 y 2002, se extrajeron 72,564 y 72,643 hm³ respectivamente, para el año 2003 se ve un aumento de 74,037 hm³; hacia el 2004 llega a 75,430 hm³, en el 2005 se alcanza una extracción de 76,500 hm³, en el 2006 y 2007 llegan las extracciones a 77,322 y 78,950 hm³ respectivamente, para el año 2008 se llega al máximo de la gráfica de 79,752 hm³. La media se da a los 75,900 hm³. Cabe mencionar que las importaciones al país son de alrededor de 49,312 hm³ anuales.



Gráfica 3.6.5: Extracción total bruta anual Fuente: Para 2001: SEMARNAT. CONAGUA. *Compendio Básico del Agua en México*, 2001. México, D.F. Para 2002-2008: SEMARNAT. CONAGUA. *Estadísticas del Agua en México* (varios años). México, D.F.

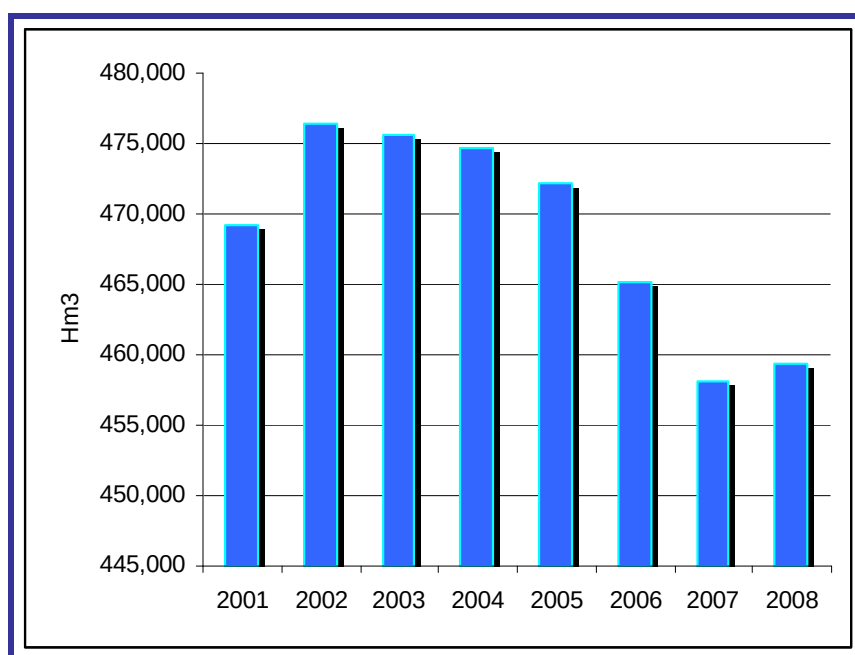
3.6.1.5 Disponibilidad natural media total

En la gráfica siguiente el tema de disponibilidad natural del recurso hídrico muestra la gran relevancia de la misma, ya que muestra la cantidad de agua con la que cuenta el país, si llega a coincidir con la extracción significa que el agua se aprovecha al máximo de lo contrario se demostraría que existe una gestión deficiente del recurso hídrico.

La gráfica describe una Campana de Gauss muy pronunciada, ésta se puede decir que se comienza a recuperar a partir del año 2008 con lo que nos dice que ha reducido bastante la disponibilidad natural en el país.

Vemos que para el año 2001 se tenía una disponibilidad de 469,199 hm^3 , después para el año 2002 se tuvo la mayor disponibilidad donde se alcanzaron 476,456 hm^3 , y a partir de ese año la disponibilidad comienza a caer año con año, como podemos ver para el 2003 la disponibilidad es de 475,547 hm^3 , para el 2004 se reduce a 474,638 hm^3 , en el año 2005 se reduce a 472,194 hm^3 , hacia el año 2006 tiene una caída significativa a 465,139 hm^3 , para en el año 2007 presentar sus niveles más bajos de disponibilidad con tan sólo 458,095 hm^3 y para el 2008 se recupera un poco de disponibilidad natural con 459,353 hm^3 , la media de medias es 468,828 hm^3 .

Hay una clara relación entre la disponibilidad natural y el escurrimiento natural medio, ya que ambas gráficas se comportan de una manera muy similar.



Gráfica 3.6.6: Disponibilidad natural media anual. Fuente: Para 2001: SEMARNAT. CONAGUA. *Compendio Básico del Agua en México*, 2001. México, D.F. Para 2002-2008: SEMARNAT. CONAGUA. *Estadísticas del Agua en México* (varios años). México, D.F.

3.6.1.6 Contaminación y calidad del agua potable

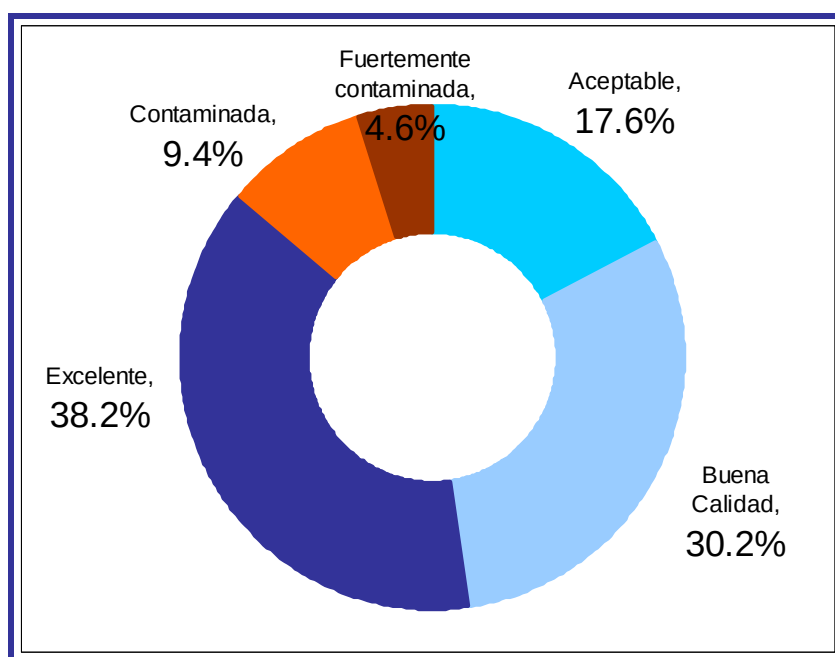
En 2007 se cubrieron 191 cuerpos de agua superficial en 96 cuencas, que incluyen 34 de los 50 cuerpos de agua de mayor importancia en los Estados Unidos Mexicanos, con la intención de tendencias de cambio en el tiempo.

La evaluación de la calidad de agua se realiza a través de tres indicadores:

- La Demanda Bioquímica de Oxígeno a cinco días (DBO_5)
- La Demanda Química de Oxígeno (DQO)
- Sólidos Suspendedos Totales (SST)

Los dos primeros indicadores ayudan a conocer la cantidad de materia orgánica presente en los cuerpos de agua provenientes de las descargas de aguas residuales, de origen municipal y no municipal. La DBO_5 indica la cantidad de materia orgánica biodegradable, mientras que las DQO indican la cantidad total de materia orgánica; a través el incremento en alguno de ambos indicadores se puede determinar alguna disminución en la concentración de oxígeno en los cuerpos de agua, lo que contaminaría gravemente los cuerpos de agua. El SST se origina de aguas residuales y la erosión del suelo, el incremento de este indicador refleja el que un cuerpo de agua su capacidad de soportar diversidad de vida acuática.

La calidad de agua medida mediante el indicador DBO_5 muestra que en el año 2007, con 437 sitios de muestreo alrededor del país obtuvieron los siguientes resultados:



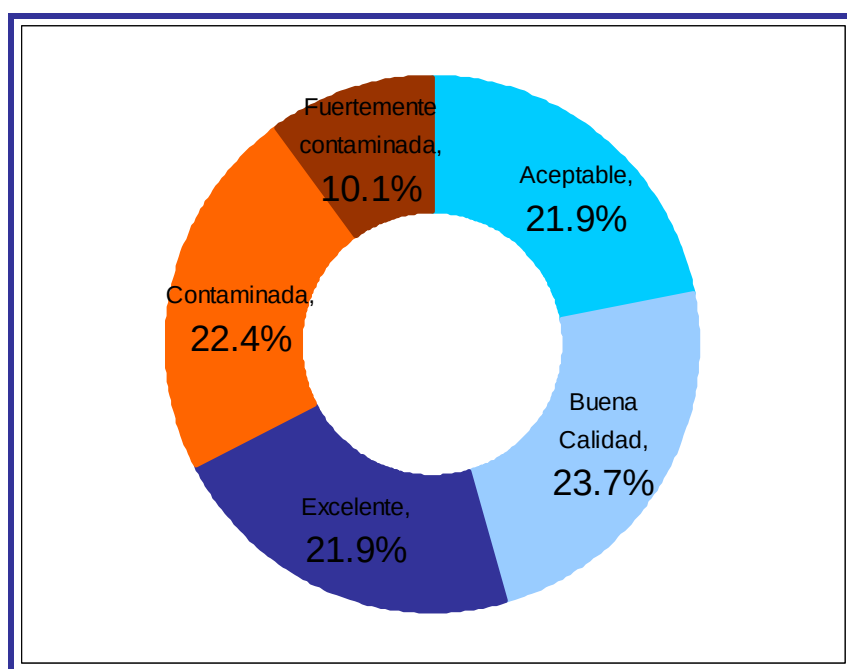
Gráfica 3.6.7: Calidad de agua con análisis DBO₅. Fuente: "Atlas del agua 2009"; Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT); México 2010.

La cantidad de agua medida como excelente sólo alcanzó un 38,2%, el porcentaje encontrado de buena calidad fue de 30,2%, la categoría de aceptable obtuvo 17,6% y se encontró que 9,4% del volumen de agua medido se encontraba contaminada y 4,6% estaba fuertemente contaminada.

Se define una calidad excelente cuando el indicador DBO₅ es menor o igual a 3; buena calidad cuando el indicador se encuentra entre 3 y 6; la calidad aceptable se entre valores de entre 6 y 30; contaminada entre 30 y 120 y fuertemente contaminada en se entiende cuando tiene valores mayores a 120. La información corresponde a corrientes superficiales.

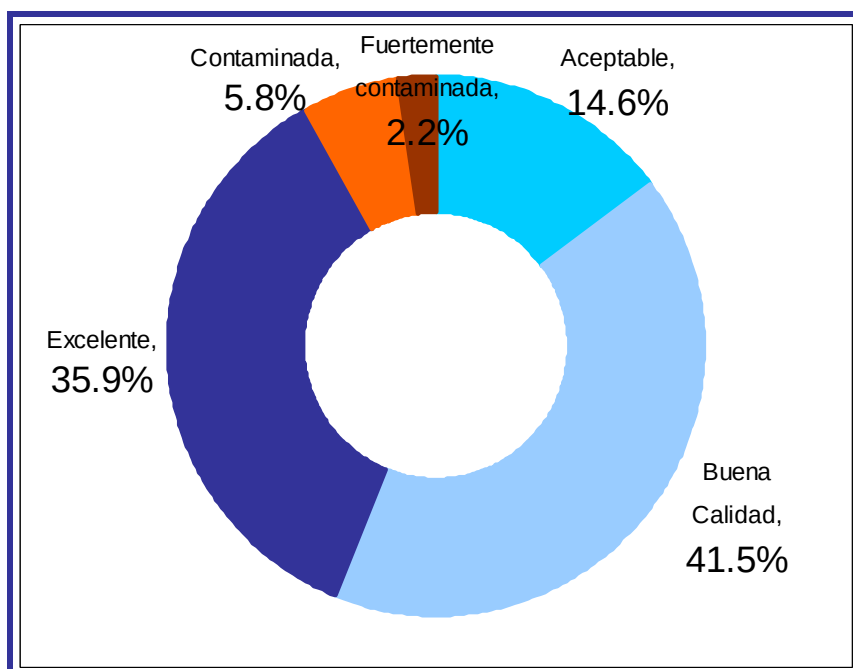
En cuanto al indicador DQO, se tomaron mediciones para el año 2007 en corrientes superficiales a través de 379 sitios de muestreo. Los resultados fueron, con calidad excelente 21,9%; con calidad aceptable 21,9%; con buena calidad 23,7%; cantidad medida como contaminada fue de 22,4% y el resultado de calidad fuertemente contaminada fue de 10,1% del total del volumen medido en el año.

El DQO mide como excelente la calidad del agua cuando se encuentra por debajo de 10; la calidad aceptable es aceptable dentro de un rango de 10 y 20; la categoría de buena calidad se acepta dentro de rango de 20 y 40; la contaminada en un rango de 40 a 200 y la categoría fuertemente contaminada se da a partir de 200.



Gráfica 3.6.8: Calidad de agua con análisis DQO. Fuente: “Atlas del agua 2009”; Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT); México 2010.

La calidad del agua según el indicador SST, mide la calidad del agua potable excelente cuando se encuentra en rangos de hasta 25; la buena calidad de 25 a 75; la calidad aceptable de 75 a 150; la categoría contaminada acepta valores de 150 a 400 y cuando se encuentra fuertemente contaminada es porque da resultados mayores a 400, la siguiente gráfica muestra los resultados de este indicador para el año 2007.



Gráfica 3.6.9: Calidad de agua con análisis SST. Fuente: “Atlas del agua 2009”; Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT); México 2010.

3.6.1.7 Presas Hídricas

En el país existen alrededor de 4 mil presas, de estas 667 están clasificadas como grandes presas, de acuerdo a la ICOLD por sus siglas en inglés que significa Comisión Internacional de Grandes Presas. La capacidad instalada de almacenamiento de las presas del país es de 150 millones de m³. Existen 52 presas principales en el país las cuales representan el 70% de la capacidad de almacenamiento del país.

Es interesante dar a conocer que ninguna de las 52 presas principales dan servicio a la región administrativa XIII que será objeto de este estudio; en el siguiente mapa podemos ubicar en que cuencas se encuentran las presas principales, además de que se observa la capacidad total de almacenamiento en hectómetros cúbicos de cada una. La capacidad menor a 300 está indicada con un círculo rojo; las presas con capacidad de 301 a 1000 están indicadas con círculo verde; después la categoría de 1001 a 4000 de capacidad se indica con un círculo rosa y por último las presas con capacidad de almacenamiento mayor a 4000 se indican con círculos azul marino.



Imagen 3.6.3: Calidad de agua con análisis SST. Fuente: “Atlas del agua 2009”; Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT); México 2010.

3.6.2 Factores socio – económicos

Los factores socio – económicos son aquellos en los que el ser humano influye ya sea por sus actividades o por sus modos de gestión de los recursos que se presentan anteriormente como factores ambientales.

En éste apartado veremos la influencia que tiene el crecimiento de la población y la presión que ha ido ejerciendo a los largo de los años sobre el territorio del país; el crecimiento anual del Producto Interno Bruto el cual indica el crecimiento que ha tenido el país a través de los años y, la evolución del Índice de

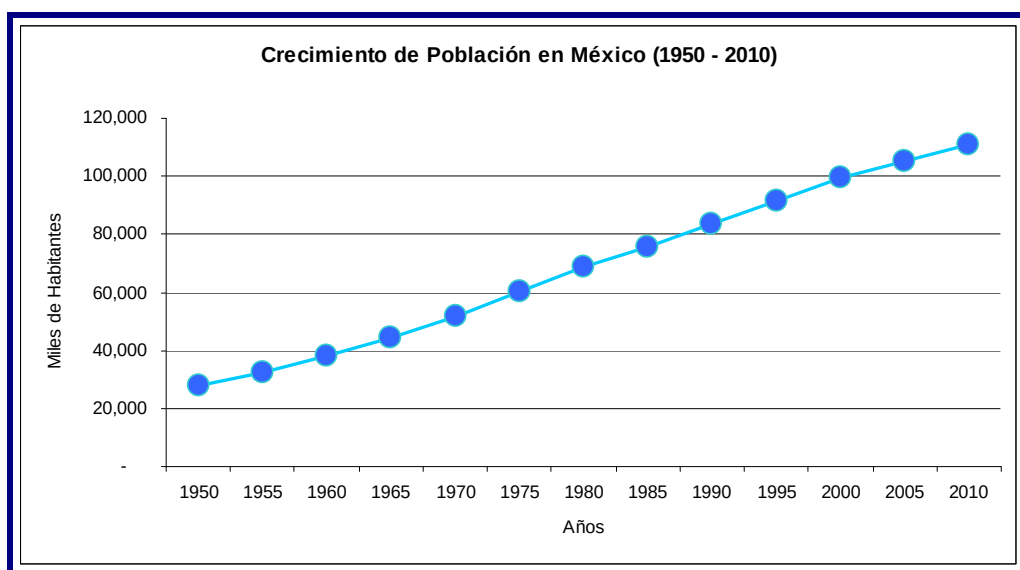
Desarrollo Humano desarrollado por el PNUD; a su vez se analizarán las clasificaciones que se le dan de acuerdo a su uso, a los recursos hídricos y que cantidad de recurso es utilizado en cada sector para así conocer si la tendencia mundial a su vez se ve reflejada en el país, así como la división en cuanto a regiones hídricas que se ha convenido en el país basándose en la cantidad de cuencas hidrológicas que hay en el país.

3.6.2.1 Crecimiento de población

Para el país de México el análisis de la estadística de crecimiento demográfico es realizada por la División de Población de las Naciones Unidas y por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, el conteo está organizado cada 5 años partiendo del año 1950.

En ese año contaba con una población de 27,741 millones de habitantes y una densidad de 14 habitantes por km² y de acuerdo a los resultados anuales la población del país tiene un crecimiento más intensivo a un ritmo de hasta 30% de un conteo a otro, alcanzando una población para el año 2010 de 110,645 millones de habitantes y una densidad de población de 57 habitantes por km².

Pero independientemente de que la presión sobre el territorio del país ha ido incrementando, el Índice de Crecimiento Poblacional (ICP) del país ha ido decreciendo siendo de 1950 a 1955 de 3,02% y aumentando solo entre 1955 y 1960 a 3,23%, de ahí en adelante la tendencia disminuye, llegando al período 2000 - 2005 con un 1,13%.



Gráfica 3.6.10: Crecimiento de Población en México. Fuente: Elaboración Propia en base a United Nations Population Division "World Population Prospects: The 2008 Revision, Population Database".

Esto significa que el crecimiento mayor de población se dio en la década de los 50's probablemente debido al impulso del desarrollo de la industria en el país y en cuanto a la disminución del ICP probablemente se deba a que el Índice de Mortalidad a aumentado o el Índice de Nacimientos a disminuido.

3.6.2.2 Evolución del Producto Interno Bruto



Gráfica 3.6.11: Evolución del PIB en billones de dólares estadounidenses. FUENTE: Internacional Monetary Fund (IMF); “*World Economic Outlook*”; Abril 2010.

En la gráfica anterior podemos observar la evolución con tendencia creciente del PIB Nominal, éste se mide en billones de dólares (mil millones de dólares), la nomenclatura que se representa en el mapa va de 500 o más, 100 a 500, 25 a 100, 5 a 25, por debajo de 5 y no data.

El país se encuentra actualmente en el año 2010, en la categoría de 500 o más billones de dólares que es la más alta de acuerdo con la nomenclatura del Banco Mundial. En la gráfica podemos observar que para el año 1980 el PIB fue de 205.661 billones de dólares, cinco años más tarde en 1985 decayó a 195.569 billones de dólares; un año más tarde en 1986 se da el más bajo nivel de PIB Nominal en la gráfica que es de 135.406 billones de dólares; en el año de 1990 aumentó a 262.71 billones de dólares; al año 1995 se observa el efecto de la crisis del 94 en donde cayó la economía de 462.023 a 314.115 billones de dólares.

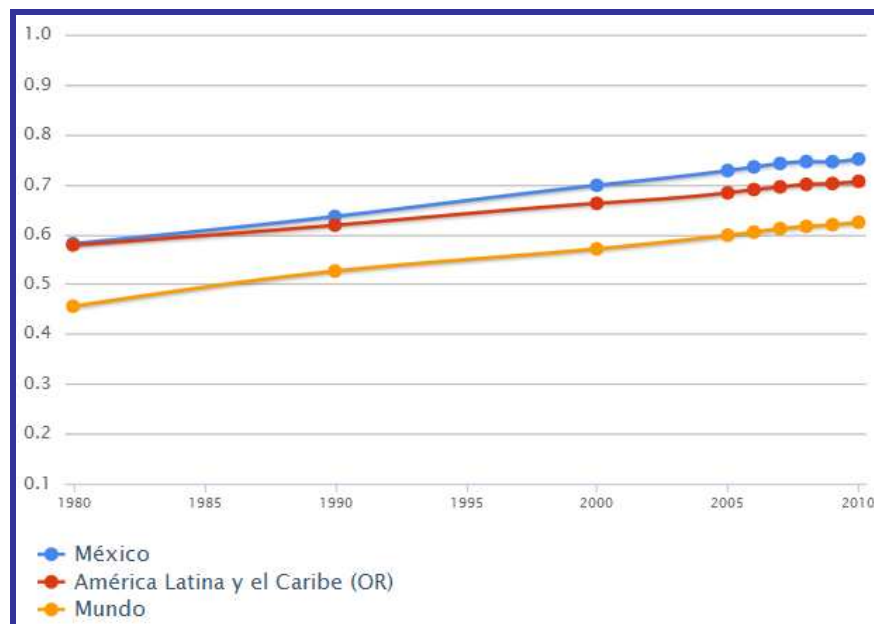
Para el año 2000 la economía continúa creciendo a 628.854 billones de dólares; y en el año 2005 el país alcanza un PIB Nominal de 848.947 billones de dólares para llegar a su punto máximo en la gráfica en el año 2008 de 1,089.95 billones de dólares y para el año 2009 cae nuevamente la economía del país por la recesión mundial a 874.903 billones de dólares; en éste año 2010 para el mes de abril se alcanzaron los 995.918 billones de dólares.

El punto medio de crecimiento del PIB Nominal se da entre el año 1999 y 2000 y a partir de ese año se comienza a dar un crecimiento más acelerado que en los años anteriores, esto refleja una contradicción ya que si vemos ésta gráfica se intuye que el país forma parte de los países en vías de desarrollo, pero también el país es miembro de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo (OECD) que son países desarrollados, esto posiblemente se deba a que México gestiona su economía basado en la economía norteamericana y puede entenderse como un país tendencioso, dependiendo para que tema internacional es desarrollado y para que tema está en vías de desarrollo.

3.6.2.3 Índice de Desarrollo Humano (IDH)

De acuerdo al *Informe sobre Desarrollo Humano 2010* del PNUD, México a nivel país se posiciona dentro de los países con un IDH de nivel alto en la posición 53.

En el año 1980 el IDH de México fue de 0,58 el cuál ha ido en constante aumento, para el año 1990 aumento a 0,63, después en el año 2000 se mantuvo en aumento alcanzando un valor de 0,69, para el año 2005 llegó a 0,72, a partir de ahí se tiene un conteo anual del crecimiento del IDH, donde en el año 2006 fue de 0,76, en el año 2007 cayó a 0,74, en el año 2008 se mantuvo el valor de 0,74 al igual que en el 2009 lo que demuestra que el crecimiento durante estos 3 años fue muy lento y para el año 2010 el Informe sobre Desarrollo Humano 2010 reportó un IDH de 0,75 en México ubicándonos en el puesto 56 de 169 a nivel mundial. (IDH,2010)



Gráfica 3.6.12: Índice de Desarrollo Humano. Fuente: United Nations Development Programme (UNDP) *"Informe Sobre Desarrollo Humano 2010, "La verdadera riqueza de las naciones: Caminos al desarrollo humano"* .

3.6.2.4 Cuencas y regiones hidrológico - administrativas

En el mapa siguiente se muestran las 37 regiones hidrológicas en las que el instituto de CONAGUA divide las 314 cuencas de aguas superficiales, las cuales dividen en 13 gerencias regionales – administrativas, las cuales fueron actualizadas en enero de 1999.



Imagen 3.6.4: Cuencas y Regiones Hídrico – Administrativas en México. Fuente: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI); “Regiones Hidrológicas”; México, 2010.

En el mapa anterior podemos observar el escurrimiento que tienen cada una de las regiones hidrológicas, por ejemplo las regiones que menor escurrimiento presentan de norte a sur son las regiones de la 1 a la 8 que abarcan todo California y parte de Sonora, la 34 parte de Chihuahua, 35, 36, 37 que pasan por Torreón y Zacatecas y la 31, 32 y 33 que se encuentran en la Península de Yucatán, Campeche y Quintana Roo. Éstas presentan un escurrimiento de menos de 10 mm anuales son regiones con climas muy secos.

Las regiones con mayores escurrimientos de norte a sur son parte de la región 27, 28 y 29 que abarcan en parte o en totalidad los estados de Veracruz, Oaxaca, Chiapas y Campeche; éstas regiones presentan escurrimientos de más de 1000 mm anuales, son las regiones que presentan inundaciones todos los años por los períodos tan prolongados de lluvias y el clima húmedo generando impactos ambientales así como sociales.

En la tabla siguiente se muestran las trece regiones hídrico – administrativas en las que se divide el país para efectos de gestión del agua, se puede observar que la de mayor dimensión es la región VI correspondiente al Río Bravo la cual se encuentra en la frontera con Estados Unidos y cuenta con una superficie de 377,000 km². La región más pequeña es la del Valle de México que tan sólo cuenta con 16,000 km² de superficie.

Region Administrativa	Superficie Miles de Km ²
I. Península de Baja California	144
II. Noroeste	212
III. Pacífico Norte	149
IV. Balsas	118
V. Pacífico Sur	80
VI. Río Bravo	377
VII. Cuencas Centrales del Norte	206
VIII. Lerma - Santiago - Pacífico	192
IX. Golfo Norte	127
X. Golfo Centro	105
XI. Frontera Sur	102
XII. Península de Yucatán	139
XIII. Valle de México	16
TOTAL	1967

Tabla 3.6.1: Regiones Hídrico – Administrativas y su superficie. Fuente: Elaboración propia en base a datos de AQUASTAT, 2010

3.6.2.5 Clasificación de los usos del agua (CONAGUA)

Los volúmenes concesionados o asignados a los usuarios se inscriben en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDa), institución encargada de ceder títulos para extracción de agua; agrupándose para fines prácticos en usos consuntivos (agrícola, abastecimiento público, industria, autoabastecida y termoeléctrica) y no consuntivo (hidroeléctricas). El 63% del agua para uso consuntivo proviene de fuentes superficiales (ríos, arroyos y lagos), el resto de aguas subterráneas.

3.6.2.6 Usos del agua y su distribución

El volumen concesionado puede analizarse regionalmente. Las regiones hidrológico – administrativas con mayor volumen concesionado son la VIII Lerma – Santiago – Pacífico, IV Balsas, III Pacífico Norte y VI Bravo. Por entidades federativas, las que representan mayor volumen concesionado son Sinaloa y Sonora, debido a sus extensiones agrícolas bajo riego.

A nivel nacional el país de México cuenta con una institución encargada de la gestión del recurso agua llamada Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) la cual define los usos del agua de México según las siguientes categorías:

3.6.2.6.1 Uso agrícola

El mayor uso es el agrícola, con el 77% del volumen concesionado para uso consuntivo. La superficie cosechada varía entre 18 y 22 millones de hectáreas anualmente. El valor de la producción es el 6,5% del PIB, y la población ocupada en estas actividades oscila entre 4 y 5 millones de personas. Se calcula que dependen directamente de esta actividad entre 20 y 25 millones de personas de México. La superficie

bajo riego representa 6.46 millones de hectáreas, agrupadas en 85 Distritos de Riego (54% de la superficie bajo riego) y más de 39 mil Unidades de Riego (46% restante). Para el año 2007 contó con 60,571.93 hm³.

3.6.2.6.2 Uso industrial

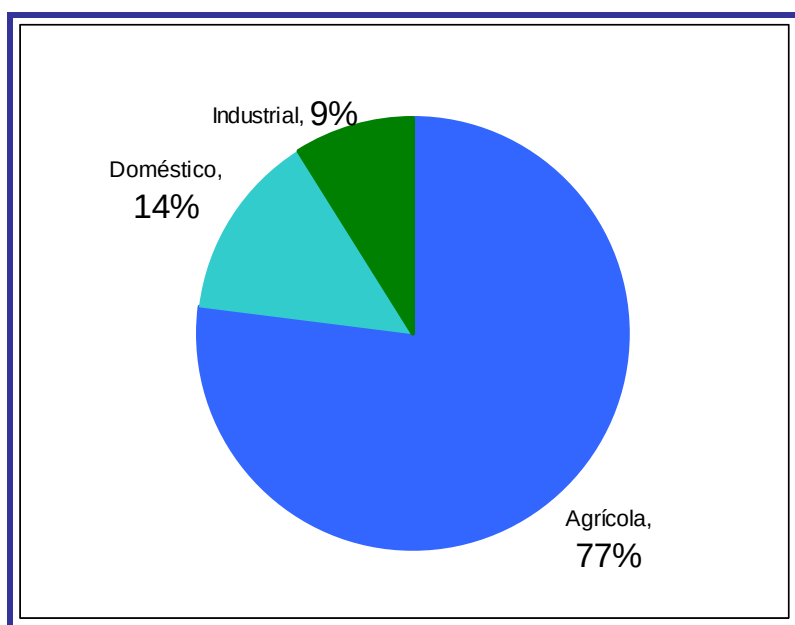
Uso en industria autoabastecida: Representado por la industria que se abastece directamente de ríos, arroyos, lagos o acuíferos del país. Los principales rubros son industria química, azucarera, petróleo, celulosa y papel.

Uso en termoeléctricas: En 2007 las termoeléctricas (centrales de vapor, duales, carboeléctricas, ciclo combinado, turbotas y combustión interna) generaron 189 TWh, el 87% de la electricidad producida en el país. Cabe aclarar que el 76% del agua concesionada a termoeléctricas corresponde a la carboeléctrica de Petalco. Para usos no consuntivos en el año 2007 se contó con 7,219.63 hm³.

Uso en Hidroeléctricas: El uso no consuntivo, que no consume el agua empleada; en el 2007, representó 123 hm³, para generar 29,7 TWh, el 13% de la producción de energía eléctrica en México.

3.6.2.6.3 Uso doméstico

Uso para abastecimiento público: Se abastece a los usuarios domésticos, así como a industrias y servicios conectados a redes de agua potable en las localidades, generalmente urbanas. Con base en los censos de Captación, Tratamiento y Suministro de Agua (INEGI), se estima que de 1998 a 2003 se incrementó el volumen de agua empleado por los prestadores de servicio en 22%. En 2003, el agua facturada representó el 49% del agua empleada, lo que implica que el 51% restante se perdió en fugas, tomas clandestinas o deficiencias del padrón de usuarios. Cabe comentar que la prestación del uso queda gestionada bajo el ámbito municipal. En el 2007 se contó con 11,155.01 hm³ para éste uso.



Gráfica 3.6.13: Usos de agua en México. Fuente: "Atlas del agua en México"; México, 2009.

3.6.2.7 Tratamiento del agua

3.6.2.7.1 Plantas potabilizadoras

Para el año 2008 las plantas potabilizadoras llegaron a ser 604 a nivel nacional, con una capacidad instalada de $130.88 \text{ m}^3/\text{s}$, aunque sólo se potabilizaron $87.31 \text{ m}^3/\text{s}$ en ese año. Las regiones hidrológico – administrativas que mayor número de plantas potabilizadoras tuvieron son en primer lugar la región III del Pacífico Norte, con 151 plantas potabilizadoras operando con capacidad de tratamiento de $9.08 \text{ m}^3/\text{s}$ pero potabilizando tan sólo un caudal de $7.23 \text{ m}^3/\text{s}$, en segundo lugar se encuentra la región VIII de nombre Lerma – Santiago – Pacífico que cuenta con 106 plantas potabilizadoras con una capacidad instalada de $19.42 \text{ m}^3/\text{s}$ y alcanzando a potabilizar $12.15 \text{ m}^3/\text{s}$, y en tercer lugar la región VII Cuencas Centrales del Norte que cuentan con 60 plantas potabilizadoras y una capacidad instalada de $0.55 \text{ m}^3/\text{s}$, y potabilizando tan sólo un caudal de $0.39 \text{ m}^3/\text{s}$.

En cuanto a los procesos de potabilización se cuenta con proceso de *Ablandamiento* con el propósito de eliminar la dureza en el agua; *Adsorción* que ayuda a eliminar trazas de orgánicos; *Clarificación* convencional para eliminar los sólidos suspendidos al igual que la Clarificación de patente; la *Electrodiálisis* reversible que ayuda a eliminar los sólidos disueltos; *Filtración directa* y *Filtros lentos* que ayudan a la eliminación de sólidos suspendidos; *Ósmosis* inversa que ayuda a eliminar sólidos disueltos y por último la remoción de fierro y manganeso. Los procesos más usados son la Ósmosis inversa, la Clarificación convencional y la Clarificación por patente.

3.6.2.7.2 Plantas de depuración de aguas residuales

Las descargas de aguas municipales se dividen en municipales e industriales, las primeras son gestionadas por los municipios y recolectadas a través de la red de alcantarillado, las segundas son aquellas descargadas directamente a los cuerpos receptores de propiedad nacional, como la industria autoabastecida.

En el año 2008, se contaba con 1,883 plantas en operación a nivel nacional desde las que se trataron $83.6 \text{ m}^3/\text{s}$, lo que representó tan sólo el 40% de los $208 \text{ m}^3/\text{s}$ recolectados en los sistemas de alcantarillado.

Por otra parte es interesante mencionar que en ese año la capacidad instalada era de $113.02 \text{ m}^3/\text{s}$, si lo relacionamos con la cantidad de aguas residuales recolectada, se puede observar que la cantidad recolectada de aguas residuales sobrepasa en un 100% la capacidad.

Las regiones hidrológico – administrativas con mayor número de plantas de tratamiento de aguas residuales en operación para el año 2008 fueron, en primer lugar la región VIII Lerma – Santiago – Pacífico con 465 plantas de tratamiento, con una capacidad instalada de $23.17 \text{ m}^3/\text{s}$ y un caudal tratado de $18.02 \text{ m}^3/\text{s}$; la región III Pacífico Norte con un total de 249 plantas de tratamiento, una capacidad instalada de $8.38 \text{ m}^3/\text{s}$ del cuál se trató un caudal de $6.60 \text{ m}^3/\text{s}$; la región VI correspondiente al Río Bravo con 188 plantas con una capacidad instalada de $28.32 \text{ m}^3/\text{s}$ trató tan sólo un caudal de $22.23 \text{ m}^3/\text{s}$, le sigue la región IV Balsas la cuál contaba con 147 plantas con una capacidad de $7.60 \text{ m}^3/\text{s}$ y trató un caudal de $5.50 \text{ m}^3/\text{s}$.

Las regiones restantes tienen entre 130 y 85 plantas de tratamiento a excepción de la región I que corresponde a la Península de Baja California que cuenta con tan sólo 45 plantas de tratamiento con una capacidad instalada de $8.19 \text{ m}^3/\text{s}$ y que en el año 2008 trató un caudal de $6.11 \text{ m}^3/\text{s}$.

Los procesos de tratamiento usados en el año 2008 por porcentaje fueron lodos activos en un 46,19%; lagunas de estabilización en un 17,49%; tratamiento primario avanzado en 10,17%; lagunas aireadas 7,14%; tratamiento dual 5,23%; filtros biológicos 4,49%; zanjas de oxidación 2,77%; tratamiento primario 2,49%; reactor anaeróbico de flujo ascendente 1,34%; humedal artificial 0,56%; tanque septicótico 0,54%; otros tratamientos 0,50%; biodiscos 0,49%; Tanque Imhoff 0,48%; y por último el reactor enzimático con tan sólo 0,13%.

Las plantas de tratamiento de aguas industriales eran 2,082 en operación a nivel nacional con un potencial de tratamiento de $56.75 \text{ m}^3/\text{s}$ en las que se trató un caudal de $33.8 \text{ m}^3/\text{s}$ en el año 2008; los tipos de tratamiento que se usaron fueron, tratamiento primario que sirve para ajustar el pH y remover materiales orgánicos y/o inorgánicos en suspensión; tratamiento secundario que ayuda a remover materiales orgánicos coloidales y disueltos; el tratamiento terciario que ayuda a remover materiales disueltos que incluyen gases, sustancias orgánicas naturales y sintéticas, iones, bacterias y virus; así como otros tratamientos no especificados.

3.7 Un posible escenario de futuro

La oferta de agua dulce renovable tiene dos niveles de acuerdo a la Food and Agriculture Organization (FAO). El primer nivel describe la oferta de nivel alto (ONA) donde se toman 60% del total de los recursos en aguas renovable.

Los recursos explotables de agua (también conocidos como recursos de agua gestionables o desarrollo potencial del agua) son considerados accesibles para desarrollo, tomando en cuenta factores como: la viabilidad económica y ambiental del almacenaje de agua de inundación en presas, extrayendo agua subterránea, la posibilidad física de almacenar agua proveniente de escurrimientos naturales que se dirigen hacia el mar, y requerimientos mínimos de escurrimiento (navegación, servicios ambientales, vida acuática, etc). Los métodos para evaluar recursos hídricos explotables varía de país en país.

La oferta de nivel bajo (ONB), de acuerdo al científico Szöllozy-Nagy de la Secretaria de Programa Hídrico Internacional de la UNESCO, define que cuando los índices de utilización llegan a niveles de entre 20% y 40% de agua dulce disponible estamos en una situación de presión media alta, en este punto es necesario establecer una gestión sostenible de los recursos hídricos.

Y según Igrac (2004), investigador del WWAP, la tasa real de recarga de los sistemas acuíferos subterráneos es prácticamente inexistente en algunas regiones del mundo. Igrac caracteriza nuestra región con una tasa media de recarga. Por lo que se tomará como oferta de nivel bajo:

40% de los recursos totales en aguas superficiales

30% de los recursos totales en aguas subterráneas

Tomando en cuenta que los recursos hídricos internos renovables totales son de $409 \text{ km}^3/\text{año}$, el cálculo nos da:

ONA: $60\% * 409 \text{ km}^3/\text{año} = 245.4 \text{ km}^3$

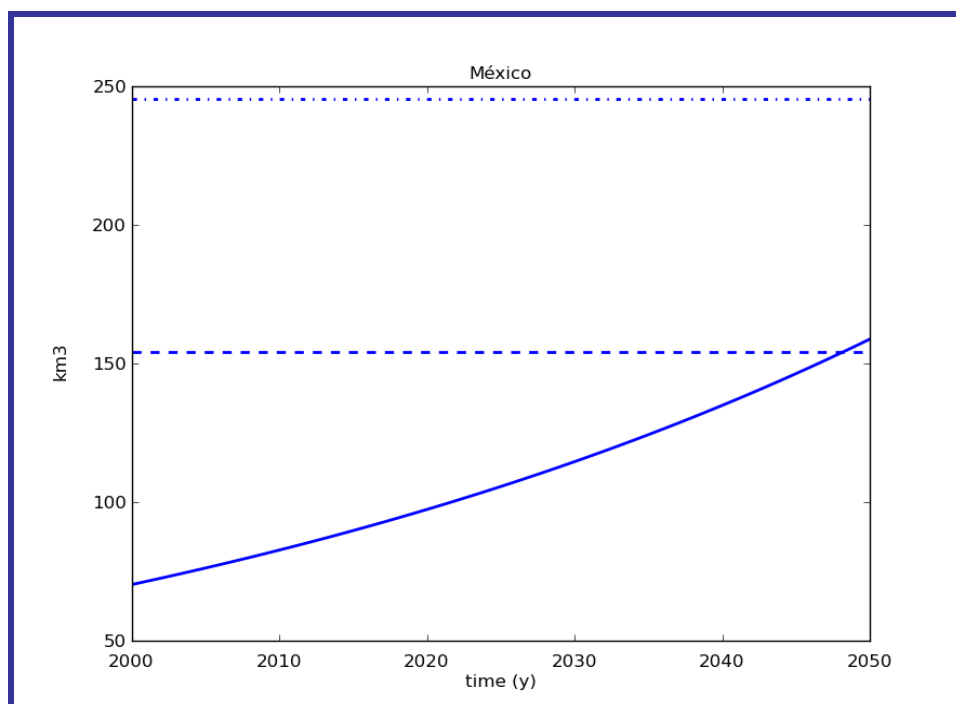
Y el ONB tomando la superposición o parte común entre aguas superficiales y subterráneas obtenida de AQUASTAT, que es de 91 km³/año, lo dividimos entre los dos tipos de agua.

Aguas superficiales $(361 \text{ km}^3 - 91 \text{ km}^3 / 2) * (40/100) = 126,2 \text{ km}^3$

Aguas subterráneas $(139 \text{ km}^3 - 91 \text{ km}^3 / 2) * (30/100) = 28,05 \text{ km}^3$

Total oferta de nivel bajo: $126,2 \text{ km}^3 + 28,05 \text{ km}^3 = 154,25 \text{ km}^3$

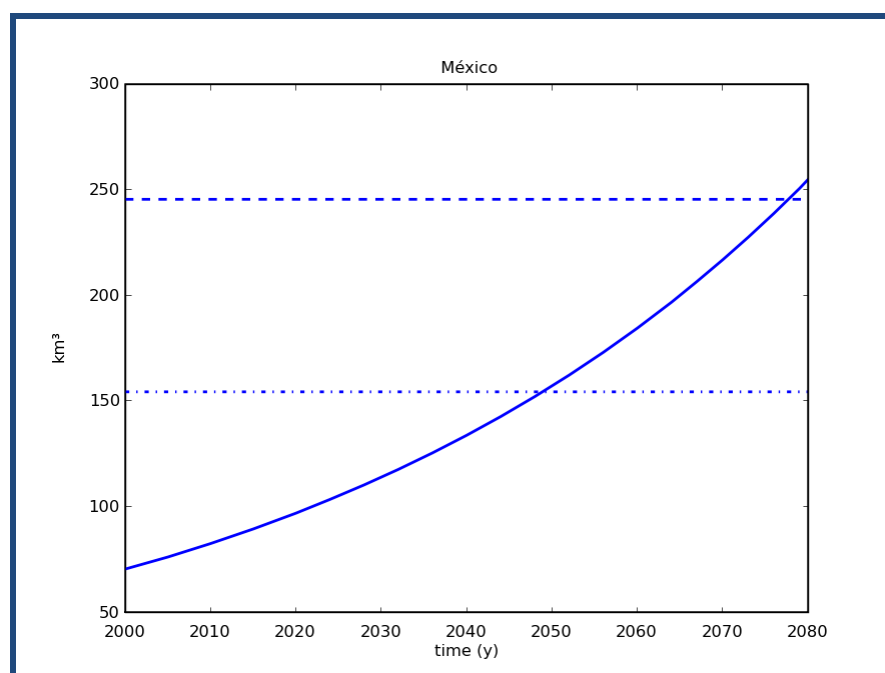
Tal y como se puede observar en la gráfica siguiente:



Gráfica 7.1: Escenario a futuro Estados Unidos Mexicanos 2050; Fuente: Elaboración propia en base a datos obtenidos de la base de datos AQUASTAT 2010.

Por lo que se puede apreciar en el escenario business as usual para el año 2050, si continuamos actuando como hasta hoy sin tomar ninguna acción al respecto para remediar el problema del recurso hídrico en el país, en el año 2050 rebasaremos la oferta de nivel bajo.

En la gráfica 7.2 podemos observar el escenario posible para el año 2080, donde se aprecia que siguiendo un escenario business as usual sobrepasamos no sólo la oferta de nivel bajo sino a su vez la oferta de nivel alto, resultando en un panorama alarmante para el país.



Gráfica 7.2: Escenario a futuro Estados Unidos Mexicanos 2080; Fuente: Elaboración propia en base a datos obtenidos de la base de datos AQUASTAT 2010.

3.8 Conclusión

Los Estados Unidos Mexicanos son un país que no ha sabido aprovechar el estar en una región en el mundo con grandes precipitaciones, teniendo conocimiento de que es un país con un clima predominantemente seco con temperaturas entre los 10°C y 26°C.

Un factor muy importante que ha influenciado la alteración del balance hídrico y representa una presión importante sobre el recurso hídrico, es el crecimiento demográfico que tiene una tendencia exponencial, en el año 1950 se contabilizaron 27,741 millones de habitantes y en el conteo del año 2010 se contabilizaron 112,322 millones de habitantes o en términos de densidad poblacional 57.3 hab/km² (INEGI, 2010).

En cuestiones económicas el país es un país con un PIB en constante crecimiento influenciado directamente por la economía norteamericana, por lo que no es estable por sí misma y no ayuda a determinar la sostenibilidad del país o no; por otra parte el Índice de Desarrollo Humano también tiene una tendencia creciente, actualmente de 0,89, dando a entender que el país si está avanzando hacia la sostenibilidad en aspectos de educación básica, vida digna, saludable y con mayor longevidad.

Las precipitaciones pluviales representan una media anual de 773,5 mm (CONAGUA, 2010); el 67% se dan en los meses de junio a octubre, en los que se debería aprovechar para recolectar mucha agua de lluvia, ya sea para riego, para uso doméstico o en su caso para recarga de acuífero y gestionarla de manera adecuada para que los meses en los que se tienen menores precipitaciones se tengan reservas. En los estados de Tabasco y Chiapas la temporada de lluvias llega a ser muy intensa provocando inundaciones, muertes, pérdida de casas, pérdida de servicios e infraestructura, entre otras cosas, por lo que en las zonas inundables no debiera habitar gente y esa zona debiera funcionar como vaso recolector de agua de lluvia para recolectarla, tratarla y distribuirla en sus alrededores.

Por otro lado el escurrimiento natural en el país ha ido disminuyendo por la urbanización de las ciudades y a los trasvases de ríos y secado de lagos para hacer crecer las ciudades, en ocasiones entubando ríos lo que genera una pérdida medioambiental muy grande así como ha sucedido en el caso del Mar de Aral, el cual se ha visto afectado por los trasvases de las fuentes de las que se alimentaba, hacia industrias de algodón principalmente. Esto afecta directamente a la recarga natural de los acuíferos requiriendo cada vez más cantidad de agua para mantener su equilibrio, ya que a su vez la población en constante crecimiento en el país demanda mayor cantidad de agua por lo que la extracción de agua dulce actualmente excede la recarga natural en alrededor de 1,000 hm³ de acuerdo a un cálculo que realicé con los datos obtenidos.

Otra situación importante es la contraposición entre la disponibilidad natural que se tiene del recurso hídrico con la extracción, al parecer siguen un orden de a mayor extracción menor disponibilidad, lo que demuestra que existen grandes pérdidas por diversas causas entre ellas seguramente la deficiente infraestructura existente, actualmente presenta un déficit de aproximadamente 20,000 hm³ durante el período 2002 al 2008. Los usos que se le dan en el país al agua dulce (CONAGUA, 2009) representados en porcentaje se dividen en 77% en uso agrícola, 14% en uso doméstico, y 9% en uso industrial, en hectómetros son 60,571.93 hm³ para uso agrícola, 11,155.01 hm³ y 7,219.63 hm³ para uso industrial.

El escenario a futuro del país con un planteamiento business as usual tanto para el año 2050 como para el 2080 nos dan resultados alarmantes en los que en el primer escenario rebasamos la oferta de nivel bajo y en el segundo escenario rebasamos tanto la oferta de nivel bajo como la oferta de nivel alto.



4. Ciudad de México y Zona Metropolitana

4.1 Introducción

La Ciudad de México es una de tantas ciudades modernas que en la actualidad tiene problemas de diversas índoles pero aquel que atañe a ésta investigación es el que tiene para abastecerse de agua potable, para dar servicio a todos sus habitantes, ya que la densidad demográfica en la ciudad se mantiene en constante incremento, influyendo directamente en la extracción, transporte y uso del recurso agua.

Otra situación que agrava o dificulta más la distribución del recurso hídrico en la ciudad es que cada vez se anexan más municipios cercanos al territorio de la ciudad como zona metropolitana, ya sea porque son ciudades o poblaciones numerosas que están muy bien comunicadas con la ciudad, la mayoría de los habitantes trabajan en la Ciudad de México o que se tiene una alianza estratégica con los municipios por instalar industrias que fabrican objetos para consumo en la ciudad y que conviene considerarlas dentro del territorio de la ciudad, éstas generalmente ubicadas al norte de la ciudad; También se anexan municipios a la Zona Metropolitana del Valle de México, los cuáles tienen fácil acceso a la ciudad gracias a la topografía natural del valle, ya que como se verá más adelante, en la parte sur – oeste está rodeada de cerros y montañas.

Esto y otros factores generan que la ciudad nunca haya alcanzado incluso hasta nuestros días una red de abastecimiento de agua potable que de servicio a toda su población antigua y a la creciente demanda actual y que a su vez tenga una gestión del metabolismo urbano del agua adecuado.

Una situación que marca que muchas de éstas cosas seden en la Ciudad de México es que en ella es donde se concentran gran parte de las empresas nacionales y transnacionales y los poderes gubernamentales, por lo que la mayor cantidad del PIB nacional se produce en la ciudad, esto llama a que gran parte de la población del país quiera vivir en la ciudad, buscando mejorar su situación económica, pero en general son familias o personas humildes que terminan en asentamientos irregulares en el territorio de la ciudad y éstos asentamientos generalmente se encuentran en laderas con pendientes muy pronunciadas, que en las épocas de lluvia provocan deslaves, llevándose sus casas creadas con materiales reciclados, y que no cuentan con servicios públicos, y al verse sin casa, exigen al gobierno de la Ciudad de México que les pague por sus casas y que les instalen servicios públicos entre ellos agua potable; siendo complicado por una parte porque no son personas que terminen aportando impuestos a la ciudad con los cuales se podría pagar el tendido de redes de abastecimiento y que por otro lado es insostenible el dotar de servicios en laderas y barrancas inestables a éstas personas, por los altos costos de mantenimiento.

4.2 Factores ambientales

4.2.1 Ubicación geográfica



Imagen 4.2.1: Ubicación geográfica de la Ciudad de México. Fuente: Elaboración Propia en base a imágenes de Microsoft y Estadística del Agua de la región Hidrológico – Administrativa XIII, Aguas del Valle de México, 2009.

La ciudad de México se encuentra en el centro del territorio del país en las coordenadas geográficas 19°36' Norte, 99°03' Sur, 98°57' Este y 99°22' Oeste, representa el 0,1% de la superficie del país, colinda al Norte, Este y Oeste con el Estado de México y al Sur con el Estado de Morelos, con una altitud promedio de 2,240 msnm, con una extensión territorial urbana de 2,000 km² (9,600 km² Cuenca del Valle de México). Alcanza en una de sus partes más elevadas una altitud de 3,930 msnm en el Cerro la Cruz del Marqués, la elevación menor de las más significativas se da en el Cerro de Chapultepec el cuál tiene una altitud de 2,280 msnm (INEGI. Marco Geoestadístico, 2000).

4.2.2 Modelo actual del ciclo hídrico urbano en la Ciudad de México y Zona Metropolitana

4.2.2.1 Región hidrológico - administrativa XIII

La RHA XIII se ubica en la cuenca alta del Río Pánuco, está formada por dos subcuencas, la del Valle de México y la del Río Tula. Tiene una superficie física de 16,424 km², sin embargo los límites administrativos cubren una superficie de 17,126 km².

Se encuentra conformada por tres Entidades Federativas: México, Hidalgo y Tlaxcala y las 16 delegaciones políticas del Distrito Federal. Para fines de planeación se convierte en la RHA XIII. La

subregión Valle de México esta conformada por 69 municipios (50 del Estado de México, 15 de Hidalgo y 4 de Tlaxcala) y las 16 delegaciones políticas del D. F. Por su parte, la subregión Tula está conformada por 31 municipios (7 del Estado de México y 24 del Hidalgo).



Imagen 4.2.2: Región hidrológico – administrativa XIII. Fuente: Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT); “Estadísticas del agua de la Región Hidrológico – Administrativa XIII, Aguas del Valle de México”; México, 2009.

La cuenca del Valle de México abarca desde su nacimiento en la Sierra de Guadalupe al norte del Distrito Federal, hasta la Sierra de Chichinautzin al sur de la ciudad, al poniente por la Sierra de las cruces y al oriente por la Sierra Nevada. Lo que la hace considerarla endorréica como se mencionaba anteriormente; los lagos se recargaban anteriormente de los ríos que bajaban principalmente de la Sierra de las Cruces y Sierra Chichinautzin, actualmente la mayoría se encuentran contaminados y entubados hacia un sistema de drenaje artificial que los dirige al norte de la ciudad, hacia la ciudad de Tula.

La principal fuente de recarga de los acuíferos en la Cuenca de Valle de México es la precipitación pluvial.

La cuenca del Valle de México contaba hasta diciembre 2008 con 4,003 pozos de aprovechamiento de extracciones subterráneas equivalentes a un volumen de 2,047 hm³.



Imagen 4.2.3: Subcuencas hidrográficas de la RHA XIII. Fuente: Secretaría de Medioambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT); “Estadísticas del agua de la Región Hidrológico – Administrativa XIII, Aguas del Valle de México”; México, 2009.

4.2.2.2 Acuíferos de la Cuenca del Valle de México

Se tienen identificados siete acuíferos en la subregión Valle de México y siete en la subregión Tula, cuya fuente de recarga es principalmente la precipitación pluvial.

De los siete de la subregión Valle de México los 4 más grandes se encuentran en una situación de sobreexplotación tal y como lo muestra la imagen anterior, en la tabla 4.2.1 se muestra con más claridad el desempeño de los acuíferos del Valle de México.

En la tabla 4.2.1 podemos ver que los acuíferos que mayor uso representan son el de la ZMVM, el de Chalco – Amecameca, Cuautitlan – Pachuca, y Texcoco, debido a que el volumen concesionado excede la recarga natural.

CLAVE	UNIDAD HIDROGEOLÓGICA	RECARGA	DESCARGA NATURAL COMPROMETIDA	VOLUMEN CONCESIONADO DE AGUA SUB.	DISPONIBILIDAD MEDIA DE AGUA SUB.
901	ZMVM	279.00	0.00	1,248.00	-969.58
11319	TECOCOMULCO	27.80	0.52	0.01	27.27
1320	APAN	99.30	0.00	7.85	91.45
1506	CHALCO - AMECAMECA	74.00	0.00	90.36	-16.36
1507	TEXCOCO	48.60	0.00	92.54	-43.94
1508	CUAUTITLAN - PACHUCA	202.90	0.00	243.39	-40.49
2902	SOLTEPEC	19.10	0.00	17.85	1.25
TOTAL		750.00	0.52	1,700.00	-950.40

Tabla 4.2.1: Situación Actual de los Acuíferos de la Subregión Valle de México (hm³/año). Fuente: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, CONAGUA); “Estadísticas de agua en México”, México D.F. 2010

Datos de CONAGUA mencionan que la RHA XIII tiene un volumen de recarga de 1,710.60 hm³/año, el cual representa la disponibilidad de agua subterránea. En el Valle de México, el volumen concesionado alcanza los 1,700 hm³/año, mientras que la recarga es de 750 hm³/año.

Tanto las características hidrológicas de la subregión del Valle de México, como su geología, contribuyen a que sus acuíferos sean los más grandes de la Región, con mayor capacidad de recarga y almacenamiento. Su importancia radica en que son la fuente principal de agua potable. Los acuíferos del Valle de México se sobreexplotan en un 126.72% según la Ley de Aguas Nacionales (LAN) (esto se explica con mayor claridad en el apartado 5.2.2.4 sobre extracción total bruta de agua potable) y para alcanzar el equilibrio hidrológico de la región se debería extraer máximo el equivalente a la recarga natural. En el acuífero de la ZMVM, las fugas de agua en las redes de agua potable y de drenaje contribuyen también, de manera importante a su recarga.

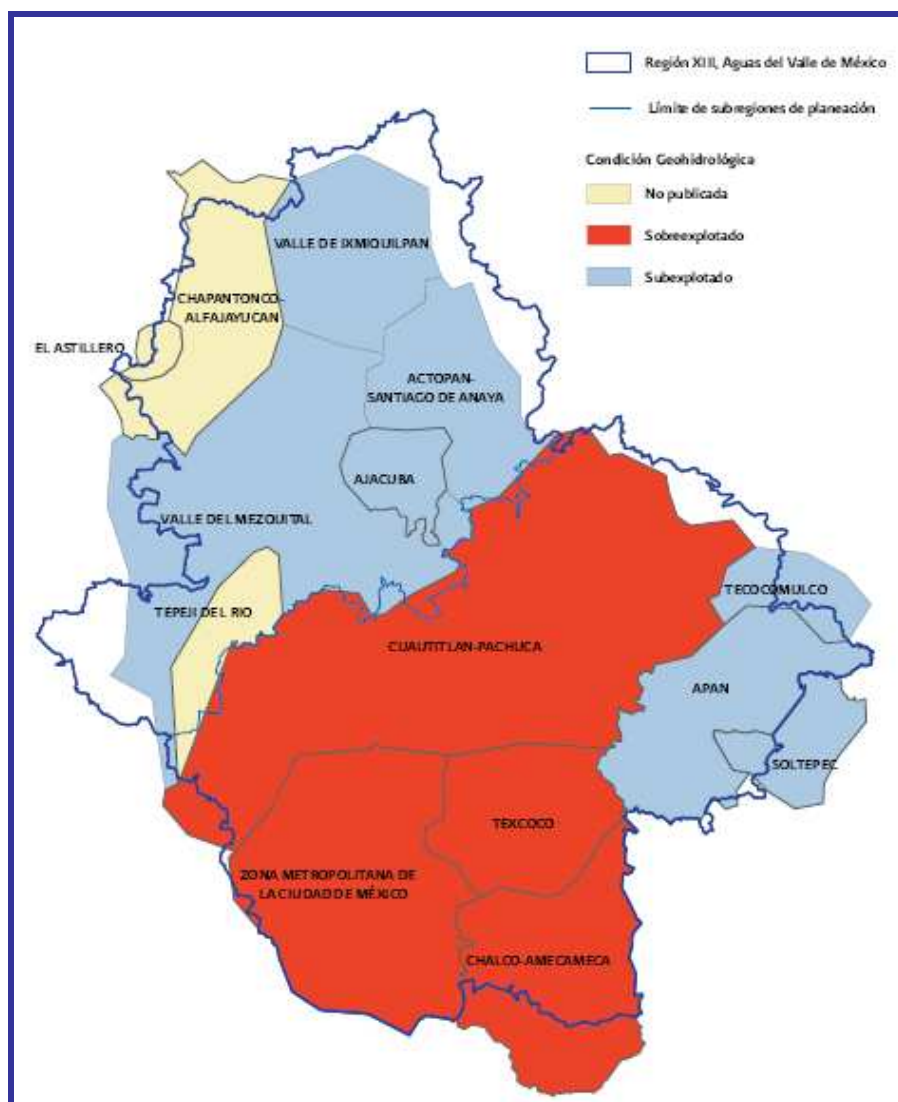


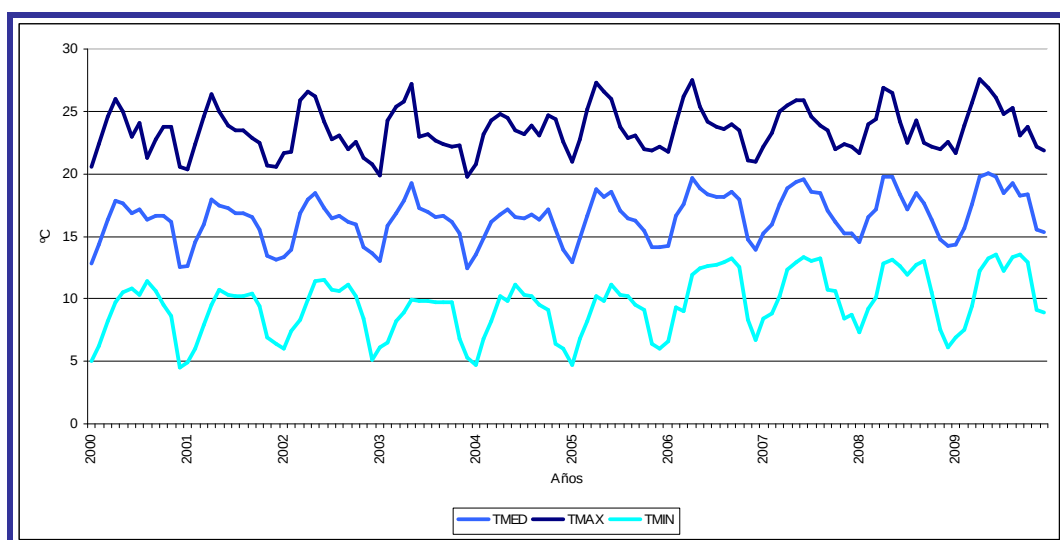
Imagen 4.2.4: Acuíferos sobreexplotados de la cuenca Valle de México. Fuente: Consejo de Cuenca del Valle de México “*Información Cuenca del Valle de México*”; México 2010.

4.2.2.3 Recursos Hídricos

4.2.2.3.1 Climatología

El clima de la Ciudad de México es en el 57% de su territorio templado subhúmedo con lluvias en verano, un 23% semifrío subhúmedo con lluvias en verano, en un 10% semifrío húmedo con abundantes lluvias en verano y otro 10% semiseco templado. (INEGI, 2010)

La gráfica 4.2.1 con período de 2000 – 2009 proporciona más datos al respecto, donde podemos ver una tendencia moderada con respecto al aumento de la temperatura, si nos fijamos en el año 2000 la temperatura máxima a inicio de mes de enero fue de 20,6°C y la mínima de 5°C, cuando para el año 2009 la temperatura máxima en enero de 21,7°C y una mínima de 6,9°C, lo que reporta un aumento de entre casi 2 grados de temperatura, esto para uno de los meses más fríos.



Gráfica 4.2.1: Temperaturas (°C) en la Ciudad de México. Fuente: Elaboración propia con base en datos de CONAGUA 2010.

En el caso de los meses más calurosos como el mes de abril que es en el que se muestran esas crestas año con año en la gráfica, la temperatura máxima en el 2000 fue de 26°C y la mínima de 9,7°C, y para el año 2009 la temperatura máxima es de 27,6°C y la mínima de 12,2°C con lo que da un aumento de 1 grado en la máxima y 2,5°C para la mínima.

Esto hace ver que la Ciudad de México sigue la tendencia que planteó el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático, aumentando la temperatura y por lo que se puede apreciar es un aumento de entre 2 y 2,5°C.

Humedad relativa

La humedad relativa, como parámetro meteorológico, sirve como indicador de la cantidad de vapor de agua que está presente en un lugar específico, para un tiempo determinado y para un cierto nivel de troposfera.

Éste parámetro depende directamente de la circulación del viento, es decir, de la estructura de los sistemas meteorológicos y de la interacción horizontal y vertical que guarden entre sí.

- *Humedad relativa media anual*

Los valores que se muestran en el siguiente mapa corresponden a la media de varias estaciones distribuidos en el Valle de México; donde se alcanza a apreciar una pequeña isla con un rango entre 42 y 44% de humedad relativa, la cual contiene a la estación del Cerro de la Estrella (CES), que a su vez, presenta un valor de 43,91%, también apreciamos unas zonas en forma de bandas, circundando el valle, hacia el suroeste de mismo. En ella se encuentran los valores más altos de HR que son entre 60 y 62%; En esta zona se encuentra la estación de Tlalpan (TPN) con valor de 62,12% y la estación de Pedregal (PED) con 53,80%, en tanto que hacia la parte norte, el valor máximo registrado en la estación Villa de Flores (VIF) fue de 57,36%.

Es importante notar que fuera de los valores altos de HR que limitan hacia el suroeste al Valle de México, el rango de valores entre 52 y 54% es un valor alto, más representativo para la zona que circunda el área metropolitana. Si se toman en cuenta los valores intermedios para ambos intervalos, la variación más representativa de HR sería entre el 47% para el bajo y 53% para el alto, esto concuerda con la zona de amplia extensión que se muestra en la gráfica y que corresponde al rango de 48 a 50%. (SEMARNAT, 2001)

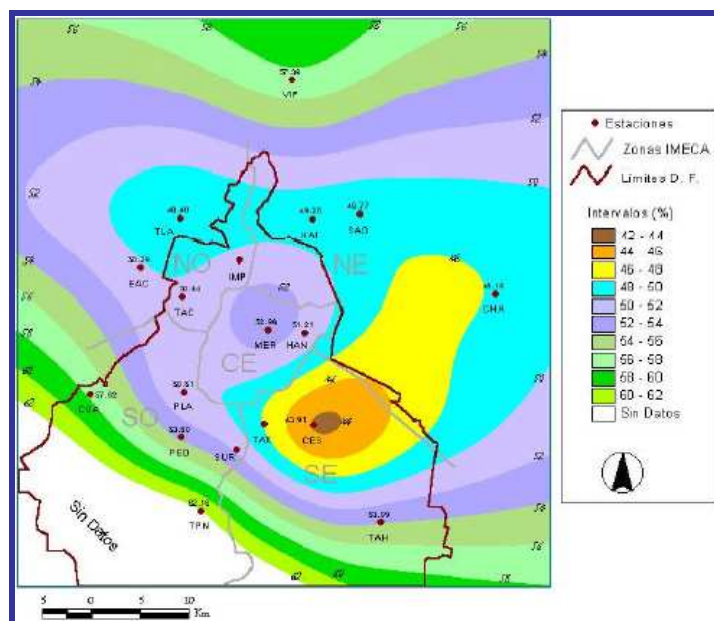
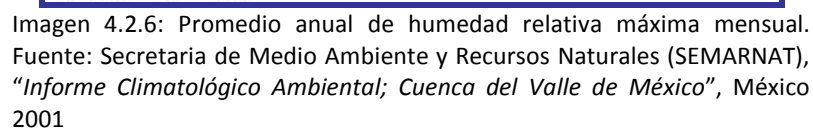


Imagen 4.2.5: Humedad Relativa Media Anual. Fuente: Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) "Informe Climatológico Ambiental; Cuenca del Valle de México", México 2001

- Promedio anual de humedad relativa máxima mensual

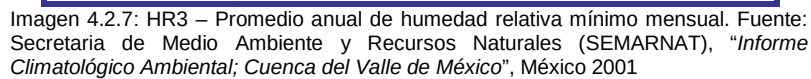
En el mapa siguiente se puede observar como en similitud con el mapa de HR media anual los valores más altos se localizan en los límites Suroeste, Sur y Sureste del Valle, donde podemos encontrar zonas con valores de HR con un rango de 92 a 94% y de 94 a 96%. En ellas se encuentran ubicadas las estaciones Tlalpan (TPN), que muestra un valor de 93% y Pedregal (PED) con un valor de 80,17%.

Respecto a los valores más bajos, en este mapa los encontramos distribuidos en dos zonas: la primera cargada hacia el Oeste del Valle y que corre casi de Sur a Norte entre las estaciones Pedregal (PED) y Tlalnepantla (TLA). La segunda, casi perpendicular a la primera, se extiende desde el Occidente de la estación Tlalnepantla (TLA), hacia el Oriente de ésta, abarcando las estaciones de Xalostoc (XAL), San Agustín (SAG) y continuando hasta el Norte de la estación Chapingo (CHA). Contenidas en estas zonas de valores más bajos, se encuentran dos pequeñas células a las cuales corresponden los valores más bajos de HR, el rango de 80 a 82%. Una de estas células, circunda a la estación Pedregal (PED), estación que ostenta el valor de 80.17%, la otra célula, circunda las estaciones Centro de estudios ENEP Acatlán (EAC) que tiene un valor de 81.08% y Tlalnepantla (TLA) que tiene un valor de 81.50% (SEMARNAT, 2001).



- *Promedio Anual de Humedad Relativa mínima mensual*

77



Las zonas de valores menores de HR en este mapa, se localizan en los extremos Noroeste y Noreste del Valle. La zona que aparece en blanco no se toma en cuenta puesto que no se tienen datos. (SEMARNAT, 2001).

De acuerdo al estudio “Mexico city wind circulation during the MCAM 2003 field campaign” realizado por diversos científicos determinaron que el estudio de la calidad del viento no podía darse como una única solución a la dirección en la que influye el viento a la Zona Metropolitana del Valle de México sino que se requerirían tres escenarios: O3-SOUTH, COLD SURGE, O3-NORTH. Mencionan que estos son los parámetros que se siguen para poder analizar la cuenca de la Ciudad de México ya que se tienen tres temporadas: la primera temporada de noviembre a febrero la que es de clima frío – seco (COLD SURGE), la temporada de calor – húmedo que se da de marzo a abril (O3-SOUTH) y la tercera es la temporada de lluvias de mayo a octubre (O3-NORTH).

78

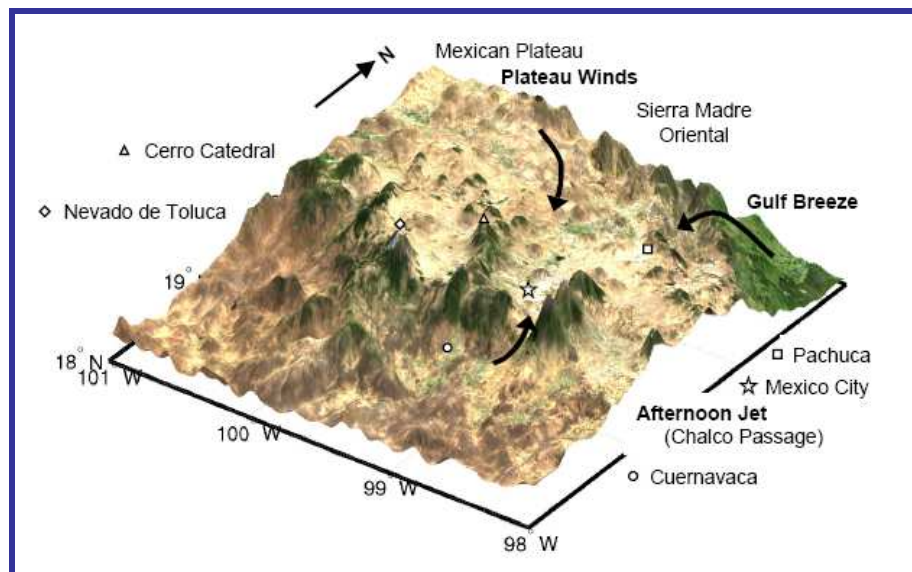


Imagen 4.2.8: Vientos Dominantes en el Valle de México. Fuente: "Mexico city wind circulation during the MCAM 2003 field campaign", Mexico City 2005

En la siguiente imagen del mismo estudio podremos ver la rosa de vientos y la gráfica de la velocidad y su dirección durante un día en cada uno de los tres periodos descritos anteriormente. En la imagen de la derecha se observa que la velocidad máxima de viento es de 5 m/s llegando del sur, los vientos que las gráficas muestran se dan a partir de las 16hrs aproximadamente.

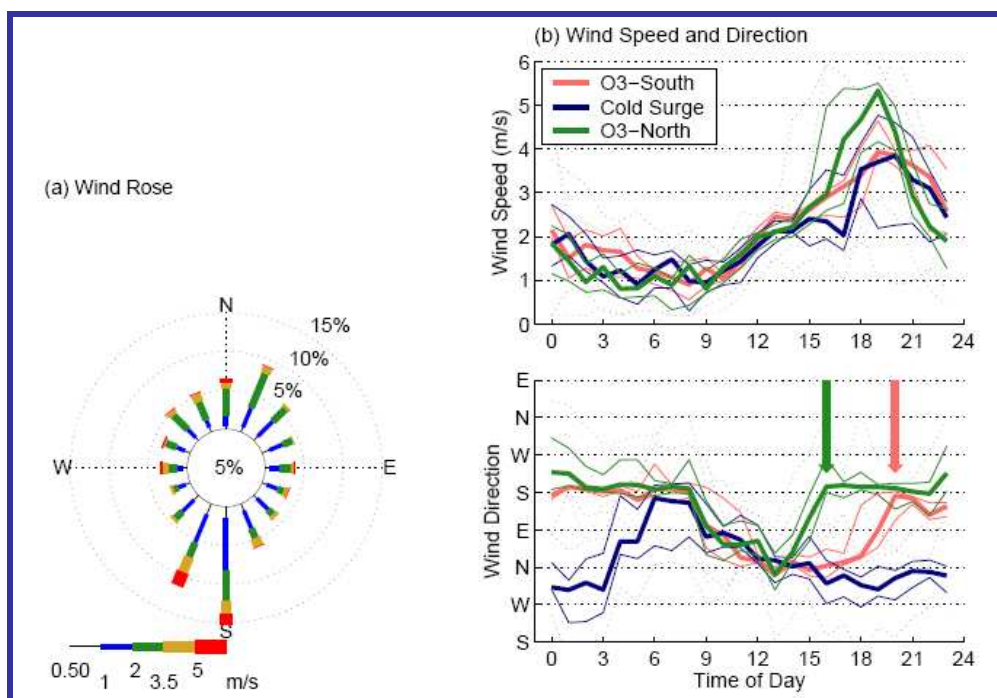


Imagen 4.2.9: Rosa de vientos y gráfica de velocidad de viento en m/s y su dirección. Fuente: "Mexico city wind circulation during the MCAM 2003 field campaign, Mexico City 2005"

En la siguiente imagen se muestra la rosa de vientos ahora dentro de las tres temporadas en el año que se mencionaron anteriormente, donde para la O3-SOUTH se puede observar que los vientos dominantes

vienen del sur y se mantienen casi las veinticuatro horas de los días dentro de esa temporada; para la temporada de COLD SURGE se puede observar una tendencia distinta en la que el viento proviene del norte – noroeste y un poco desde el noreste y que al igual duran casi veinticuatro horas de los días de la temporada; en la tercera temporada O3-NORTH se observa poca fuerza de vientos, exceptuando hacia el sur y suroeste donde se observan corrientes alisas que duran las veinticuatro horas.

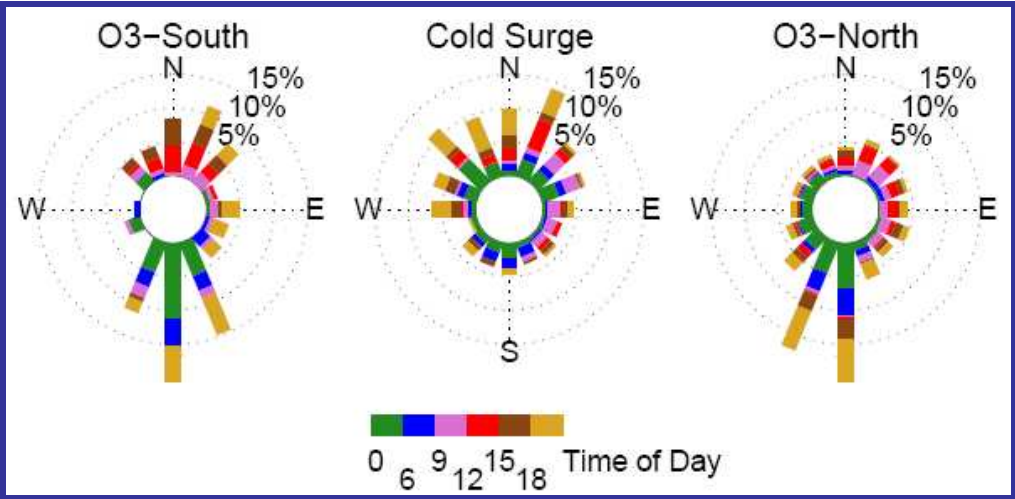


Imagen 4.2.10: Rosa de vientos por medición estacionaria. Fuente: “Mexico city wind circulation during the MCAM 2003 field campaign”, Mexico City 2005

4.2.2.3.2 Pluviometría

La precipitación media anual en la Ciudad de México es de 765 mm (serie 2001 - 2008), que suponen un volumen de agua en todo el territorio de 12,402.06 hm³; de este volumen total, cerca del 76% se pierde en evapotranspiración y evaporación directa de las masas de agua.

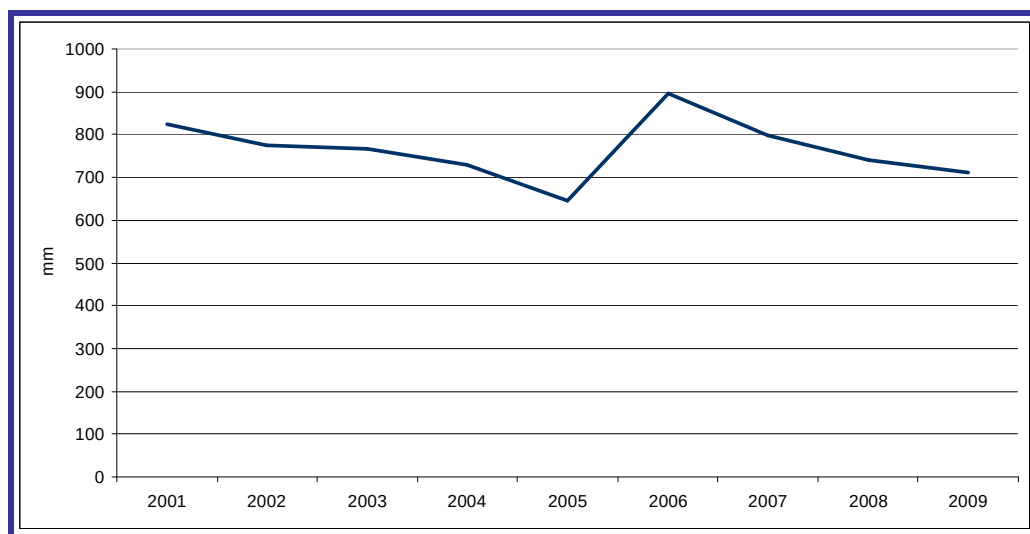
En la tabla siguiente expresada en milímetros se puede observar mes a mes la precipitación pluvial de la Ciudad de México donde los meses con mayores precipitaciones todos los años son junio, julio, agosto y septiembre.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
2001	2.3	8.5	8.5	55.9	58	148.8	162.1	162.1	163	43.7	7.3	3.5
2002	8.5	2.8	15.3	32.7	29.7	88.1	190.6	102.6	191	88.4	23.4	0.7
2003	0.3	1.5	14	16.8	17	194.7	146.4	146.2	163.5	56.2	11.3	0.1
2004	25.5	0.1	23	19	48.2	142.3	115.7	144.1	150.7	53.1	6.1	0.9
2005	5.9	4.5	3.9	21.9	23.1	90.5	158.8	175.4	64.1	90	6.2	1
2006	2.2	1.2	11.8	27.6	76.7	106.6	168.6	216.7	163.6	77.4	38.7	4.3
2007	6	22	20.4	21.4	60.9	104.5	173.8	168.5	172.8	38	7.2	1.6
2008	0.1	2.9	3.1	39.4	42.6	152.8	164	184.7	113.6	37.7	0	0
2009	13.2	6.8	8.6	5.9	41.7	86.3	103.6	143	227.8	72.1	0.7	3.4

Tabla 4.2.2: Tabla de precipitación pluvial mensual por año (mm). Fuente: Elaboración propia en base a datos de CONAGUA, 2010.

Los meses de sequía son claramente los meses de noviembre diciembre y enero, ya que la precipitación es casi nula. El año que menos precipitaciones hubo fue el 2004 en el que se puede apreciar que en los meses de sequía hubo precipitaciones inferiores a 1 mm y donde la mas alta fue de 150,7 mm en el mes de septiembre, mientras el año que mayor precipitación acumulada tuvo fue el año 2006 que tuvo 895,3

mm en el año, en los meses de lluvia antes mencionados se acumularon 655,5 mm lo que significa que en esos meses cayo el 73% del total de la lluvia anual.



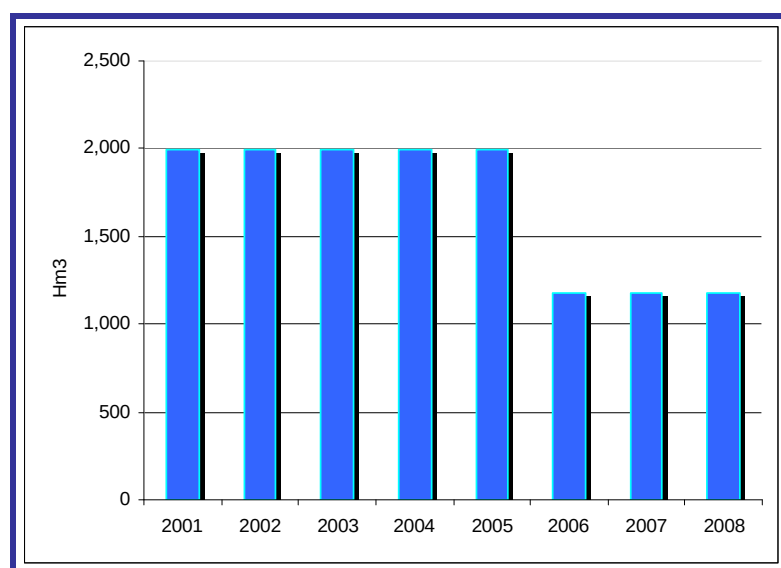
Gráfica 4.2.2: Precipitación pluvial de la Ciudad de México (mm). Fuente: Elaboración propia con base en datos de CONAGUA 2010.

En la gráfica anterior expresada en milímetros se observa el comportamiento anual de la precipitación en la ciudad de México donde se ve claramente que el año 2005 fue un año especialmente seco y al contrario el año 2006 tuvo mucha precipitación casi 900 mm.

Escurrecimiento natural medio

Como se puede observar en la gráfica siguiente sobre escurrecimiento natural medio de la región hídrico administrativa XIII, no se percibe muy confiable a primera vista ya que durante cinco años tiene la misma cantidad de escurrecimiento y a partir del año 2006 disminuye considerablemente casi a la mitad y se mantiene hasta el año 2008, aún así éstos datos tomados de documentos de la CONAGUA coinciden con datos del INEGI.

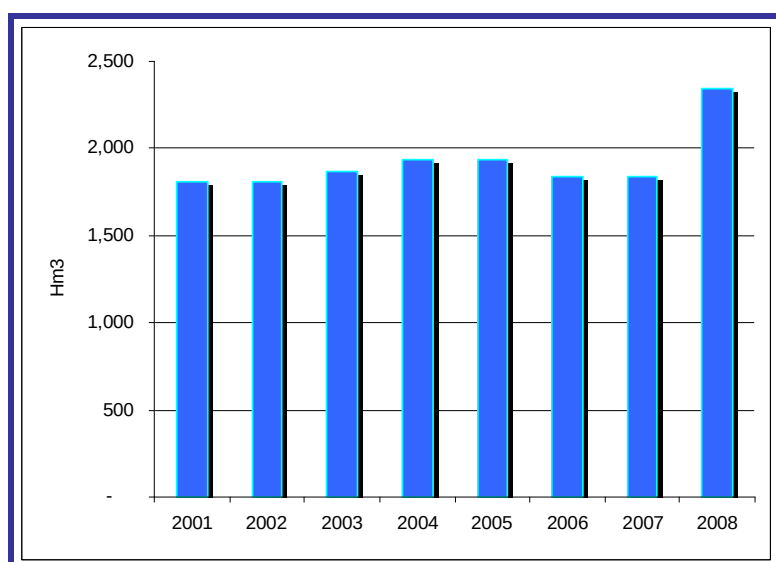
Entre los años 2001 y 2005 se tuvo un escurrecimiento de 1,996 hm³, y entre el año 2006 y 2008 de 1,174 hm³. Estos escurrecimientos se dividen en 746.31 hm³ para la cuenca del Valle de México y 428.12 hm³ para la cuenca de Tula.



Gráfica 4.2.3: Escorrentimiento natural medio. Fuente: Para 2001: SEMARNAT. CONAGUA. “Compendio Básico del Agua en México”, 2001. México, D.F. Para 2002-2008: SEMARNAT. CONAGUA. “Estadísticas del Agua en México” (varios años). México, D.F.

4.2.2.3.3 Recarga media total

En la gráfica siguiente sobre la recarga media total en la Ciudad de México se puede observar una aparente estabilidad, para el año 2001 fue de 1,809 hm^3 y de 1,807 hm^3 para el 2002, para el año 2003 se tiene una recarga de 1,873 hm^3 , en el año 2004 aumenta a 1,938 hm^3 que se mantiene para el año 2005, y para los años 2006 y 2007 se presenta una recarga de 1,835 y 1,834 hm^3 respectivamente, sólo para el año 2008 se ve un aumento bastante considerable de 2,340 hm^3 . La media de recarga del acuífero de la RHA XIII hasta el año 2008 es de 1,679.5 hm^3 . Lo respectivo a la subcuenca del Valle de México es de 738.98 hm^3 . Estos datos fueron tomados de tablas realizadas por la CONAGUA.



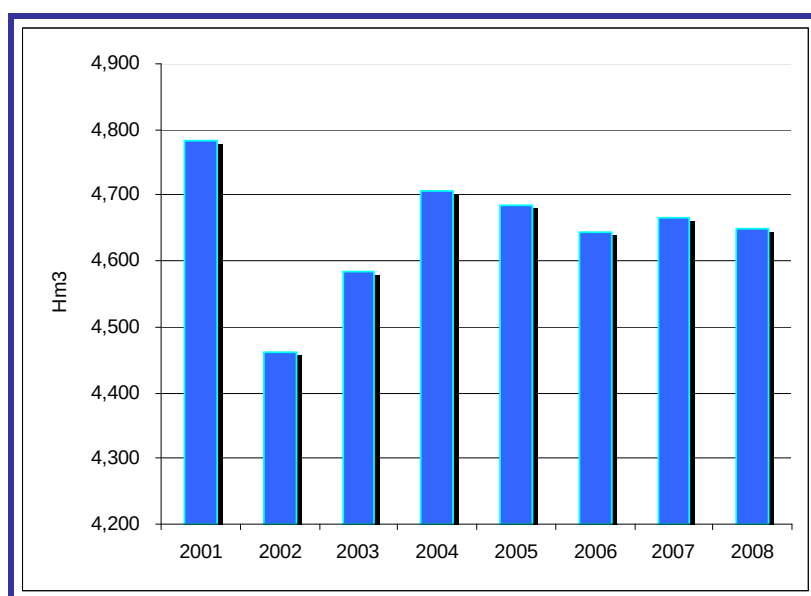
Gráfica 4.2.4: Recarga media total. Fuente: Para 2001: SEMARNAT. CONAGUA. Compendio Básico del Agua en México, 2001. México, D.F. Para 2002-2008: SEMARNAT. CONAGUA. Estadísticas del Agua en México (varios años). México, D.F.

4.2.2.4 Extracción total bruta de agua potable

En la siguiente gráfica se puede observar la extracción que se ha requerido para atender la demanda de agua que ha tenido la Ciudad de México y su Zona Metropolitana de acuerdo a datos obtenidos del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI,2008).

De acuerdo a la gráfica podemos apreciar que las extracciones tienen una tendencia de variabilidad media a partir del año 2004 entre los 4,600 hm³ y 4,700 hm³, el año en el que menor cantidad de agua se extrajo fue en el 2002 con tan sólo 4,461 hm³ de agua, la media de extracciones es de 4,647.19 hm³ en el Valle de México; el año 2001 fue el que mayor extracción del recurso presentó con un total de 4,784 hm³.

Las extracciones dependen de lo que las fuentes subterráneas y superficiales puedan proporcionar a la ciudad y en el caso de la Ciudad de México la variabilidad depende de la época de lluvias que veíamos anteriormente que se da entre los meses de junio y septiembre.



Gráfica 4.2.5: Extracción total bruta de agua potable. Fuente: Para 2001: SEMARNAT. CONAGUA. *Compendio Básico del Agua en México*, 2001. México, D.F. Para 2002-2008: SEMARNAT. CONAGUA. *Estadísticas del Agua en México* (varios años). México, D.F.

4.2.2.5 Sistemas de importación de agua potable

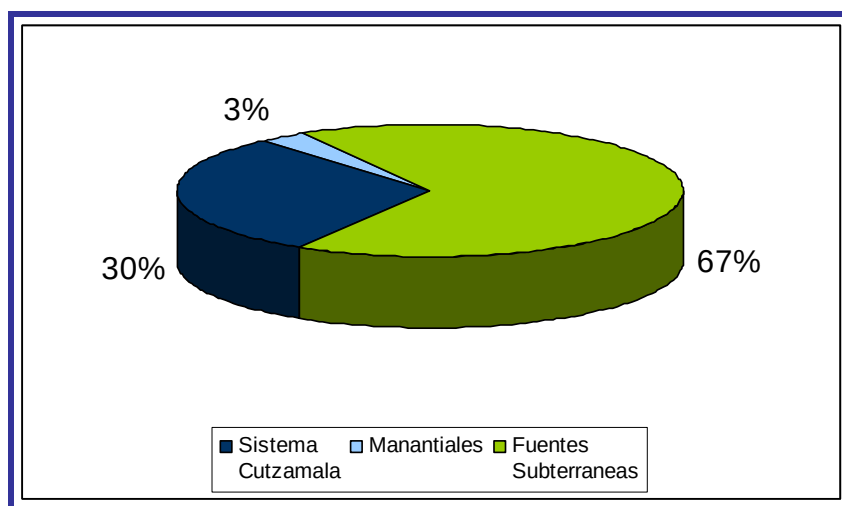
Existen 106 almacenamientos, entre lagos y embalses con una capacidad de 646.7 millones de m³. Las presas se utilizan principalmente para riego; en menor escala para control de avenidas; en mínima proporción para el abastecimiento de agua potable y aún menor para la generación de energía eléctrica.

Para atender la demanda de agua potable de los habitantes de la Ciudad de México, se suministra un caudal promedio de 32 m³/s de los 60 m³/s aproximadamente que se extraen del Acuífero del Valle de México de acuerdo al director general de la CONAGUA.

El 67% del caudal suministrado se obtiene de fuentes subterráneas: 55% del acuífero del valle de México y 12% del valle del Lerma, el cual se ubica en el Estado de México a 70 km de la gran ciudad. En tanto que el caudal restante se obtiene de fuentes superficiales, 3% de manantiales ubicados en la zona sur-

poniente de la ciudad y 30% del Sistema Cutzamala, el cual se encuentra en los estados de México y Michoacán.

Más específicamente las fuentes de abastecimiento se dividen en dos; fuentes externas al Distrito Federal y fuentes dentro de Distrito Federal de acuerdo a la pagina electrónica de Transparencia del Distrito Federal.



Gráfica 4.2.6: Suministro de agua potable en la Ciudad de México por fuente. Fuente: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI); "Porcentaje de agua potable en el D.F. por Fuentes", México D.F., Septiembre 2009

Las fuentes externas al Distrito Federal que son operadas por la Región Administrativa XIII del Valle de México son el Sistema Cutzamala que aporta un promedio de $9.575 \text{ m}^3/\text{s}$, Sistema Barrientos y Risco que aporta $2.239 \text{ m}^3/\text{s}$ y el Sistema de Aguas del Sur que aporta tan sólo $0.382 \text{ m}^3/\text{s}$. Y las fuentes operadas por el Sistema de Aguas de la Ciudad de México, son el Sistema Lerma con una aportación $3.832 \text{ m}^3/\text{s}$ y el Sistema Chiconautla con una aportación de $1.402 \text{ m}^3/\text{s}$. (Transparencia, 2010)

Por otra parte las fuentes ubicadas dentro del Distrito Federal, todas operadas por el Sistema de Aguas de la Ciudad de México y son los Pozos a Red Norte con un aporte de $1.037 \text{ m}^3/\text{s}$, Pozos a Red Centro con aporte de $2.037 \text{ m}^3/\text{s}$, Pozos a Red Sur con aporte de $7.853 \text{ m}^3/\text{s}$, Pozos a Red Oriente con aporte de $2.773 \text{ m}^3/\text{s}$, Pozos a Red Poniente $0.213 \text{ m}^3/\text{s}$, Río Magdalena con $0.203 \text{ m}^3/\text{s}$ y Manantiales que aportan $0.792 \text{ m}^3/\text{s}$. (Transparencia, 2010)

4.2.2.5.1 Sistema Lerma - Cutzamala

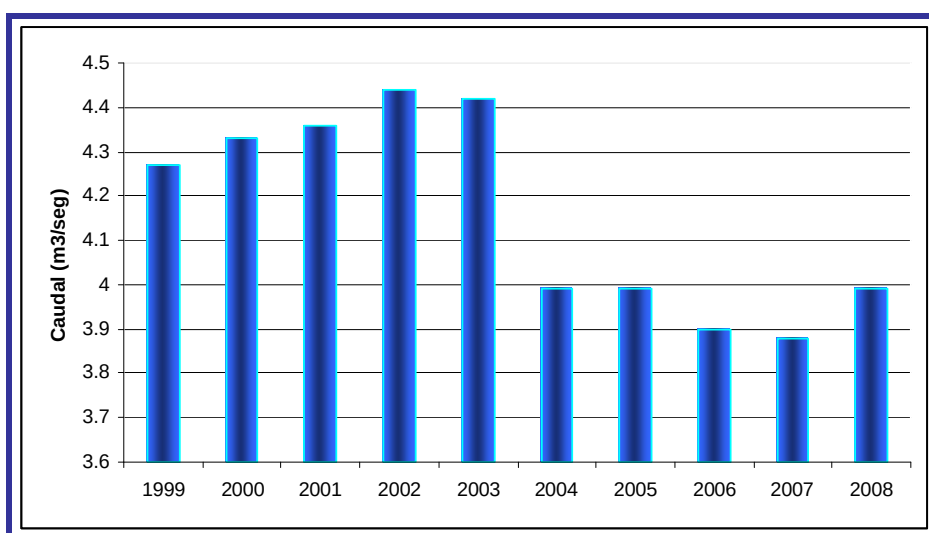
En 1942 se comenzaron las obras del primer trasvase en México que transportaría agua desde la cuenca Lerma hacia la cuenca del Valle de México, en su primera etapa consistió en captar las aguas superficiales de Almoloya del Río, Texcaltenango y Alta Empresa, en el Estado de México; a su vez también se efectuaron las primeras captaciones de aguas subterráneas al perforarse 5 pozos de entre 50 y 300 m de profundidad.

En 1951 entraron por primera vez a la Ciudad de México las aguas del Lerma esto fue posible a través de un tubo de 62 km de largo y 2,5 m de diámetro. El acueducto atravesó la Sierra de las Cruces por un túnel de 14 km llamado Atarasquillo Dos Ríos. Se construyó un sistema de distribución y almacenamiento

en la segunda sección del Bosque de Chapultepec. Ahí, un depósito (decorado con un mural de Diego Rivera) canaliza el agua hacia 4 depósitos de 100 m de diámetro y 10 de profundidad, para ser distribuida por gravedad hacia la urbe ésta etapa aporta 4 m³/s.

Su segunda etapa se debió a una crisis hídrica en los años sesenta la cuál demandó mayores extracciones, ésta etapa se llevó a cabo entre los años 1965 y 1975 con la construcción de 230 pozos; el área de extracción se extendió hacia la región de Ixtlahuaca y Jojotitlan elevando el suministro a la ciudad a 14 m³/s.

El sistema tuvo una caída en el caudal de 2003 a 2004 debido al agotamiento del acuífero. Actualmente el Sistema Lerma solamente suministra 3.83 m³/s debido al deterioro de la región de donde se obtiene el agua, ya que uno de los impactos ambientales y sociales que se han producido es que las tierras agrícolas de las que se alimenta gran parte de la población se han ido secando por la sobreexplotación de los pozos, con lo que empobrece aún más a la sociedad de la región y produce que los campesinos creen sus propios pozos clandestinos para poder subsistir.



Gráfica 4.2.7: Caudal suministrado por el Sistema Lerma al D.F. Fuente: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, CONAGUA); *"Estadísticas de agua en México"*, México D.F. 2010

El Sistema Cutzamala, aprovecha las aguas de la cuenca alta del río Cutzamala, provenientes de las presas Tuxpan y El Bosque, en el estado de Michoacán. En el año 1982 se inaugura la primera etapa del Sistema Cutzamala aporta 4 m³/s desde la presa Villa Victoria. La segunda etapa comenzó a operar en 1985 y consistió en integrar la presa de Valle de Bravo con una aportación de 6 m³/s. La tercera etapa se inaugura hasta 1993, incluyendo los subsistemas de El Chilesdo, Colorines, que aportaron otros 9 m³/s con lo que da una capacidad instalada de 19 m³/s. Está compuesto por 7 presas, 6 macroplantas de bombeo que en conjunto vencen un desnivel de 1100 metros, 72,5 km de canales abiertos, 43,9 km de túneles, 218 km de acueductos, una planta potabilizadora llamada Los Berros. (CONAGUA, 2009).

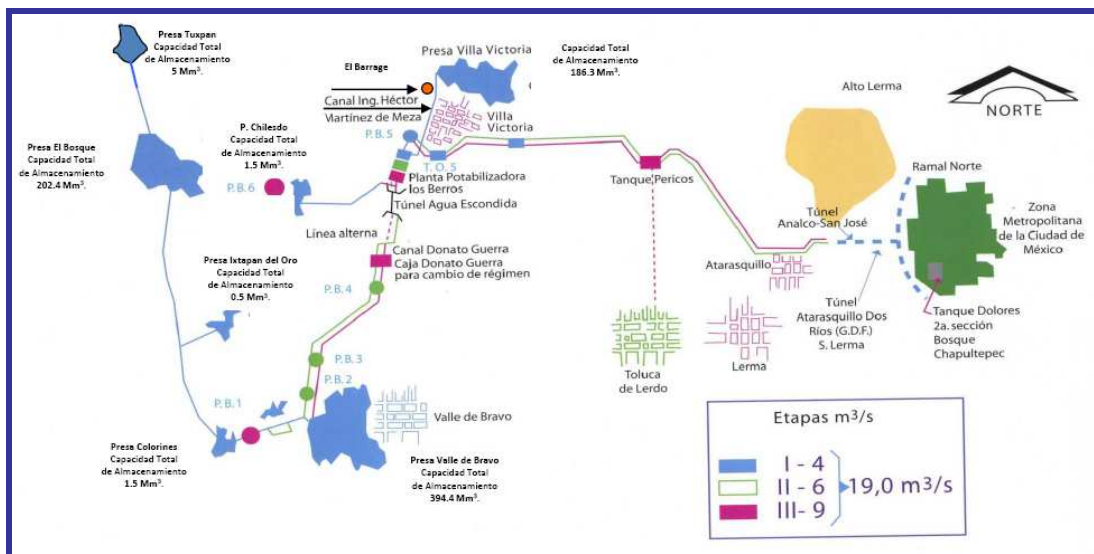


Imagen 4.2.11: Estructura del Sistema Cutzamala y etapas. Fuente: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, CONAGUA); “Sistema Cutzamala”, México D.F. Septiembre 2009

Para distribuir los caudales del Sistema Cutzamala, se concibió un sistema a la salida del túnel Analco-San José, a través de una estructura de bifurcación de donde inician dos conducciones, una que abastece al Estado de México y que se denomina Ramal Norte-Macrocircuito y la segunda para el Distrito Federal, conocida como el Ramal Sur-Acuaférico de Distribución.

El Sistema Cutzamala provee al Valle de México de alrededor de la cuarta parte del caudal que se consume en la región, el resto proviene de 14 acuíferos localizados en el propio Valle, los cuales se encuentran sobreexplotados, de acuerdo a la CONAGUA mide alrededor de 127 km de largo bombea el agua 1110 msnm.

En la tabla siguiente se muestran las etapas que tiene que recorrer el agua para llegar a ser repartida en la Ciudad de México y ZMVM donde se describe la altura sobre el nivel del mar a la que se encuentra cada etapa y la capacidad de almacenamiento de las distintas etapas en las que se almacena el agua.

Presas	Metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m)	Capacidad Total de Almacenamiento (hm3)
Presa Tuxpan	1,751	5
Presa El Bosque	1,741	202
Presa Ixtapan del Oro	1,650	0.5
Planta Bombeo 1	1,600	20 m3/seg
Presa Colorines	1,628	1.5
Presa Valle de Bravo	1,721	395
P.B. 2	1,768	186
P.B. 3	1,832	24 m3/seg
P.B. 4	2,177	24 m3/seg
Vaso Donato Guerra	2,554	-
Presa Chilesdo	2,395	1.5
P.B. 6	2,323	5 m3/seg
Planta Potabilizadora Los Berros	2,540	20 m3/seg
P.B. 5	2,497	29.1 m3/seg
Presa Villa Victoria	2,544	186
Torre de Oscilación 5	2,701	-
Tanque Santa Isabel	2,680	-
Tanque Pericos	2,632	-

Tabla 4.2.3: Elementos que componen el Sistema Cutzamala. Fuente: Elaboración Propia en base a datos de SEMARNAT 2009

El Sistema Cutzamala implicó la transformación de infraestructura hidroeléctrica ya existente en la zona desde 1951 –las presas Villa Victoria, Valle de Bravo, Tilostóc, Colorines e Ixtapantongo las cuales se encuentran en el Estado de México, así como las presas Tuxpan y El Bosque ubicadas en Michoacán-, en un sistema unido por una red de acueductos, túneles y canales con tres presas de almacenamiento (El Bosque, Villa Victoria y Valle de Bravo) y cuatro de derivación.

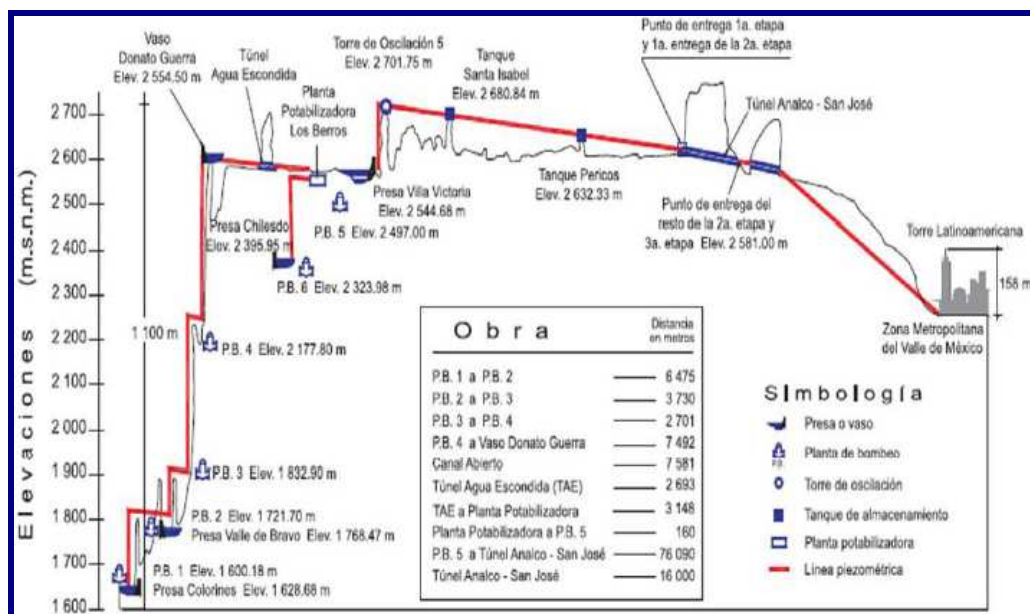
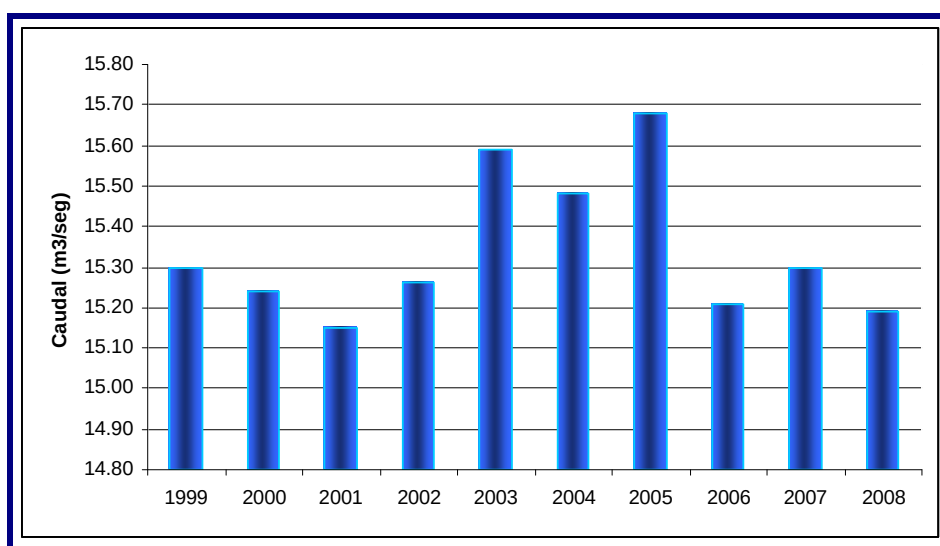


Imagen 4.2.12: Perfil de bombeo y conducción del Sistema Cutzamala. Fuente: Secretaría de Medioambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, CONAGUA); “Sistema Cutzamala”, México D.F. Septiembre 2009.

Los municipios que se benefician de éste sistema son los siguientes:

En el Estado de México se suministra al municipio de Atizapán, al cual se le distribuyen 857 litros/seg, el municipio de Coacalco al que se le distribuyen 67 litros/seg, Cuautitlán Izcalli con 354, Ecatepec con 915, Huixquilucan con 620, Lerma con 28, Naucalpan con 1056, Nezahualcoyotl con 113, Nicolas Romero con 43, Ocoyoacac con 1 litro/seg, Tlalnepantla con 461, Tutitlán con 470, y finalmente Toluca con 713 litros/seg dando un total de 5,698 litros/seg; lo restante va al Distrito Federal.

En la gráfica siguiente se muestra el caudal total anual que proporciona el Sistema Cutzamala para el año 2001 dio el menor caudal de los años tan sólo proporcionando 15.15 m³/s, el mayor suministro se presenta en el año 2005 en el que el caudal fue de 15.68 m³/s, para el año 2008 el caudal total fue de 15.19 m³/s, el promedio del caudal es de 15.34 m³/s.

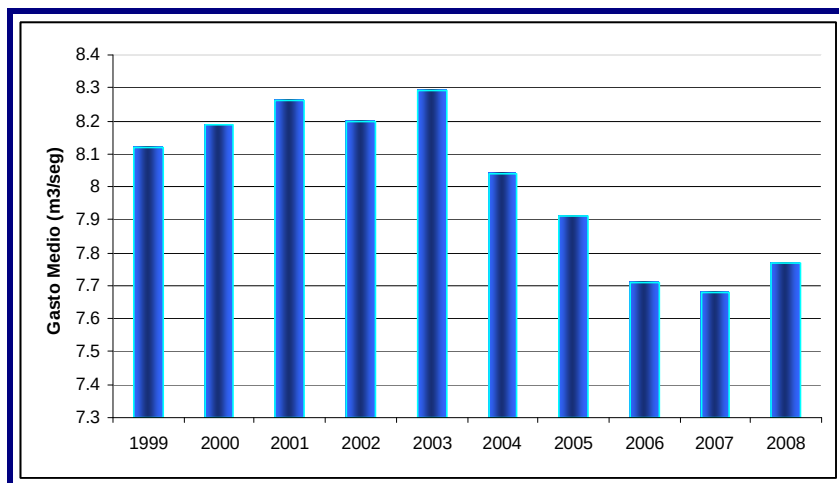


Gráfica 4.2.8: Caudal total de agua suministrado por Sistema Cutzamala. Fuente: Secretaría de Medioambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, CONAGUA); "Estadísticas de agua en México", México D.F. 2010

El volumen de agua suministrado por el Sistema Cutzamala dividido por Estados se muestra en la tabla siguiente, donde se puede ver claramente que de total del volumen se distribuye 62.6% hacia el Distrito Federal aproximadamente y 37,4% para el Estado de México, llegando para el año 2008 del caudal total de 15.19 m³/s, 9.52 m³/s al Distrito Federal y 5.61 m³/s al Estado de México, esto se estipuló desde un inicio ya que el Estado de México no contaba con la infraestructura necesaria para transportar un caudal equitativo con la Ciudad de México.

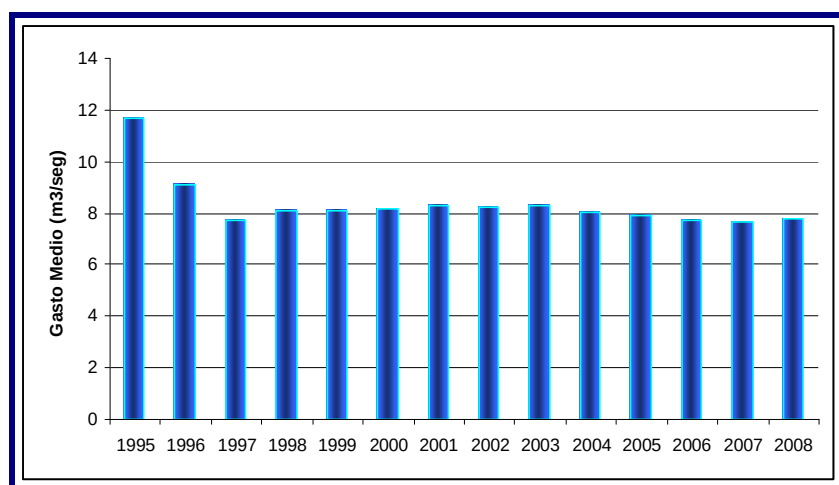
Actualmente el Sistema PAI entrega agua a 26 delegaciones y municipios del Distrito Federal, Estado de Hidalgo y Estado de México.

En la siguiente gráfica se puede apreciar el gasto suministrado por la PAI durante el año 2008; se puede observar como del año 1999 al 2003, muy similar al Sistema Lerma tiene un buen suministro de agua pero a partir del año 2003 en el que se da el más alto suministro que es de 8.29 m³/s, en los años siguientes la tendencia que ha seguido es de disminución del suministro hasta llegar al punto más bajo en el año 2007 con un suministro de 7.68 m³/s y recuperando un poco para el año 2008 con un suministro de 7.77 m³/s.



Gráfica 4.2.9: Gasto suministrado mensualmente por la PAI 2008. Fuente: Secretaría de Medioambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, CONAGUA); *“Estadísticas de agua en México”*, México D.F. 2010

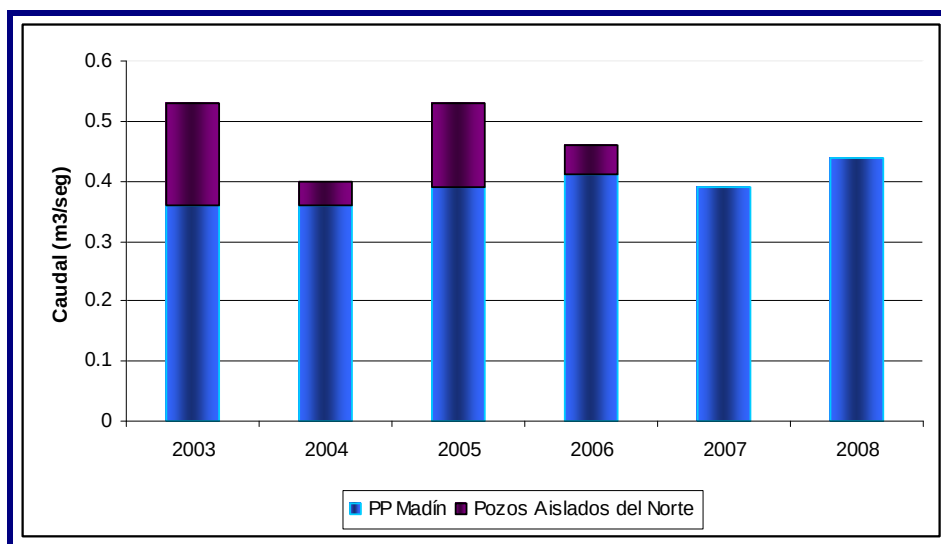
En la gráfica siguiente se puede observar el caudal de agua suministrado por la PAI, podemos ver como en el año 1995 que fue en el año que mayor suministro proporcionó tuvo un caudal de 11,7 m³/s, la disminución tan drástica se dio debido a que se transfirieron 84 pozos al Distrito Federal y 70 pozos al Estado de México y en el año 1997 se transfirieron 18 pozos al Estado de Hidalgo, después se estabilizó alrededor de los 8,0 m³/s hasta el año 2008.(CONAGUA, 2010).



Gráfica 4.2.10: Caudal de agua suministrado por la PAI. Fuente: Consejo de Cuenca del Valle de México *“Información Cuenca del Valle de México”*; México 2010.

Casi todo el caudal proporcionado por el Sistema PAI proviene de fuentes subterráneas, tan sólo el 5% proviene de la Planta Potabilizadora Madín y los Pozos Aislados del Norte que proporcionan en conjunto un gasto promedio de 50 m³/s.

La gráfica siguiente muestra el caudal que proporciona la Planta Potabilizadora Madín y los Pozos Aislados del Norte, se puede apreciar que la tendencia del PP Madín es constante, y los PAN no representan una gran aportación tal y como lo mencionaba anteriormente.



Gráfica 4.2.11: Evolución del gasto suministrado por Planta Madín y Pozos Aislados Norte. Fuente: Consejo de Cuenca del Valle de México “*Información Cuenca del Valle de México*”; México 2010.

4.2.2.6 Transporte del agua a través de la Ciudad de México y ZMVM

4.2.2.6.1 Macrocircuito de Distribución de Agua Potable

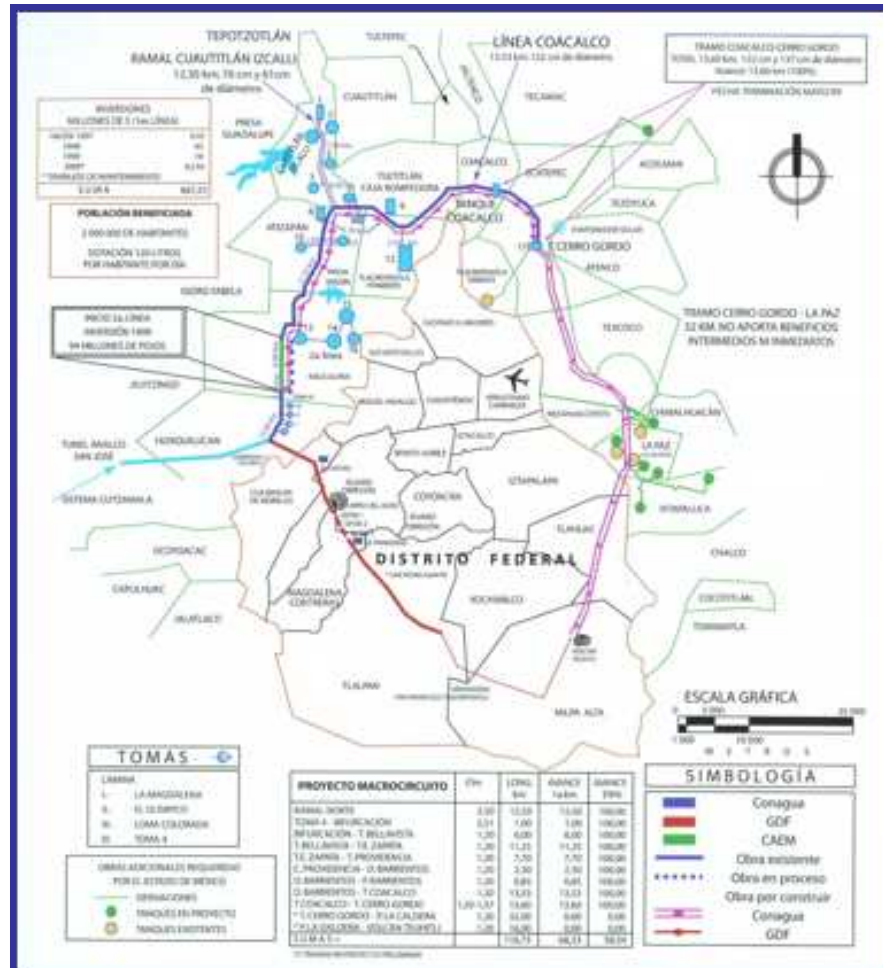


Imagen 4.2.13: Red de transporte de agua potable importada. Fuente: Consejo de Cuenca del Valle de México; “Marco Histórico”, México 2010

Este consiste en 186 km con alrededor de 30 tanques de almacenamiento, inicia en Huixquilucan y concluye en el Valle de Chalco, al mes de Junio de éste año 2010, alrededor de la ZMVM, se han construido 71 km de 78 entendido como una etapa; Ahora el suministro que proporciona éste sistema es de alrededor de $1,100 \text{ m}^3/\text{s}$ cuando llega al Tanque Xico; el Macrocircuito está construido en el Estado de México, con un caudal de diseño de $3,5 \text{ m}^3/\text{s}$.

La primera etapa en operación del Macrocircuito comienza en el año 1994, distribuyendo los caudales del Sistema Cutzamala a los municipios del Estado de México de la ZMVM. La segunda y tercer etapa comenzaron a operar en el año de

1995 y 1996 respectivamente. En cuanto a los tramos que abarca cada etapa no se pudo hallar información, pasa por los municipios de Naucalpan, Atizapán, Coacalco y Ecatepec.

En el mapa anterior que describe el Macrocircuito de Distribución de Agua Potable se puede ver que el recorrido de abastecimiento de agua potable comienza en el Tanque Huixquilucan después se dirige al Tanque Bellavista, después se dirige hacia el Tanque Lomas Verdes Alto, de ahí al Tanque San Javier, después al Tanque Emiliano Zapata, llega al Tanque Providencia, después al Tanque Barrientos que es el sistema que se comentaba con anterioridad de distribución de agua potable para la Ciudad de México, después va al Tanque Coacalco, desde éste tanque y desde el Tanque Chiconautla baja el suministro hacia el Tanque Cerro Gordo.

Hasta éste punto se pueden observar tramos de infraestructura federal que se encuentra operando actualmente con tono anaranjado, igualmente se observa en tono rojo la infraestructura del Gobierno del Estado de México y en tono verde las obras que está llevando a cabo el Gobierno del Estado de México, pero del tramo del Tanque Cerro Gordo hasta el Tanque Xico se observa la línea de obras del Gobierno del Estado de México, el cuál han entregado éste año 2010, a su vez se observa infraestructura federal en operación éste tramo pasa por el Tanque Las Palomas donde hay otros tanques en proceso de construcción, hacia el Tanque La Caldera y por último al Tanque Xico.

4.2.2.6.2 Acuaférico

En el año 1980 se inicia la construcción del Acuaférico que es un acueducto de concreto de 5 m de diámetro con capacidad de 25 m³/s, para 1988 entra en funcionamiento la primera etapa del mismo. Para 1994 en ese mismo año entra en operación la segunda etapa del Acuaférico. Y es hasta 1999 que entra en operación la tercera etapa del Acuaférico, la cuarta etapa de la que si se tiene conocimiento por ser la que se encuentra en construcción es aquella que va desde Xochimilco hasta Milpa Alta que cubre una distancia de 10 km.

Éste comienza de igual manera en Huixquilucan, se extiende de manera subterránea por la Sierra del Ajusco al sur de la Ciudad de México hasta Chalco que es donde cierra el Circuito con el Macrocircuito, éste puede apreciarse en el mapa anterior en tono café y amarillo que representa el proyecto del Gobierno del Distrito Federal y su función fundamental es distribuir el caudal del Sistema Cutzamala correspondiente a la Ciudad de México.

4.2.2.7 Cobertura de agua en la Ciudad de México y ZMVM

De Acuerdo al Censo Poblacional y de Vivienda del año 2005 realizado por el INEGI, la RHA XIII obtuvo porcentajes altos en cuanto a cobertura de agua potable y alcantarillado, esto se puede apreciar mejor en la siguiente tabla.

Entidad Federativa	Cobertura Total		Cobertura Urbana		Cobertura Rural	
	Agua potable	Alcantarillado	Agua potable	Alcantarillado	Agua potable	Alcantarillado
Distrito Federal	97.58	98.59	97.78	98.64	41.73	86.63
Hidalgo	95.72	89.74	97.15	96.33	92.76	76.03
México	95.75	97.02	96.35	97.70	79.83	79.13
Tlaxcala	97.21	95.80	97.63	97.02	95.75	91.51
TOTAL	96.54	97.21	97.03	98.05	85.35	78.04

Tabla 4.2.5: Cobertura de agua y alcantarillado en la Ciudad de México y ZMVM. Fuente: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, CONAGUA); “Estadísticas de agua en México”, México D.F. 2010.

La cobertura de agua potable en el Distrito Federal es de 97,58%, mientras que de alcantarillado es de 98,59%, la cobertura urbana de agua potable es de 97,78% y alcantarillado de 98,64%, la cobertura rural

es de 41,73% y de alcantarillado de 86,63%. La cobertura de agua potable en el Estado de México es de 95,75% y de 97,02% de alcantarillado, dividido en urbano y rural nos da una cobertura urbana de agua potable de 96,35% y de alcantarillado de 97,70% y una cobertura rural de agua potable de 79,83% y de alcantarillado es de 79,13%.

4.2.2.8 Disponibilidad natural media total

La siguiente tabla tomada del libro estadístico del agua de la RHA XIII, muestra la clasificación de disponibilidad media de agua que ayuda a determinar el grado de escasez hídrico de una región o país. La disponibilidad natural de agua considera únicamente el agua renovable (agua de lluvia que se transforma en escurrimiento superficial y recarga de los acuíferos).

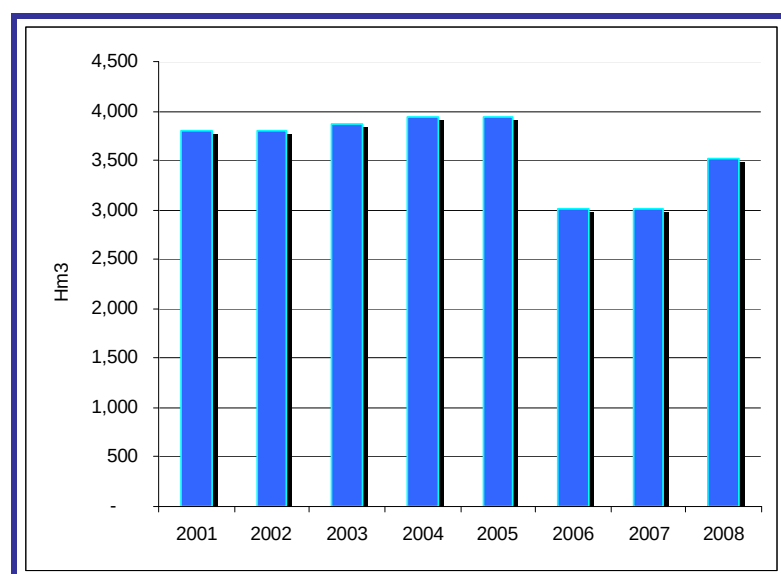
Disponibilidad natural media per cápita (m ³ /hab/año)	Clasificación
1001 a 1700	Estrés Hídrico
501 a 1000	Escasez Hídrica
menos de 500	Escasez Hídrica Absoluta

Tabla 4.2.6: Clasificación de la disponibilidad natural media de agua Fuente: Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT); “*Estadísticas del agua de la Región Hidrológico – Administrativa XIII, Aguas del Valle de México*”; México, 2009.

En la siguiente gráfica se aprecia la disponibilidad natural media total en la RHA XIII, la cual tiene variabilidad moderada, del año 2001 al 2005 se mantenía con una estabilidad media con valores entre 3,500 y 4,000 hm³ anuales, pero a partir del año 2006 decae hasta casi 3,000 hm³ que se mantienen en el año 2007 para luego recuperar la disponibilidad natural a 3,514 hm³. La disponibilidad media más elevada es en el año 2004 y 2005 en el que se alcanzó 3,934 hm³. La disponibilidad media de las medias en este período es de 3,609.44 hm³.

Dividido por subcuenca, la subcuenca del Valle de México tiene una disponibilidad natural media de 1,485.29 hm³; lo que se traduce en una disponibilidad natural media per cápita de 73 m³/hab para la subcuenca del Valle de México, tomando una población para la Zona Metropolitana del Valle de México en el año 2010 de 20,100,000 habitantes.

Si tomamos de referencia el índice de disponibilidad de agua potable por persona y año que se planteó en el apartado en el que especifica un nivel de escasez cuando la disponibilidad por persona es menor a 1,000 m³ por persona entonces el caso de la RH XIII es de escasez muy grave.



Gráfica 4.2.12: Disponibilidad natural media total. Fuente: Para 2001: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT. CONAGUA). “*Compendio Básico del Agua en México*”, 2001. México, D.F. Para 2002-2008: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT. CONAGUA). “*Estadísticas del Agua en México*”(varios años). México, D.F.

4.2.2.9 Contaminación y Calidad del agua potable

El Organismo de Cuenca de Aguas del Valle de México (OCAVM), encargada de la gestión de la cuenca, lleva a cabo estudios periódicos a través de la Red Nacional de Monitoreo de Calidad del Agua, a través de los cuales se puede conocer el comportamiento de la calidad del agua superficial y acuíferos de la RHA XIII. Para medir la calidad del agua de los cuerpos superficiales la CONAGUA utiliza dos de los mencionados en el apartado 4.6.1.6; el indicador DBO5 y el DQO, los cuales como se comentó anteriormente miden la concentración de materia orgánica en los cuerpos de agua. Tan sólo en la subregión Valle de México existen 11 estaciones de monitoreo de red primaria, 5 estaciones de monitoreo de red secundaria y 11 estaciones de monitoreo de red primaria subterránea. En el estudio realizado por la CONAGUA en el año 2008 las estaciones que miden el indicador DBO5 en algunos cuerpos de agua, arrojó los siguientes resultados:

Cuerpos de agua	Estación evaluada	Valor
Río Churubusco	8 VM	170.00
Río de los Remedios	2 VM	174.00
	6 VM	233.00
Emisor Poniente	1 VM	217.50
Río de la Compañía	9 V	241.00
	10 V	217.50
Río San Juan Teotihuacan	14 VM	226.50
Canal Santo Tomas	3 VM	233.00
Río San Buenaventura	16 VM	253.50
Gran Canal	7 VM	279.00
Río Magdalena	11 VM	2.00

Tabla 4.2.7: Cuerpos de agua con estaciones DBQ5. Fuente: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT); “*Estadísticas del agua de la Región Hidrológico – Administrativa XIII, Aguas del Valle de México*”; México, 2009.

El Río Churubusco, Río de los Remedios en sus dos estaciones, Emisor Poniente, Río de la Compañía en sus dos estaciones, Río San Buenaventura y Gran Canal obtuvieron valores de cuerpos de agua altamente contaminados ya que se encuentran por encima de 120 mg/l. El único río que obtuvo valores de excelente calidad de acuerdo al indicador DBO5 fue el Río Magdalena, ya que obtuvo una puntuación menor a 3 mg/l.

El indicador DQO arrojó en todas las estaciones evaluadas que los cuerpos de agua se encuentran altamente contaminados, ya que se obtuvieron valores por encima de 200 mg/l; a excepción de el Río Magdalena que tiene una calidad excelente obteniendo valores por debajo 10 mg/l.

Cuerpos de agua	Estación evaluada	Valor
Río Churubusco	8 VM	376.45
Río de los Remedios	2 VM	385.40
	6 VM	634.85
Emisor Poniente	1 VM	449.46
Río de la Compañía	9 V	536.45
	10 V	485.44
Río San Juan Teotihuacan	14 VM	572.26
Canal Santo Tomas	3 VM	496.35
Río San Buenaventura	16 VM	570.88
Gran Canal	7 VM	514.40
Río Magdalena	11 VM	3.79

Tabla 4.2.8: Cuerpos de agua con estaciones DBQ5. Fuente: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT); *“Estadísticas del agua de la Región Hidrológico – Administrativa XIII, Aguas del Valle de México”*; México, 2009.

En aguas subterráneas se realizan pruebas de acuerdo a la NOM-127-SSA1-1994 que trata acerca de la “salud ambiental, agua para uso y consumo humano – límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización”; con la que se comprueba el cumplimiento de las características química y bacteriológicas en los pozos profundos.

4.3 Factores Socio - Económicos

4.3.1 Crecimiento de población en la Ciudad de México y ZMVM

Dentro del país, la Ciudad de México es una de las más pobladas a nivel mundial según la publicación *Global Environment Outlook* realizada por las Naciones Unidas en su División de Población en la que muestra por medio de una gráfica el número de habitantes de ciudades principales del mundo. Ésta nos sitúa en tercer lugar con 19 millones de habitantes por debajo de Tokio con 35 millones de habitantes y Nueva York - Newark con 19 millones 40 mil habitantes, ambos ocupan los dos primeros lugares.

Por debajo de la Ciudad de México aunque muy cerca se encuentran en cuarto lugar las ciudades de Mumbai antes Bombay en India y la ciudad de Sao Paolo en Brazil.

Rank	Urban agglomeration	Population (thousands)
1	Tokyo	35 676
2	New York-Newark	19 040
3	Ciudad de México (Mexico City)	19 028
4	Mumbai (Bombay)	18 978
5	São Paulo	18 845
6	Delhi	15 926
7	Shanghai	14 987
8	Kolkata (Calcutta)	14 787
9	Dhaka	13 485
10	Buenos Aires	12 795

Tabla 4.3.1: World's largest urban agglomerations; Fuente: United Nations Population Division; 2007.

De acuerdo al 2do Censo de población y vivienda 2005 del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) la población total a nivel nacional fue de 103,263,388 habitantes de éstos en la ZMVM habitaban 19,239,910 habitantes, lo que representa el 18,3% a nivel nacional; la cantidad obtenida por las Naciones Unidas muestra que unos años después del censo oficial, hubo población que emigró.

El Consejo de Cuenca del Valle de México indica que la mayor explotación demográfica se dio entre 1950 y 1990, el motivo de éste aumento lo refieren a la cobertura de servicios, así como las oportunidades de trabajo y de educación de calidad, ya que el país durante el siglo XX se gestionaba en un esquema centralizado de desarrollo.

La población de 1910 a 1950 tuvo un crecimiento aproximado de 1 millón hasta 3 millones de habitantes respectivamente.

La tabla siguiente presenta el crecimiento poblacional censado entre 1950 y 2005, el censo se realiza cada cinco años por parte del Instituto Nacional de Estadística y Geografía e Informática (INEGI); para el año 1950 podemos ver que la población era de 2,830,000 habitantes; en los 60's la población aumentó a 5,259,000 de habitantes, para la década de los 70's aumentó a 8,986,000 de habitantes.

Continuó elevándose para los años 80's en los que la población fue de 13,734,000 de habitantes. Para el año 1990 había una población de 15,563,796 de habitantes en el territorio de la ZMVM y para el censo de 1995 se aumenta la población a 17,297,539 habitantes. En el censo del año 2000 se cuenta una población de 18,396,677 de habitantes y en el 2do Censo de Población y Vivienda del año 2005 la población alcanzó los 19 millones mencionados anteriormente. Actualmente en los estudios preliminares del Censo de Población y Vivienda 2010, Eduardo Sojo titular del INEGI anunció una población para la zona metropolitana de Valle de México de 20,100,000 habitantes.

Población	1950	1960	1970	1980	1990	1995	2000	2005	2010
ZMVM	2,830,000	5,259,000	8,986,000	13,734,000	15,563,795	17,297,539	18,396,677	19,239,677	20,100,000a

Tabla 4.3.2: Crecimiento Poblacional de la ZMVM (habitantes). Fuente: Elaboración Propia en base a datos del Censo de Población y Vivienda, INEGI 2005. a: Estudios preliminares del Censo de población y vivienda 2010.

4.3.2 Producto Interno Bruto

El PIB de la Ciudad de México es medido por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI); La Ciudad de México representa anualmente el 18% del PIB nacional ocupando el primer puesto entre las entidades federativas del país, si tomamos éste porcentaje como el 100% de la ciudad se divide en 0,1% en aportación por sector primario, 15,8% en aportación por sector secundario, y el sector terciario aporta 90,6% siendo el estado que mayor aportación industrial tiene a nivel nacional. Sumando esto, da 106,5% siendo que el porcentaje restante se debe a los redondeos que se realizan en el cálculo.

El Estado de México, en segundo lugar, representa entre el 9 y el 9,30% del PIB nacional, del cuál si se toma como el 100% el sector primario aporta el 1,6%, el sector secundario 34,9% y el sector terciario 64,4%. Aquí se habla del Estado de México debido a que muchos de sus municipios forman parte de la ZMVM.

Por otra parte es importante mencionar que es claramente visible que ambos estados son de gran actividad industrial.

No se incluirán datos más específicos con respecto al PIB en los estados involucrados, ya que los datos que manejan las bases de datos nacionales como el INEGI, el Banco de México, están en unidades de pesos mexicanos y no en dólares, y como en éste documento hemos estado hablando en unidades de dólares es preferible no plantear otra unidad distinta para no confundir al lector. Esto también se debe a que no se ha encontrado una unidad de conversión adecuada, por los cambios de año base que se da en el conteo de la evolución del PIB en el país, así como el tener una economía tan cambiante.

4.3.3 Acciones institucionales hacia la sostenibilidad en la Ciudad de México y ZMVM

4.3.3.1 Programa de Sustentabilidad Hídrica del Valle de México

La situación actual que enfrenta el Valle de México es bastante delicada, sufre de sobreexplotación del acuífero, insuficiente capacidad de drenaje, saneamiento de las aguas del 10%. Es por ello que el Presidente actual Felipe Calderón Hinojosa, a través de la Comisión Nacional de Agua pone en marcha éste programa en Noviembre 2007.

Los objetivos del Programa de Sustentabilidad Hídrica del Valle de México son:

- La rehabilitación del Sistema Cutzamala.
- El desarrollo de nuevas fuentes de abastecimiento de agua potable.
- Disminuir la sobreexplotación del acuífero, con lo que se abatirá el hundimiento de la zona metropolitana.
- Ampliar la capacidad del drenaje, mediante la construcción del Túnel Emisor Oriente, lo que permitirá reducir el riesgo de inundaciones.
- Tratar el total de las aguas residuales del Valle de México.

- El saneamiento de cauces con aguas negras a cielo abierto.
- Dar cumplimiento a la normatividad vigente en materia ambiental.
- Fomentar el uso eficiente y ahorro de agua.

El proyecto de construcción del Túnel Emisor Oriente tendrá una longitud aproximada de 62 km, 7 m de diámetro y una capacidad de desalojo de hasta 150 m³/s de aguas residuales. El TEO por sus siglas, estará compuesto por 24 lumbreras con profundidades que van de 26 a 150 m. La construcción de los 62 km se dividió en seis secciones de 10 km aproximadamente cada uno.

El túnel iniciará en la segunda lumbrera del túnel interceptor del Río de los Remedios y terminará en el municipio de Atotonilco de Tula, en el Estado de Hidalgo, cerca del actual portal de salida del Túnel Emisor Central, en su confluencia con el Río El Salto.

El objetivo de éste túnel en particular será dar una salida alterna al TEC, ayudando a evitar inundaciones en la ciudad y zonas conurbadas, aumentará la capacidad de drenaje profundo además el Túnel Emisor Oriente conducirá las aguas residuales a la Planta de Tratamiento Atotonilco.

Las lumbreras son respiraderos que sirven para darle mantenimiento a la obra e ingresar los equipos de excavación.

La planta de tratamiento de aguas residuales de Atotonilco de Tula en el Estado de Hidalgo, será la más grande del país, tendrá capacidad para tratar 23 m³/s durante el estiaje y un módulo adicional para tratar 12 m³/s en épocas de lluvias.

Se plantea utilizar el gas metano generado por las aguas residuales para producir energía eléctrica, con ello se pretende que la planta sea autosuficiente con respecto al consumo de la misma.

Los impactos ambientales que generara en el municipio serán de contaminación visual del paisaje, posible contaminación del aire debido a los gases que desprenden las aguas negras, posible migración de especies autóctonas.



Imagen 4.3.1: Mapa del TEO. Fuente: Comisión Nacional de Agua (CONAGUA); "Mapa de los 62 km del TEO"; (la línea roja muestra las 24 lumbreras de la obra); México, 2010

4.3.3.2 Plan Verde de la Ciudad de México

El Plan Verde es la ruta del Gobierno del Distrito Federal a mediano plazo que contiene las estrategias y acciones para encaminar a la Ciudad de México hacia la sustentabilidad de su desarrollo, para que continúe siendo un espacio adecuado para sus habitantes, sin comprometer el patrimonio natural que la hace viable.

Como se verá a continuación algunos de los planteamientos que se tratan en el Plan Verde ya se han llevado a cabo o están directamente en proceso, en caso específico las obras de drenaje que se plantean, así como otros planes, debido a que éste plan fue lanzado hace ya un par de años atrás.

Los ejes temáticos son:

- *Suelo de Conservación*
- *Habitabilidad y Espacio Público*
- *Agua*
- *Movilidad*
- *Aire*
- *Residuos Sólidos*
- *Cambio Climático y Energía*

El objetivo principal de *suelo de conservación* es rescatar el suelo de conservación como espacio clave del equilibrio ecológico de la ciudad.

Por medio de 4 estrategias, que son crecimiento cero de los asentamientos humanos; restauración y conservación de ecosistemas de alto valor ambiental; pago de servicios y bienes ambientales como mecanismo para compensar los costos de la conservación; el impulso a los agroecosistemas y manejo sustentable de los recursos naturales.

Esto significa procurar que nadie dañe los suelos de conservación, aplicando penalizaciones severas a aquellos que lo dañen, recuperación de espacios de gran valor ambiental ocupados por asentamientos irregulares y una campaña de concienciación.

Valorar la creación de impuestos verdes y compensaciones por daño ambiental para retribuir los servicios que brinda el suelo de conservación y comenzar su aplicación antes del 2012.

En cuanto a *habitabilidad y espacio público* el objetivo principal es rescatar y crear espacios públicos, para hacer de la ciudad un lugar de integración social que ofrezca mejor habitabilidad, confort y equidad.

Se plantean cuatro estrategias clave para lograr éste objetivo, implementar proyectos ordenadores con espacios públicos amplios, diseñados con criterios de sustentabilidad y habitabilidad, impulso al desarrollo de la vivienda sustentable; rescatar y consolidar los espacios públicos existentes en los corredores de integración y desarrollo con vocaciones recreativas y ambientales; incrementar las áreas verdes y dotar de infraestructura, mobiliario urbano y elementos de accesibilidad a los espacios públicos.

Esta estrategia es la que más atañe a este documento ya que se trata del manejo del agua, donde el objetivo fundamental es lograr la autosuficiencia hídrica y la gestión integral del agua en el Distrito Federal. En éste caso particular de éste tema el Plan Verde especifica 5 estrategias clave a tomar y son las siguientes:

1. *Alcanzar el equilibrio acuífero*, reevaluar el aprovechamiento de los manantiales a partir del 2009.
2. *Reducir el consumo de uso doméstico*, a partir del 2008 se incrementará la micro medición para alcanzar la cobertura del 100% en el 2010
3. *Reducir las pérdidas en la red*.

4. *Incrementar la capacidad del sistema de drenaje y la reutilización y el tratamiento del agua*

5. *Crear parques lacustres en Tláhuac y Xochimilco.*

La estrategia de *movilidad* tiene como objetivo recuperar las vialidades para el transporte colectivo eficiente, menos contaminante, de calidad y promover la movilidad no motorizada.

Esto se tratará de resolver a través de las siguientes tareas: Privilegiar el transporte colectivo eficiente, no contaminante, de calidad y recuperar el uso de las vialidades para la mayoría; reducir el número de vehículos en circulación; incentivar la movilidad no motorizada; agilizar la movilidad vial; fortalecer la cultura vial para una convivencia más armónica.

La estrategia de *aire* tiene el objetivo de controlar los contaminantes atmosféricos que tienen mayor presencia y afectación a la salud de la población (ozono y partículas finas) y consolidar la reducción de las emisiones de contaminantes tóxicos.

Las tareas principales a seguir en éste apartado son la reducción de emisión de contaminantes, incremento en la eficiencia pasajero/carga transportado y apoyar las acciones de los planes de movilidad y energía, así como medir los beneficios del Plan Verde en la calidad del aire.

Los *residuos sólidos* tienen como objetivo principal el instrumentar un sistema integral y sustentable de manejo de residuos sólidos urbanos.

Dentro de este apartado del Plan Verde se planea seguir las siguientes estrategias: impulsar la regulación de los materiales de empaque y embalaje para disminuir la generación de residuos; fortalecer el programa de separación de basura desde su origen, para incrementar el reciclaje; creación y promoción de oportunidades de mercado para incrementar el aprovechamiento productivo de los materiales reciclados; y la modernización de los métodos de recolección, concentración, transferencia, tratamiento y disposición final de residuos.

El objetivo principal en el apartado de cambio climático y energía es reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, impulsar y fortalecer el mercado de las energías renovables y realizar acciones de adaptación al cambio climático para la población.

4.3.4 Usos del agua

A nivel de la región hídrico – administrativa XIII correspondiente al Valle de México el uso del agua se divide de la siguiente manera:

Uso	Origen		TOTAL
	Superficial hm ³	Subterráneo hm ³	
Agrícola	1,155.07	209.94	1,365.010
Agroindustrial	0.00	2.05	2.050
Doméstico	0.07	0.00	0.070
Acuacultura	21.89	0.00	21.890
Servicios	7.99	6.90	14.890
Industrial	45.87	221.16	267.030
Pecuario	1.10	3.11	4.210
Público Urbano	539.80	1,709.80	2,249.600
Múltiple	8.54	111.36	119.900
Energía Eléctrica	220.75	0.00	220.750
TOTAL	2,001.08	2,264.32	4,265.40

Tabla 4.3.3: Agua superficial y subterránea por usos. Fuente: Dirección del Registro Público de Derechos del agua, 2009

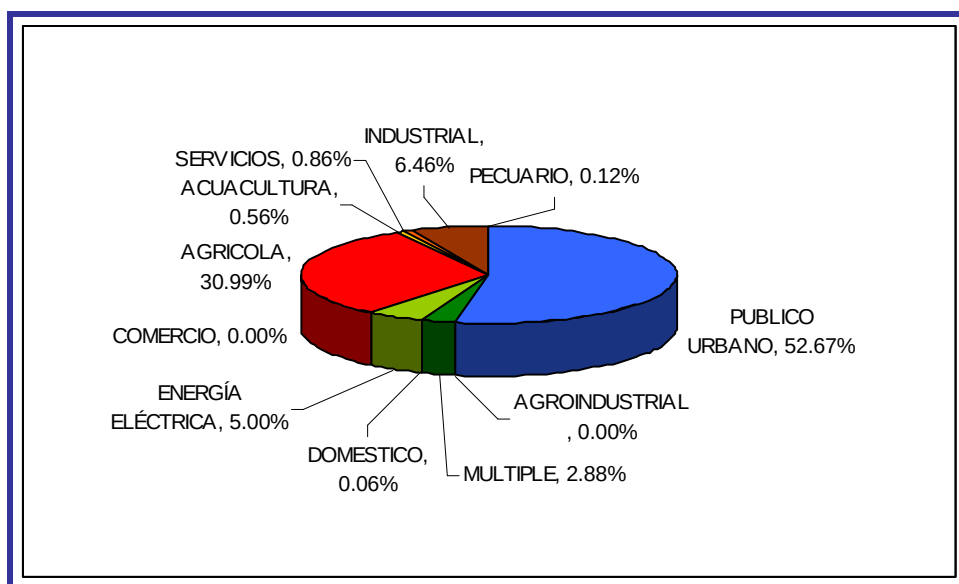
En la tabla siguiente se muestra el volumen concesionado por entidad federativa por usos y dividido en agua superficial y agua subterránea, podemos observar que en total el volumen concesionado es de 2,781,745,283 m³/año, el volumen de agua subterránea para el Distrito Federal es de 813,054,201 m³/año y para el Estado de México es de 1,169,395,206 m³/año.

Uso	D.F.		Estado de México		TOTAL
	Superficial m ³ /año	Subterráneo m ³ /año	Superficial m ³ /año	Subterráneo m ³ /año	
Agrícola	365,000	75	238,214,543	167,840,628	406,420,246
Doméstico	0	16,390	51,873	1,867,791	1,936,054
Acuacultura	189,216	0	7,378,931	0	7,568,147
Servicios	224,640	3,964,864	1,737,200	2,434,129	8,360,833
Industrial	0	28,265,872	21,545,216	80,570,438	130,381,526
Pecuario	0	0	659,263	2,614,575	3,273,838
Público Urbano	309,052,800	780,516,000	217,027,962	819,105,141	2,125,701,903
Múltiple	0	291,000	2,849,232	94,962,504	98,102,736
Energía Eléctrica	0	0	0	0	0
TOTAL	309,831,656	813,054,201	489,464,220	1,169,395,206	2,781,745,283

Tabla 4.3.4: Volumen Concesionado de agua por Entidad Federativa 2008; Fuente: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, CONAGUA); “Estadísticas de agua en México”, México D.F. 2010

En ambos casos se puede apreciar que el volumen concesionado para uso público urbano, agrícola e industrial son los más elevados.

En cuestión de porcentaje los volúmenes concesionados se aprecian mejor en la siguiente gráfica, éstos año con año no han tenido una variación significativa.



Gráfica 4.3.1: Volúmenes concesionados 2008 Fuente: Consejo de Cuenca del Valle de México "Información Cuenca del Valle de México"; México 2010.

En la que podemos ver que la mayor concesión la tiene el sector Público Urbano, con 52,67%, le sigue el sector Agrícola con 30,99% y todos los demás sectores consumen tienen el resto sin ser muy elevadas. Si continuamos con la misma división que hemos ido planteando en ésta investigación podemos dividir éstos usos de la siguiente manera:

4.3.4.1 Aprovechamientos subterráneos

En cuestión del aprovechamiento subterráneo se cuenta con datos para diciembre 2008, en los cuales la CONAGUA menciona se contaba con 4,758 pozos concesionados de los cuales casi el 84% se encontraban en la región del Valle de México.

A nivel de entidad federativa, el Distrito Federal tiene el 25,8% de los pozos concesionados, y el 35,9% del volumen de extracción total, en el Estado de México se concéntrale 54,2% de los pozos concesionados y el 51,2% del caudal de extracción, los porcentajes restantes se reparten en la subregión de Tula.

La tabla siguiente muestra la distribución por uso y pozos concesionados en la región para el año 2008, como se puede observar la cantidad de pozos concesionados para el Valle de México es muy superior a los pozos para la región de Tula. El sector con mayor concesión es el Público Urbano en ambos casos con 2,194 pozos con una extracción de 1,645.52 hm³ en la región del Valle de México y de 263 pozos con una extracción de 64.274 hm³ para la región de Tula. Esto denota una desigualdad enorme en cuanto a la posibilidad de aprovechamiento del recurso entre una región y otra.

El total de pozos de extracción para el Valle de México es de 4,003 con una extracción de 2,047.58 hm³ y para la región de Tula 755 pozos con una extracción de 231.73 hm³, lo que da un total en la cuenca de 4,758 pozos concesionados y 2,79.30 hm³ totales de volumen de extracción en la cuenca.

De acuerdo a la estadística obtenida por CONAGUA el Distrito Federal contó con 1,229 pozos y se extrajo un volumen de 813.054 hm³ en el año 2008, el Estado de México tenía 2,578 pozos con una extracción total de 1,169.40 hm³.

Uso	Valle de México		Tula		Total Región	
	Nº de Pozos	Volumen de Extracción m ³	Nº de Pozos	Volumen de Extracción m ³	Nº de Pozos	Volumen de Extracción m ³
Agrícola	646	179.05	173	30.89	819	209.94
Agroindustrial	0	0	0	0	0	0
Doméstico	42	1.90	48	15.13	90	17.03
Acuacultura	0	0	0	0	0	0
Servicios	77	6.53	24	0.38	101	6.90
Industrial	560	110.73	94	110.43	654	221.16
Pecuario	67	2.71	10	0.41	77	3.11
Público Urbano	2,194	1,645.52	263	64.27	2,457	1,709.80
Múltiple	417	101.15	143	10.22	560	111.36
Energía Eléctrica	0	0	0	0	0	0
Comercio	0	0	0	0	0	0
TOTAL	4,003	2,047.58	755	231.73	4,758	2,279.30

Tabla 4.3.5: Aprovechamientos subterráneos. Fuente: Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, CONAGUA); “Estadísticas de agua en México”; México D.F. 2010

4.3.4.2 Uso agrícola

Éste sector se divide en uso agrícola, acuacultura y pecuario; éste sector es igual de importante a escala de la Ciudad de México como lo habíamos visto tanto a nivel país como a nivel mundial, esto es lógico ya que siendo tantos habitantes a su vez en la Ciudad de México requerimos de grandes extensiones de tierras para cultivo y con ello las mayores cantidades de agua para éste sector, de acuerdo a la tabla anterior el sector agricultura usa 1,39 km³ del total anual.

4.3.4.3 Uso Doméstico

Éste sector tan sólo consume 2,252 km³ del total; a pesar de contar con una población numerosa sumando el consumo doméstico y el público urbano, éste consumo es de los menores dentro de la ciudad.

Comparativo de tarifas entre la Ciudad de México y Barcelona por el suministro de Agua Potable

El objetivo de este apartado es realizar un comparativo entre lo económico que resulta el servicio de agua potable en la Ciudad de México de Estados Unidos Mexicanos y la ciudad de Barcelona en España.

El cobro del servicio de agua potable en la Ciudad de México en los Estados Unidos Mexicanos lo gestiona el Sistema de Aguas de la Ciudad de México, en períodos bimestrales. En Barcelona, España el cobro lo gestiona la empresa Agbar en períodos trimestrales.

De acuerdo al recibo de consumo doméstico de agua en la Ciudad de México en 61 días, en un piso con dos personas habitándolo, se consumieron 26.23 m³, por lo que se debiera cobrar una cuota de \$603.00 pesos mexicanos, pero existe un subsidio de casi el 50% por lo que se cobro finalmente una cuota de \$306.00 pesos mexicanos, en un bimestre. El nivel de consumo doméstico se tiene estipulado entre los 20 y los 30 m³, de acuerdo a la siguiente tabla:

Consumo (m ³)		Tarifa Clasificación Alta	
Límite Inferior	Límite Superior	Cuota mínima	Cuota adicional por cada m ³ excedente al límite inferior
0	15	\$ 135.00	\$ -
mayor a 15	20	\$ 135.00	\$ 15.20
mayor a 20	30	\$ 211.00	\$ 15.21
mayor a 30	40	\$ 363.10	\$ 15.22
mayor a 40	50	\$ 515.30	\$ 15.23
mayor a 50	70	\$ 667.60	\$ 23.22
mayor a 70	90	\$ 1,132.00	\$ 30.00
mayor a 90	120	\$ 1,732.00	\$ 40.00

Tabla 4.3.6: Tarifas por volumen consumido de agua potable. Fuente: Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACM); México 2010.

Los subsidios se calculan de la siguiente manera, para una clasificación alta y su consumo bimestral:

Consumo (m ³)		Subsidio Clasificación Alta a	
Límite Inferior	Límite Superior	Cuota mínima	Cuota adicional por cada m ³ excedente al límite inferior
0	15	60.8696%	0%
mayor a 15	20	60.8696%	33.9130%
mayor a 20	30	54.1304%	33.8696%
mayor a 30	40	47.3768%	33.8261%
mayor a 40	50	43.9891%	33.7826%
mayor a 50	70	41.9478%	17.0714%
mayor a 70	90	33.8012%	1.6396%
mayor a 90	120	25.4448%	1.2346%

Tabla 4.3.7: Subsidios aplicables a la cuota por consumo de agua potable. Fuente: Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACM); México 2010.

En el caso del recibo de consumo doméstico de agua en la ciudad de Barcelona en un período de 91 días, en un piso con dos personas habitándolo, se consumieron 27 m³, en éste caso no se menciona ninguna subvención en el servicio de agua, por tanto, por ése consumo se cobro una cantidad de 55,02 €. Con parámetros de uso doméstico de 3 tramos, con contador individual, por un tipo habitacional C.

De acuerdo a la Agencia Catalana de l'Aigua, el canon de agua en uso doméstico del agua toma en cuenta tres tramos de consumo distinto, con un mínimo de facturación de 6 m³ por abonado y mes. La forma de cobro también depende del consumo, y tomando en cuenta que por vivienda se tiene un estimado de 3 habitantes.

En la siguiente tabla se explica el cobro por tramo:

	1er tramo	2do tramo	3er tramo
Tipo base (€/m ³)	0,3999€	0,4236€	0,4236€
Coeficiente que se debe aplicar	1	2	5
Tipo final (€/m ³)	0,3999€	0,8472€	2,118 €

Tabla 4.3.8: Cobro por tramo de consumo. Fuente: Agencia Catalana de l'Aigua, Barcelona, España; 2010

Cada tramo corresponde a la cantidad consumida, lo cual se explicara en la siguiente tabla, pero antes me gustaría explicar lo que significa el coeficiente por tramo; esto se refiere a que la agencia penaliza al consumidor si excede el consumo estimado por tramo, con la finalidad de que las personas mejoren su uso del recurso hídrico.

La siguiente tabla termina de explicar los volúmenes permitidos de consumo por tramo:

Personas por vivienda	1er tramo m ³	2do tramo m ³	3er tramo m ³
0 - 3	10	10 a 18	> 18
4	13	13 a 24	> 24
5	16	16 a 30	> 30
6	19	19 a 36	> 36
7	22	22 a 42	> 42
n	hasta (3n+1)	>(3n+1) a 6n	> 6n

Tabla 4.3.9: Volumen de consumo permitidos por tramos. Fuente: Agencia Catalana de l'Aigua, Barcelona, España; 2010

Como se puede observar en el tercer tramo que es el que corresponde a éste comparativo con una ocupación de máximo 3 personas le corresponde un consumo a partir de 18m³ en adelante, y dependiendo de ello es lo que se factura trimestralmente.

Ahora si tomamos un tipo de cambio medio anual para el año 2010 hasta el mes de noviembre, basado en el tipo de cambio obtenido de la base de datos del Banco de México, nos da una media anual de \$16.71 pesos mexicanos por euro.

Si convertimos los \$306.00 pesos mexicanos que se facturaron en un bimestre en la Ciudad de México por un consumo de 26m³ en moneda euro, nos da 18.31€ en ese bimestre, sin el subsidio serian \$603.00 pesos mexicanos o 36.08€ al bimestre; mientras que en Barcelona al trimestre se consumieron 27m³ y se facturaron 55.02€.

4.3.4.4 Uso industrial

Éste sector incluye la agroindustria, industria, energía eléctrica, y se incluirá el especificado como múltiple para no entrar mucho en detalles sobre ésta subdivisión ya que la fuente no explica a detalle cada uno; la suma de ellos da un consumo de 0,601 km³. Por otra parte a su vez en la tabla anterior se incluye el sector servicios pero con un consumo 0,015 km³. El consumo total de la región hídrico – administrativa XIII es de 2 km³ de agua superficial y de 2,26 de aguas subterráneas dando un total de consumo de 4,27 km³ promedio anual.

4.4 Factores urbanos

4.4.1 Desarrollo urbano del Valle de México



Imagen 4.4.1: Ciudad Tenochtitlán 1325 – 1519. Fuente: Flisinger, Tomás; Ciudad Tenochtitlán 1325 – 1519.

En sus inicios el Valle de México era conocido como Valle del Anáhuac. Este tenía unas características muy peculiares, al sur se apreciaba cercado por grandes montañas boscosas como el Ajusco y al norte de imponentes cerros como el Chiquihuite y el de Tres Padres. Ambas estaban cerradas en ambos extremos por largos avistamientos nevados, mientras el Nevado de Toluca lo hacía por el poniente, los volcanes Popocatepetl e Iztaccihuatl se encontraban en el extremo oriente.

En 1325 los mexicas fundaron México – Tenochtitlán, la cual emergió de un puñado de rocas en la inmensidad de sus grandes lagos, a los que el mexica chinamepó metro a metro hasta convertirla en la reina del Anáhuac.

El diseño de la ciudad México - Tenochtitlán, estaba basado en una planeación cuidada, que resultaba en un conjunto urbano no sólo hermoso sino ambientalmente equilibrado. Cinco lagos y tres lagunas (Xaltocan y Zumpango al norte, Texcoco al centro, San Cristobal, Xochimilco y Chalco al sur, las lagunas de Apan, Tochac, Tecocomulco) constituían el principal ingrediente de este paisaje (900 – 1521 d. C.).

Los lagos de la cuenca se nutrían de las aguas provenientes del deshielo proveniente de las montañas ubicadas al oriente del Valle de México, 45 ríos de los cuales 14 ríos perennes y 31 ríos que se forman de mayo a octubre por las lluvias. El mayor de los ríos era el Cuautitlán (proveniente de la la Sierra de las Cruces), seguido por el río Avenidas de Pachuca, La Magdalena (de la Sierra del Ajusco) y Tenango y Tlalmanalco (proveniente de los volcanes) que alimentaban al Lago de Chalco. El lago de Xochimilco recibía el flujo de los ríos Papalotla, Texcoco, Teotihuacán, y eventualmente los flujos de agua de los otros cuatro lagos.

La población de México - Tenochtitlán llegó a ser superior a los 500 mil habitantes. La densidad superior a los 2 mil habitantes por km²; su traza estaba formada por una red geométrica de canales en un cuadrilátero de 3 km por lado con superficie de casi 1000 ha. Su centro ceremonial alcanzó dimensiones sin precedentes: 325 m de oriente a poniente y 312 m de norte a sur que comprenden una superficie de más de 100 mil m².

En el lugar se edificaron 78 templos y recintos de gobierno y disponía de cuatro accesos cardinales que eran arranques de los ejes viales de la Ciudad, contruidos sobre los lagos que comunicaban la isla con tierra firme.

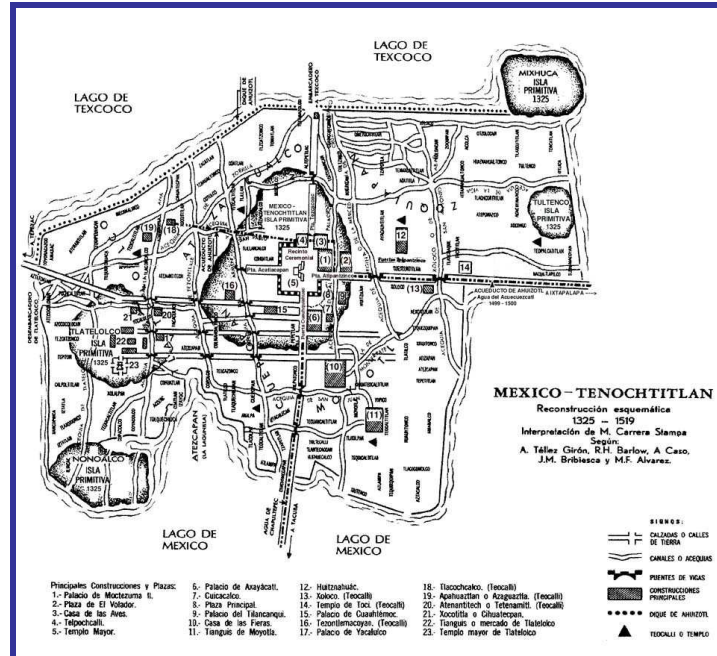


Imagen 4.4.2: Ciudad Tenochtitlán 1325 – 1519 (Norte se encuentra hacia la izquierda). Fuente: Legorreta, Jorge; “Ríos, Lagos y Manantiales del Valle de México; México.

El sitio donde se edificó la ciudad fue estratégico para el desarrollo de una economía mixta basada en la agricultura, la caza y la pesca; con la posibilidad de comunicarse por el agua.

Para vivir en esta zona lacustre sus habitantes tuvieron que realizar varias obras hidráulicas sobre todo para dotarse de agua dulce; para esto construyeron acueductos, uno corría a través del río Churubusco y el segundo por Chapultepec, que corría por la calzada Tlacopan en 1466. Estos acueductos estaban provistos de pequeños conductos que desaguaban en las fuentes y en los reservorios de los palacios y residencias, pero el resto de los habitantes tenía que comprar el agua a los vendedores que transitaban en canoas por toda la ciudad.

Una de las obras de ingeniería que desarrollaron para evitar inundaciones, fue un enorme dique (llamado Albarradón de Netzahualcóyotl, dique realizado hacia el año 1450 con una longitud de 16 km, 4 m de alto y 15 m de ancho corría desde el cerro de la Estrella en Iztapalapa, hasta Atzacualco, al pie de la sierra de Guadalupe; que detenía el agua creciente del lago de Texcoco en la temporada de lluvias).

Esta obra se situaba al este de la ciudad y tenía dos propósitos: la primera, proteger de las inundaciones y por otra separar las aguas salinas del lago de Texcoco, de las dulces provenientes de los otros lagos.



Imagen 4.4.3: Ciudad de Tenochtitlan. Fuente: Pintura del Dr. Atler "La ciudad bajo el Imperio Mexica"

Toda la estructura, con diques y compuertas que detenían el agua de la parte oeste del lago, permitía solventar un problema que había estado presente en todos los reinados aztecas: la salinidad del agua y las inundaciones continuas que, además de ocasionar daños a la propia ciudad, arruinaban las chinampas. El sistema de diques de Tenochtitlán medía alrededor de 80 km de largo. El manejo del sistema lacustre en la cuenca de México, a través de diques, canales y el albarradón ha permitido considerar a los mexicas como uno de los pueblos con mayor desarrollo hidráulico en el mundo (Gómez de Transmonte, 1628).

Pero quizá uno de los procesos más sobresalientes en esta región lacustre fue la invención de las Chinampas, creación de un desarrollo agrícola intensivo que dio satisfactores a una gran parte de los habitantes de la gran Tenochtitlán y su eficiencia en la producción de alimentos ha sido tan importante que aún sobrevive hasta nuestros días.

Las chinampas fueron isletas artificiales formadas con lodo, sacado del fondo del lago y vegetación de la superficie, sostenidas con árboles de huejote en las que se cultivaban maíz, vegetales, flores y hierbas medicinales y medían aproximadamente 1,50 por 15 m. En 1519 había unas 10,000 ha de chinampas con sus canales de riego.

Los mexicas aprovecharon todas las ventajas que ofrecían los lagos, los utilizaron como vías de transporte de mercancías, a través de innumerables y bien planeados canales, pues carecían de animales de carga y de vehículos con ruedas, y para controlar el imperio, ya que las principales ciudades se encontraban alrededor de los lagos.

A partir de 1519 la población Mesoamericana ya alcanzaba los 25 millones de habitantes (entiéndase por Mesoamérica la región centro y sur de México), en éste mismo año llega Hernán Cortés a la costa de Yucatán, para el mes de noviembre llega a México – Tenochtitlán, después de unos días sitia la ciudad y toma prisionero a Moctezuma II, emperador en aquel momento.

En 1520 se da la Noche Triste, cuando Hernán Cortés deja la ciudad para ir a combatir a su sustituto Pánfilo de Narváez enviado por el rey de España, a su retorno se había llevado acabo la Matanza del Templo Mayor donde innumerables soldados españoles mueren.

La conquista de México - Tenochtitlán culminó el 13 de agosto de 1521, y los españoles triunfantes, en ese año fundaron en Coyoacán, el Ayuntamiento de México.

De 1521 a 1523, se realizaron trabajos de traza, dirigidos por un soldado de Cortés que tenía conocimientos en topografía, de nombre Alonso García Bravo, comisionado de limpieza y de construcción de la nueva ciudad española.

Los españoles, quienes durante el sitio de la ciudad, la privaron de agua potable, cegaron los canales que la cruzaban y desaguaban en el lago de Texcoco, destruyen el albarradón y algunos diques y calzadas. Todo esto ocasionó que al fundarse la capital de la Nueva España no se contara con protección alguna contra las aguas de los lagos, por lo que a partir de 1553 sufrió constantes inundaciones. Un primer intento que se dio en 1536 para evitar las inundaciones fue la construcción de un acueducto que salía del pueblo de Santa Fe y llegaba a la fuente de Mariscala.

En 1604 se construyó, bajo la dirección de Jerónimo de Zárate un dique-calzada que corría de San Cristóbal Ecatepec a Venta de Carpio, en Chiconautla, Estado de México. Conocido como Albarradón de Ecatepec, tenía la intención de evitar los derrames de los lagos del norte en el de Texcoco.



Imagen 4.4.4: Muro del Albarradón de Ecatepec, aún en buen estado; su función era evitar los derrames de los lagos de San Cristóbal, Xaltocan y Zumpango sobre el de Texcoco. Fuente: Archivo Histórico del Agua, México 2010.

Una de las obras más importantes de esta época fue la realizada por Enrico Martínez en 1607, que pretendía sacar las aguas fuera de la cuenca, mediante la construcción de un túnel y una abertura entre los cerros, conocido como Tajo de Nochistongo, en el municipio de Huehuetoca, Estado de México. Sin embargo, la falta de revestimiento en la galería del túnel ocasionó varios derrumbes que lo dejaron inservible por muchos años. De 1620 a 1790 se construye el acueducto Arcos de Belén que contaba con más de 900 arcos y llegaba hasta a fuente de Salto del Agua.



Imagen 4.4.5: Acueducto del Arco de Belén, Chapultepec, Ciudad de México, 1620 – 1790; Fuente: Archivo Histórico del Agua, México 2010.

Hasta 1640 se reanudan los trabajos en Nochistongo, en 1789 se finalizó el proyecto, para convertir la galería en un tajo a cielo abierto. Aunque sirvió durante algún tiempo para librar a la ciudad de las inundaciones, pronto comenzó a ser insuficiente.



Imagen 4.4.6: Vestigios del Tajo de Nochistongo, proyectado por Enrico Martínez en 1607; Huehuetoca, Estado de México 1973. Fuente: Archivo Histórico del Agua, México 2010.



Imagen 4.4.7: Tajo de Nochistongo, Ciudad de México, 2010” Fuente: Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), México, 2010.



Imagen 4.4.8: Forma y levantado de la ciudad de México”, Fuente: Juan Gómez de Trasmonte, Instituto de Investigaciones Estéticas / UNAM, *Ciudad de México en 1628*

El 20 de Septiembre de 1629 se da una de las más grandes inundaciones que se prolonga durante cinco años, la capital novohispana quedó completamente inundada. Sólo una pequeña parte de Tlatelolco y otra de la plaza mayor quedaron a salvo de las aguas. Cuando las aguas regresaron a sus límites naturales, la capital de Nueva España sólo contaba con 400 familias.

En octubre, el arzobispo don Francisco Manzo de Zúñiga, escribió al Rey *“en menos de un mes habían perecido ahogados o entre las ruinas de las casas más de treinta mil personas y emigrado más de veinte mil familias”*. La gente sólo encontraba consuelo en la iglesia y los oficios se realizaban en cualquier lugar disponible:

En balcones --escribió Francisco Javier Alegre--, en andamios colocados en las intersecciones de las calles y aun en los techos se levantaron altares para celebrar el santo sacrificio de la misa, que la gente escuchaba desde azoteas y balcones.

En 1630 Simón Méndez propuso la apertura de un canal que partiría desde el lago de Texcoco y se uniría con un túnel que daría salida a las aguas del Valle a través del río Salado, en Tequixquiac, Estado de México. Se practicaron cuatro lumbreras de las 28 propuestas, pues la falta de recursos paralizó los trabajos.



Imagen 4.4.9: "Ciudad de México 1750", Fuente: Flisinger, Tomás 2010.

Hasta que en 1774 Joaquín Velázquez de León los continuó, realizando únicamente la nivelación de todo el trayecto.

Al llegar la época de la Independencia, la ciudad de México aún no contaba con obras adecuadas que pudieran alejar las aguas pluviales y de desecho de las zonas urbanas. Hasta entonces, el desagüe de la ciudad se efectuaba a través de imperfectas atarjeas y conductos desaguadores que componían el sistema de caños de cajas con pendientes mal calculadas, con capacidad insuficiente y que eran muy difíciles y costosas de mantener sin azolverse. Este sistema conducía las aguas por el canal de la Merced hacia el lago de Texcoco, donde no tenían otra salida mas que la evaporación natural.

Los problemas de salud que ocasionaban las inundaciones eran ya demasiado graves, por lo que en 1857 la Secretaría de Fomento convocó a un concurso para realizar un proyecto que resolviera el problema, resultando ganador el ingeniero Francisco de Garay. La propuesta consistía en la apertura de un canal que empezaría en la Ciudad de México, en San Lázaro, y se conectaría a un túnel con un gasto de $33 \text{ m}^3/\text{s}$, desembocando en el arroyo de Ametlac, confluente del Tequixquiac, al norte de Zumpango, Estado de México.

Después de que las abundantes lluvias de 1865 inundaran la ciudad, las autoridades se preocuparon de nuevo, por lo que el ingeniero Miguel Iglesias fue comisionado para realizar las obras del desagüe. Él decidió que el túnel desembocaría en la barranca de Tequixquiac, es decir, por Acatlán, en lugar de Ametlac. Pronto comenzaron las obras y se obtuvieron avances significativos, pero las constantes revueltas militares y los distintos pronunciamientos seguían paralizando los trabajos, hasta que en 1869 se abandonan por completo.

Es hasta la presidencia de Porfirio Díaz cuando la Secretaría de Fomento se concretó de nuevo en dar salida a las aguas negras, por lo que en 1878 nombró como Director Interino de las Obras de Desagüe al ingeniero Luis Espinosa, quien al siguiente año presentó el proyecto completo y definitivo del desagüe del Valle, que fue aprobado por el presidente de la República.

El proyecto se compuso de tres partes: un canal, un túnel y un tajo de salida. El canal comenzaba al oriente de la ciudad, en la Garita de San Lázaro, pasaba por los lagos de Texcoco, San Cristóbal, Xaltocan y Zumpango y concluía en la entrada del túnel, en las cercanías del pueblo de Zumpango; su longitud total fue de 47,527 km. El túnel contaba con una longitud de 10,21 km y 24 lumbreras de 2 m de ancho; su sección transversal es de forma oval, y fue calculado para recibir un gasto de 16 m³/s. A la salida del túnel se encuentra el tajo de desemboque de 2500 m de longitud, que se une con el río Tequixquiac.



Imagen 4.4.10: Aspecto general del Gran Canal visto hacia aguas arriba, en el km 24,4, Estado de México 1950, Fuente: Archivo Histórico del Agua, México 2010.

Las obras comenzaron hasta 1885, cuando se nombró a Espinosa como titular de la Junta Directiva del Desagüe. En 1894 quedó concluido el Túnel de Tequixquiac, y a principios de 1900 se terminó el Gran Canal a cargo del Ingeniero Roberto Gayol; por lo que el 17 de marzo del mismo año, Porfirio Díaz inauguró oficialmente el Sistema de Desagüe del Valle.

En esta obra se requirieron cuantiosos recursos humanos y económicos, tanto federales como locales, que se caracterizaron por su modernización y por la utilización de las técnicas más avanzadas de la época. Sin embargo, su potencia y resistencia apenas eran adecuadas para las condiciones de la cuenca a principios del siglo XX. Para hacerlo operable, requería de fuertes gastos de mantenimiento y de constantes trabajos de reparación, mejoramiento y ampliación.



Imagen 4.4.11: Caja Colectora del Túnel de Tequixquiac, se observa el cuarto de maquinas y las compuertas, 1973; Fuente: Archivo Histórico del Agua, México 2010



Imagen 4.4.12: Túnel de Tequixquiac, Estado de México, 1886 – 1900; Fuente: Archivo Histórico del Agua, México 2010

En 1906 se comienza la construcción del acueducto que transportaría agua de los manantiales de Xochimilco a la ciudad. En Nativitas se cava el primer pozo de la ciudad, que alcanza los 9 m de profundidad.



Imagen 4.4.13: Casa de Bombas Nativitas, Xochimilco, Ciudad de México, Principios del S. XX; Fuente: Archivo Histórico del Agua, México 2010

A partir de 1930 los fenómenos sociales, como el acelerado crecimiento de la población, que llegaba a un millón de habitantes, la extracción de agua de los mantos freáticos, el asentamiento del terreno y el hundimiento diferencial, ocasionaron que la ciudad de México volviera a padecer de constantes inundaciones, que se hacían cada vez más frecuentes y más desastrosas, para entonces se extraía agua de alrededor de 350 pozos profundos.

En 1936 se perforaron los primeros 18 pozos profundos de entre, 100 y 200 m de profundidad, marcando el comienzo de la explotación intensiva del manto acuífero. Hacia estos años, la extracción creciente de agua de pozo, combinada con los métodos artificiales de drenado del valle, provocó que muchos manantiales naturales se secaran, que los lagos menguaran y que el agua del subsuelo perdiera presión, con la subsecuente consolidación de las formaciones de arcilla lacustre sobre las que se asienta la ciudad.

Todo el sistema de drenaje tuvo que ser reestructurado, se buscaron diversas soluciones, una de ellas consistió en aliviar el gasto que soportaba el túnel de Tequixquiac, mediante la construcción de un segundo túnel, cuya construcción comenzó en 1937.

Este Nuevo Túnel de Tequixquiac desemboca en la Barranca de Acatlán, tal como lo había sugerido Francisco de Garay en 1856, tiene una longitud de 11,2 km, es de sección circular y permite un gasto máximo de $60 \text{ m}^3/\text{s}$; se dotó con 10 lumbreras y con pozos de ventilación a cada 200 m. Su construcción contó con innumerables contratiempos, desde la falta de presupuesto, la selección de materiales inadecuados, el cambio de instituciones encargadas de su construcción, hasta la urgencia por entregar las obras; por lo que fue hasta 1954 cuando se concluye y lo inaugura el presidente Adolfo Ruiz Cortines.



Imagen 4.4.14: Ademe colocado en la zona agrietada del Nuevo Túnel de Tequixquiac, Estado de México 1951; Fuente: Archivo Histórico del Agua, México 2010.

Desde 1930 se emprendió la Prolongación Sur del Gran Canal, conocida como Canal de Miramontes; también se llevaron a cabo trabajos para desazolvar, ampliación, obras de refuerzo y de elevación de sus bordos. Se repararon y diseñaron nuevas redes de atarjeas del servicio de alcantarillado, y se construyeron colectores para desaguar diversas colonias, así como cárcamos y plantas de bombeo, para descargar todos los colectores hacia el canal, con una capacidad de $60 \text{ m}^3/\text{s}$. Con todo esto, se logró que el Gran Canal tuviera un gasto de $175 \text{ m}^3/\text{s}$, lo que representa un enorme caudal.



Imagen 4.4.15: Parte final del Gran Canal donde se divide en dos, el canal de la izquierda llega al Túnel Nuevo de Tequixquiac y el derecho al viejo Tequixquiac, Estado de México 1965; Fuente: Archivo Histórico del Agua, México 2010.

En la década de los 50's, la cantidad de pozos de los que se extraía agua llegaban a 700, la ciudad vuelve a experimentar graves inundaciones. En 1951, se inaugura el Sistema Lerma, conduciendo a través de sus 70 km las aguas del río Lerma a través de pozos profundos ubicados en el Estado de México, entrando a la Ciudad y almacenándose y distribuyéndose desde un depósito en la segunda sección de Chapultepec conocido como el Cárcamo. Actualmente se continúa obteniendo agua de este sistema para la ciudad.

Para 1961 comenzó la construcción del Interceptor Poniente, y quedó terminado en nueve meses. Su función es la de auxiliar al Gran Canal y a la red de colectores, conduciendo un caudal de 25 m³/s a través de túneles de 15 km de longitud y de un canal revestido a cielo abierto, adaptando el cauce del río Hondo cerca de su cruce con la carretera a Querétaro, donde desemboca el Interceptor, hasta el Vaso de Cristo. Con este conducto se evitó que todos los torrentes del poniente de la ciudad que bajaban de los lomeríos descargaran en la ciudad sin ningún control.

Otra de las soluciones, fue la Desviación Combinada, que es un conjunto de estructuras hidráulicas construidas sobre los ríos de la vertiente oriental de la Sierra de las Cruces para regularizar las aguas, desviando sus cursos al norte de la Ciudad de México hasta llegar al Lago de Texcoco. Algunos de los ríos afectados fueron: Mixcoac, Tacubaya, San Joaquín, Tlalnepantla y San Javier. Una de estas obras se realizó en 1962 en el kilómetro 9,5 del Gran Canal para la descarga del río de los Remedios; se le conoce con el nombre de Puente-canal.

Entre 1963 y 1964 el Interceptor fue prolongado 32,3 km y se aumentó su capacidad a 80 m³/s, llevando las aguas hacia el río Cuautitlán, la Laguna de Zumpango y el Tajo de Nochistongo.

Inevitablemente la ciudad de México seguía hundiéndose, haciendo inoperable el sistema de drenaje, entonces se pensó que la mejor solución era construir un desagüe lo suficientemente seguro para que, por más que se hundiera la ciudad, aquél jamás fuera afectado. Bajo el nombre de Drenaje Profundo, el plan definitivo de esta gigantesca obra fue aprobado e iniciado en 1967 y finalizado en 1975.

Los detalles acerca del Drenaje Profundo se trataran más adelante en el apartado de Sistemas de Desagüe y Tratamiento de Aguas.

A lo largo de la historia del drenaje puede observarse cómo en cada período la importancia de las obras cambia de escala en forma paralela al crecimiento de la población y la ciudad. Aún no ha terminado la tarea, por lo que las obras siguen en aumento, adaptando las instalaciones del drenaje hacia donde crecen las áreas pobladas.

4.4.2 Metropolización de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM)

Zona Metropolitana: "...la extensión territorial que incluye a la unidad político – administrativa contiene la ciudad central y las unidades político – administrativas contiguas a ésta que tienen características urbanas, tales como sitios de trabajo o lugares de residencia de trabajadores dedicados a actividades no agrícolas y que mantienen una interrelación socioeconómica directa, constante e intensa con la ciudad central y viceversa." (Unikel, 1978)

En la ciudad de México el proceso de metropolización comenzó en los años 40 en los que se tomaba como ciudad central a las delegaciones Benito Juárez, Cuahutémoc, Miguel Hidalgo, Venustiano Carranza, denominando el territorio restante como delimitación del Distrito Federal, para los años 50 se produjo la primera expansión espacial dentro de los límites del mismo.

A partir de 1970 cuando la zona metropolitana rebasó los límites de Distrito Federal hacia el Estado de México se comprende por medio de contornos (Unikel, 1978; Negrete y Salazar, 1986; Delgado, 1990; Sobrino, 1995) según el documento *"Delimitación de las zonas metropolitanas de México 2005"*; donde en el primer contorno de la ciudad se integran las delegaciones Álvaro Obregón, Azcapotzalco, Coyoacán, Cuajimalpa de Morelos, Gustavo A. Madero, Iztacalco e Iztapalapa (anteriormente área de conservación ecológica), Naucalpan de Juárez y Nezahualcóyotl.

En el segundo contorno se comprenden las delegaciones Tláhuac, Xochimilco, Tlalpan y La Magdalena Contreras (anteriormente áreas de conservación ecológica), y los municipios Huixquilucan, Atizapán de Zaragoza, Tlalnepantla de Baz, Tultitlán, Coacalco de Berriozábal, La Paz y Ecatepec.

En el tercer contorno la delegación de Milpa Alta (anteriormente área de conservación ecológica), y los municipios Atenco, Chalco, Chicoloapan, Chimalhuacán, Cuautitlán Izcalli, Cuatitlán, Ixtapaluca, Jaltenco, Juchitepec, Tecamac, Tenango de Aire, Texcoco, Tultepec y Tepetlixpa.

Para el cuarto y quinto contorno se toma en cuenta a los municipios Acolman, Amecameca, Apaxco, Atlautla, Axapusco, Ayapango, Chiautla, Chiconcuac, Cocotitlán, Coyotepec, Ecatingo, Huehuetoca, Hueypoxtlá, Isidro Fabela, Jilotzingo, Melchor Ocampo, Nextlalpan, Nicolás Romero, Nopaltepec, Otumba, Ozumba, Papalotla, San Martín de las Pirámides, Temamatla, Temascalapa, Teoloyucan, Teotihuacan, Tepetlaoxtoc, Tepoztlán, Tequixquiac, Tezoyuca, Tlalmanalco, Villa del Carbón y Zumpango.

Para 2005 la Ciudad de México y Zona Metropolitana ya cuentan un total de 76 delegaciones y municipios, de los cuales 52 son centrales, dentro de ellos se encuentran las delegaciones del Distrito Federal, algunos factores importantes para que los municipios fueran integrados a la ZMVM son por su planificación y política urbana, por el tamaño de la población, distancia, integración funcional o por su conurbación física, en este mismo año su territorio era de 7,854 km² ello representa el 0,1% del territorio total del país.

4.4.3 Sistemas de drenaje y tratamiento de agua



Imagen 4.4.16: “Mapa Interactivo del Funcionamiento del Drenaje en la Ciudad de México”; Fuente: Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), México, 2010.

El Drenaje Profundo está integrado actualmente por un Emisor Central y diez interceptores con una longitud total de 181 km. El Emisor Central componente principal del Drenaje Profundo tiene una longitud de 50 kilómetros y 6,5 metros de diámetro su capacidad es de 220 m³/s. Su trazo inicia en Cuauhtémoc, en la delegación Gustavo A. Madero y concluye en el Valle del Mezquital en el Estado de Hidalgo.

El Interceptor Oriente tiene una longitud de 28 kilómetros, se construyó para aliviar el Gran Canal tiene una capacidad de 85 m³/s; El Interceptor Central tiene una longitud de 22,28 km, tiene una capacidad de 90 m³/s. Ambos confluyen en el Emisor Central, el túnel descarga en el Río El Salto, afluente del Tula, y continúa hasta el Distrito de Riego 03, del Valle del Mezquital, Estado de Hidalgo.

Obras de Drenaje	Longitud km	Longitud en operación km	Diámetro m	Capacidad Instalada m ³ /seg	Profundidad min - máx (m)
Emisor Central	50	50	6.5	220	48 - 217
Interceptor Central	22.28	16.1	5	90	22 - 41
Interceptor Centro Centro	3.7	3.7	5	90	25 - 26
Interceptor Oriente	28	28	5	85	37 - 55
Interceptor Centro Oriente	16	16	4	40	22 - 51
Inteceptor Poniente	16.2	16.2	4	25	20 - 40
Interceptor Iztapalapa	5.5	5.5	3.1	20	11 - 16
Interceptor Obrero Mundial	0.8	0.8	3.2	20	10 - 16
Interceptor Oriente Sur	13.8	13.8	5	85	20 - 23
Interceptor Oriente Oriente	7.3	3.4	5	40	20
Canal Nacional Chalco	16.3	11.64	3.1	20	15 - 17
Gran Canal	1.01	1.01	3.1	90	-
TOTAL	181				

Tabla 4.4.1: “Relación de obras del Drenaje Profundo en el Valle de México”; Fuente: Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), México 2010.

Entre el Interceptor Central y el Interceptor Oriente se encuentra el Interceptor Centro - Centro, éste tiene una longitud de 3,7 km con una tubería de 5 m de diámetro la longitud en operación es total, y tiene una capacidad instalada de 90 m³/s.

El Interceptor Poniente que comienza en la Avenida Insurgentes Sur a la altura de Ciudad Universitaria y termina en la Planta de Bombeo Río Hondo tiene una longitud de 16,2 km utilizados en su totalidad, con 4 m de diámetro y una capacidad de 25 m³/s.

El Interceptor Oriente - Sur se une al Interceptor Oriente – Oriente para confluir hacia el Gran Canal, entre ambos tienen una longitud de 21,1 km tienen una capacidad instalada en conjunto de 125 m³/s, el Interceptor Oriente – Oriente de ambos es el que no tiene un aprovechamiento total de su infraestructura.

El Interceptor Iztapalapa se conecta por medio con el Río Churubusco con una longitud de 5,5 km todos en uso, con un diámetro de 3,1 metros y una capacidad instalada de 20 m³/s; el Interceptor Obrero Mundial se conecta al Interceptor Central con una longitud de 0,8 km y un diámetro de 3,2 metros, con una capacidad instalada de 20 m³/s.

Actualmente el Gran Canal del Desagüe drena la parte baja de la ciudad con el auxilio de doce plantas de bombeo situadas a lo largo de su recorrido, y descarga sus aguas, a través de los dos túneles de Tequixquiac, hacia la cuenca del río Tula, en donde se aprovechan para el riego agrícola. Recibe además aguas del río de los Remedios y del Lago de Texcoco; este último funciona a su vez como estructura reguladora de las aportaciones de los ríos del oriente y del río Churubusco, el cual constituye la estructura más importante para drenar el sur y el oriente del Distrito Federal.

De acuerdo a la siguiente imagen proporcionada por la CONAGUA sobre la capacidad de desalojo de aguas residuales en el Valle de México, se puede apreciar que la capacidad del Gran Canal de 1975 al 2007 disminuyó una cuarta parte y para el año 2008 subió dos cuartos alcanzando 45 m³/s.

En el Emisor Poniente tiene un comportamiento estable desde 1975 hasta ahora con una capacidad constante de 30 m³/s. Y por último el Emisor Central es el que presenta una disminución de 1975 a 2007 de 50 m³/s conservando su capacidad última de 120 m³/s para el 2008.



Gráfica 4.4.1: “Capacidad de desalojo de aguas residuales en el Valle de México”; Fuente: Comisión Nacional de Agua (CONAGUA), México, 2010.

En cuanto a plantas potabilizadoras, la Región cuenta con 40 plantas en operación, las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales son:

Entidad Federativa	Nº Total de Plantas	Capacidad Instalada	Caudal Tratado m³/seg	Población beneficiada
Distrito Federal	33	3.46	2.23	602,370
Hidalgo	2	0.20	0.12	32,400.0
México	5	21.86	16.74	4,520,610.0
TOTAL	40	25.52	19.09	5,155,380

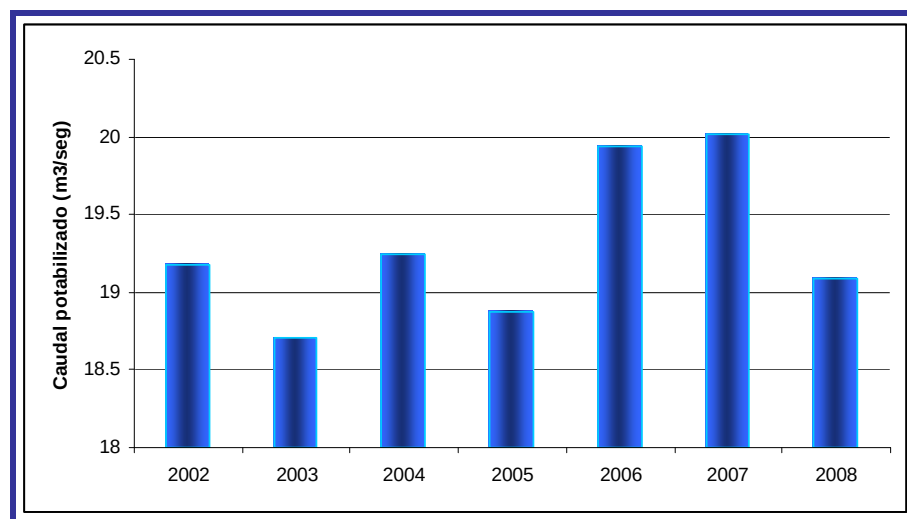
Tabla 4.4.2: “Información Cuenca del Valle de México”; Fuente: Consejo de Cuenca del Valle de México; México 2010.

A su vez en la tabla anterior podemos observar la capacidad instalada de cada Entidad Federativa y el caudal tratado en el año 2008, se puede ver que en el caso del Distrito Federal se trato el 64% del agua que es capaz de tratar, en el Estado de Hidalgo solo se trato el 60% de la capacidad, y en el Estado de México se trato el 76% de su capacidad, beneficiando a un total de población de 5,155,380 de habitantes.

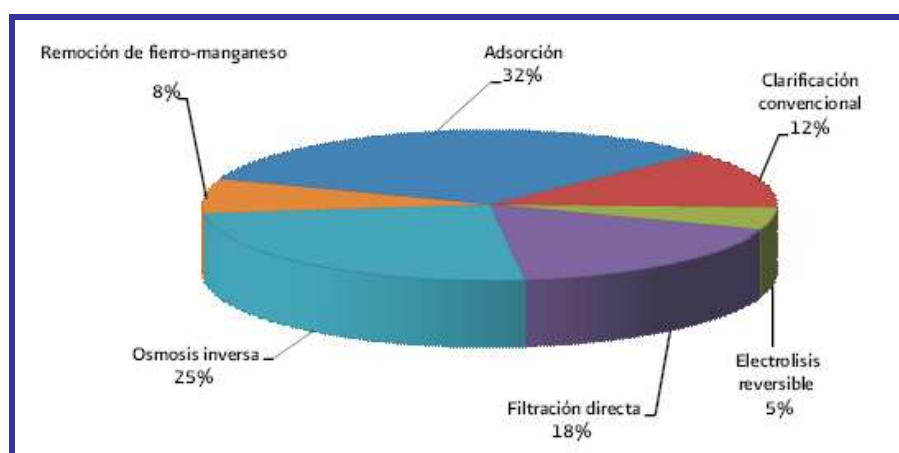
El total de capacidad instalada entre los tres estados es de 25,51 m³/s, de éstos se trato el 75% que no es un porcentaje bajo, pero si sumamos todo el potencial del sistema que está siendo desperdiciado por la

razón que sea nos da un total de $6,42 \text{ m}^3/\text{s}$ que pudieran ser tratados y reutilizados de muy diversas maneras.

En la siguiente tabla se presenta el caudal potabilizado de de agua residual en la región, el promedio de agua potabilizado es de $19 \text{ m}^3/\text{s}$, aunque para el año 2008 se presentó una reducción de 6%.



Gráfica 4.4.2: Caudal de agua potabilizada “*Estadísticas de agua en México*”; Fuente: Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, CONAGUA); México D.F. 2010



Gráfica 4.4.3: Procesos de potabilización en la región “*Estadísticas de agua en México*”; Fuente: Secretaria Nacional de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, CONAGUA), México D.F. 2010

Los procesos de potabilización utilizados en la región se muestran en la gráfica superior, se tiene en primer lugar la potabilización por adsorción con 32%, en segundo lugar por Osmosis Inversa con 25%, la Filtración directa con 18%, Clarificación Convencional con 12%, y por último la Remoción de Fierro – Manganeseo con 8% y la Electrolisis reversible con 5%.

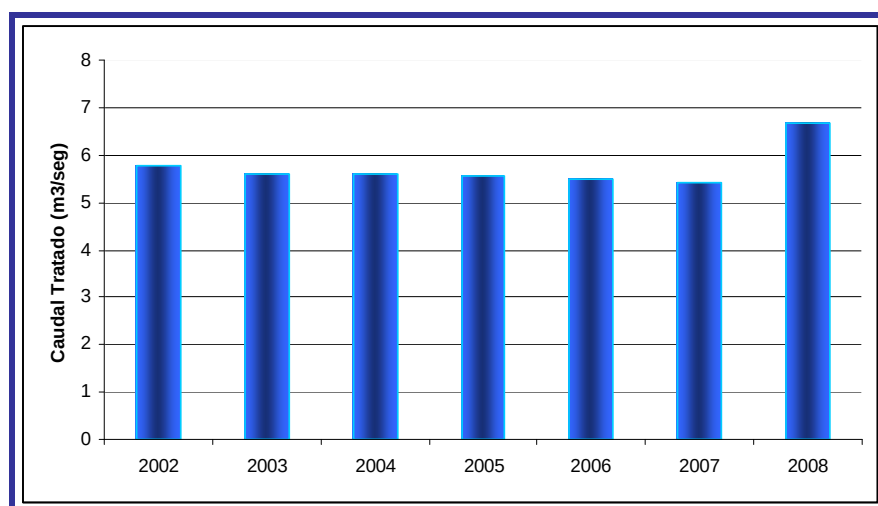
Las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, en la región se tienen 104 plantas en operación, el número total de plantas es de 132, por lo tanto desde ahí existe un déficit de tratamiento importante. Los casos más graves con respecto a esto son el Estado de Hidalgo y México ya que el

primero de 11 plantas en operación sólo tiene 5 en operación y el segundo de 85 plantas sólo 69 las tiene en funcionamiento.

Entidad Federativa	Nº Total de Plantas	Nº Total de Pantas	Capacidad Instalada	Caudal Tratado m ³ /seg
Distrito Federal	28	26	6.76	3.40
Hidalgo	11	5	0.29	0.20
México	85	69	4.29	3.02
Tlaxcala	8	4	0.10	0.04
TOTAL	132	104	11.43	6.66

Tabla 4.4.3: "Estadísticas de agua en México"; Fuente: Secretaria Nacional de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, CONAGUA), México D.F. 2010

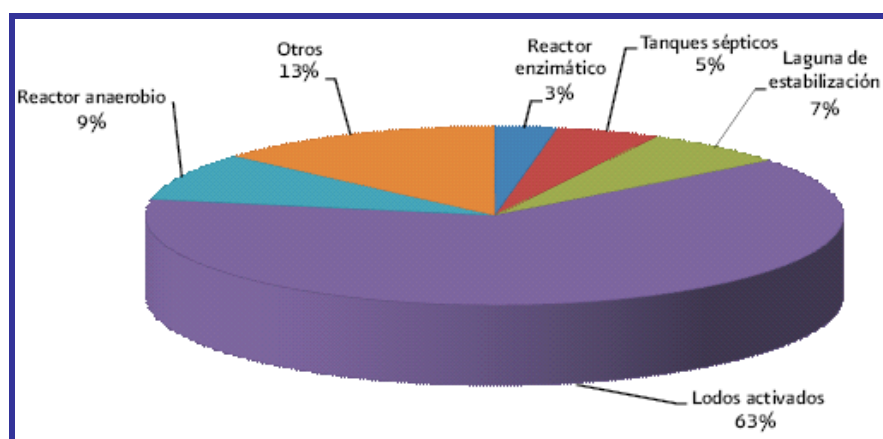
Además si se compara la capacidad instalada con el caudal tratado encontramos más pérdidas, por ejemplo en el Distrito Federal se tiene una capacidad de 6,76 m³/s y en el 2008 sólo se trataron 3,40 m³/s, en Hidalgo de 0,29 m³/s de capacidad se trataron 0,20 m³/s, en el Estado de México de una capacidad de 4,29 m³/s se trataron 3,02 m³/s y en Tlaxcala de una capacidad muy baja de 0,10 m³/s tan sólo se trataron 0,04 m³/s. En total de una capacidad instalada en la región de 11,43 m³/s se trataron sólo 6,66 m³/s. El caudal correspondiente a plantas de tratamiento de aguas residuales año con año se presenta en la siguiente tabla.



Gráfica 4.4.4: Caudal de agua residual tratada anual "Estadísticas de agua en México"; Fuente: Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, CONAGUA), México D.F. 2010

En ella se puede ver que la tendencia era a reducir el caudal de tratamiento pero en el último año como lo mencionamos anteriormente el caudal aumentó considerablemente.

Los procesos de tratamiento de las aguas residuales más utilizados son por Lodos Activos en un 63%, Lagunas de estabilización en un 7%, Tanques sépticos 5% y Reactor anaeróbico 9%, Reactor enzimático en 3% y el 13% restante se divide en procesos como espumación, filtración, adsorción, desinfección, aereación, reactor anaeróbico, y biodigestión entre otros.



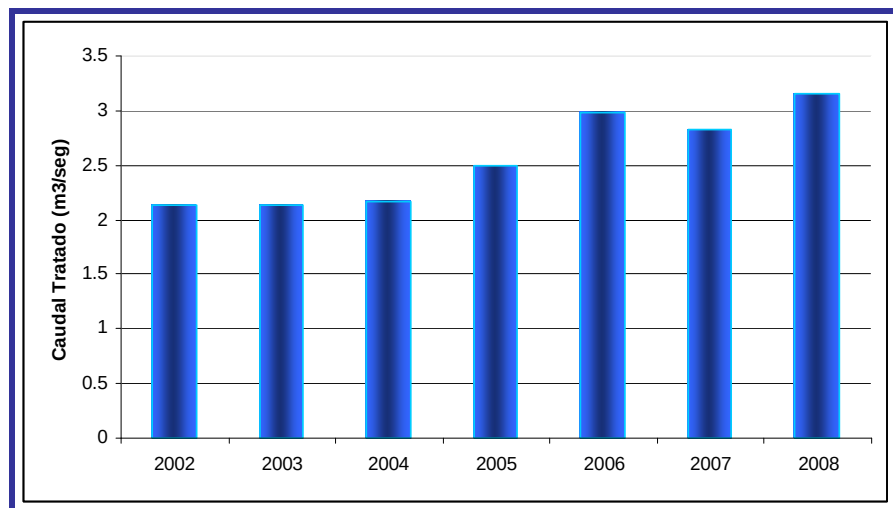
Gráfica 4.4.5: Procesos de tratamiento de aguas residuales “Estadísticas de agua en México”; Fuente: Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, CONAGUA), México D.F. 2010.

Por otro lado se encuentran las plantas de tratamiento de aguas residuales industriales, en ellas se cuenta con 343 plantas de ellas sólo 334 se encuentran en funcionamiento y en el año 2008 la capacidad instalada en total del sistema tenía un potencial de 4,56 m³/s de los cuales sólo se trataron 3,16 m³/s, esto significa 64% del potencial, debido a que en el Estado de Hidalgo a pesar de tener casi todas sus plantas de tratamiento, solo se trato el 61,6% y en el Estado de México de su potencial tan sólo se trato el 68% tal y como lo muestra la tabla siguiente.

Entidad Federativa	Nº Total de Plantas	Nº Total de Pantas	Capacidad Instalada	Caudal Tratado m ³ /seg
Distrito Federal	141	140	0.447	0.441
Hidalgo	41	39	1.651	1.018
México	154	150	2.444	1.678
Tlaxcala	7	5	0.024	0.023
TOTAL	343	334	4.5658	3.160

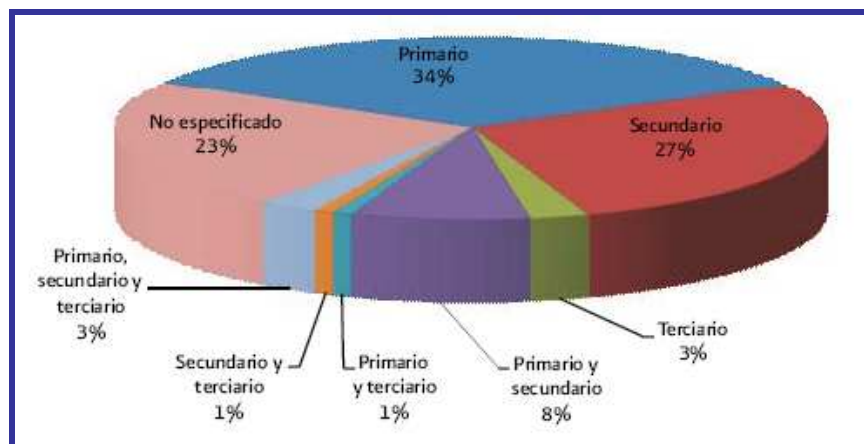
Tabla 4.4.4: “Estadísticas de agua en México”; Fuente: Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, CONAGUA), México D.F. 2010.

Si miramos la siguiente gráfica que muestra el comportamiento del caudal tratado año con año podemos ver con mayor claridad una tendencia creciente al tratamiento de los residuos industriales, y se puede observar como con respecto al año 2006 el año 2008 presenta un aumento del 6%.



Gráfica 4.4.6: Caudal de agua residual industrial tratada anual “*Estadísticas de agua en México*” Fuente: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, CONAGUA), México D.F. 2010

Los niveles de tratamiento utilizados para los residuos industriales se muestran en la siguiente gráfica y son los siguientes; el tratamiento primario en un 34%, el secundario en un 27%, el 23% no especificado, un 8% de primario/secundario, después tratamiento terciario con 3%, al igual que el tratamiento primario/secundario/terciario y por último el tratamiento primario/terciario y el secundario/terciario con 1%.



Gráfica 4.4.7: Niveles de tratamiento de aguas residuales industriales “*Estadísticas de agua en México*”; Fuente: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, CONAGUA), México D.F. 2010

4.4.4 Hundimiento diferencial de la Ciudad de México

La imagen siguiente muestra las zonas en las el Reglamento de Construcción de la Ciudad de México divide el territorio de la ciudad para efectos de cimentaciones de edificios, en el que se define como Zona I o de Lomas, en esta zona el reglamento indica que es frecuente la presencia de oquedades en rocas, de cavernas y túneles excavados en suelos para explotar minas de arena y de rellenos no controlados. Está formadas por rocas o suelos generalmente firmes que fueron depositados fuera del

ambiente lacustre, pero en los que pueden existir, superficialmente o intercalados, depósitos arenosos en estado suelto o cohesivos relativamente blandos.

La Zona II o de Transición, en la que los depósitos profundos se encuentran a 20 m de profundidad, o menos, y que está constituida predominantemente por estratos arenosos y limo arenosos intercalados con capas de arcilla lacustre; el espesor de éstas es variable entre decenas de centímetros y pocos metros.

La Zona III o Lacustre integrada por potentes depósitos de arcilla altamente compresibles, separados por capas arenosas con contenido diverso de limo o arcilla. Estas capas arenosas son generalmente medianamente compactas a muy compactas y de espesor variable de centímetros a varios metros. Los depósitos lacustres suelen estar cubiertos superficialmente por suelos aluviales, materiales desecados y rellenos artificiales; el espesor de este conjunto puede ser superior a 50 m.

Estas son importantes ya que ayudan a definir las zonas inundables de la ciudad y que además representan la zona con mayor movimiento sísmico por la composición tan frágil del subsuelo, la posible zona antigua de crecimiento del lago y la zona montañosa por la que bajan los ríos que alimentaban el lago.

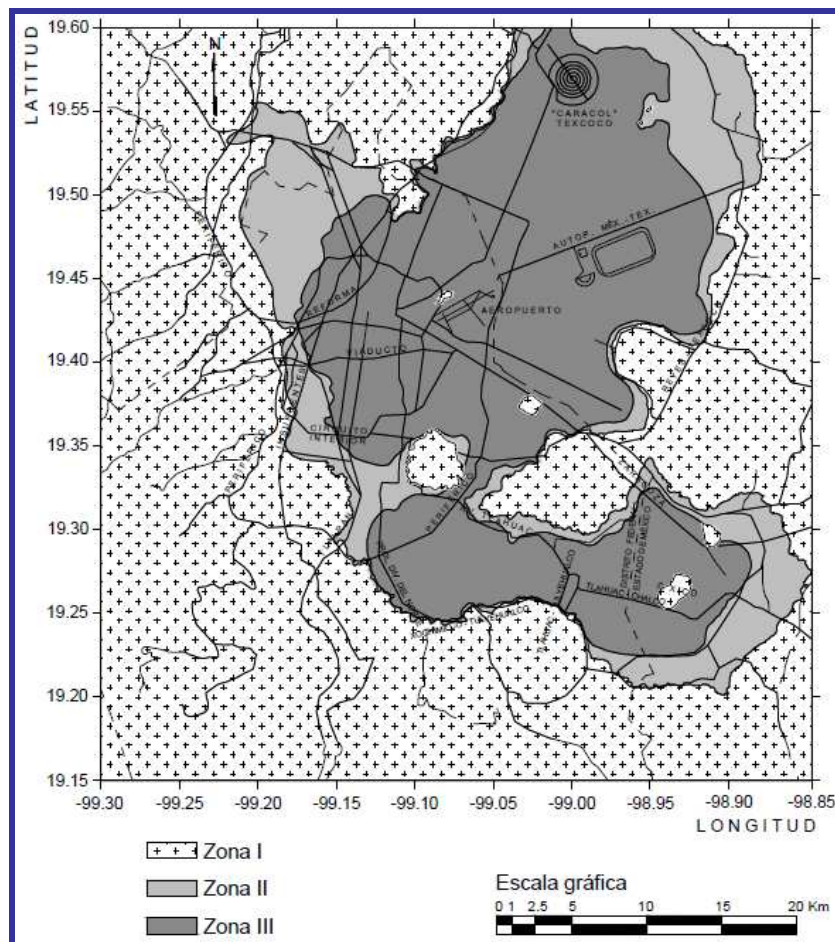


Imagen 4.4.17: "Zonificación Geotécnica de la Ciudad de México"; Fuente: Normas técnicas complementarias para diseño y construcción de cimentaciones; México, 2010.

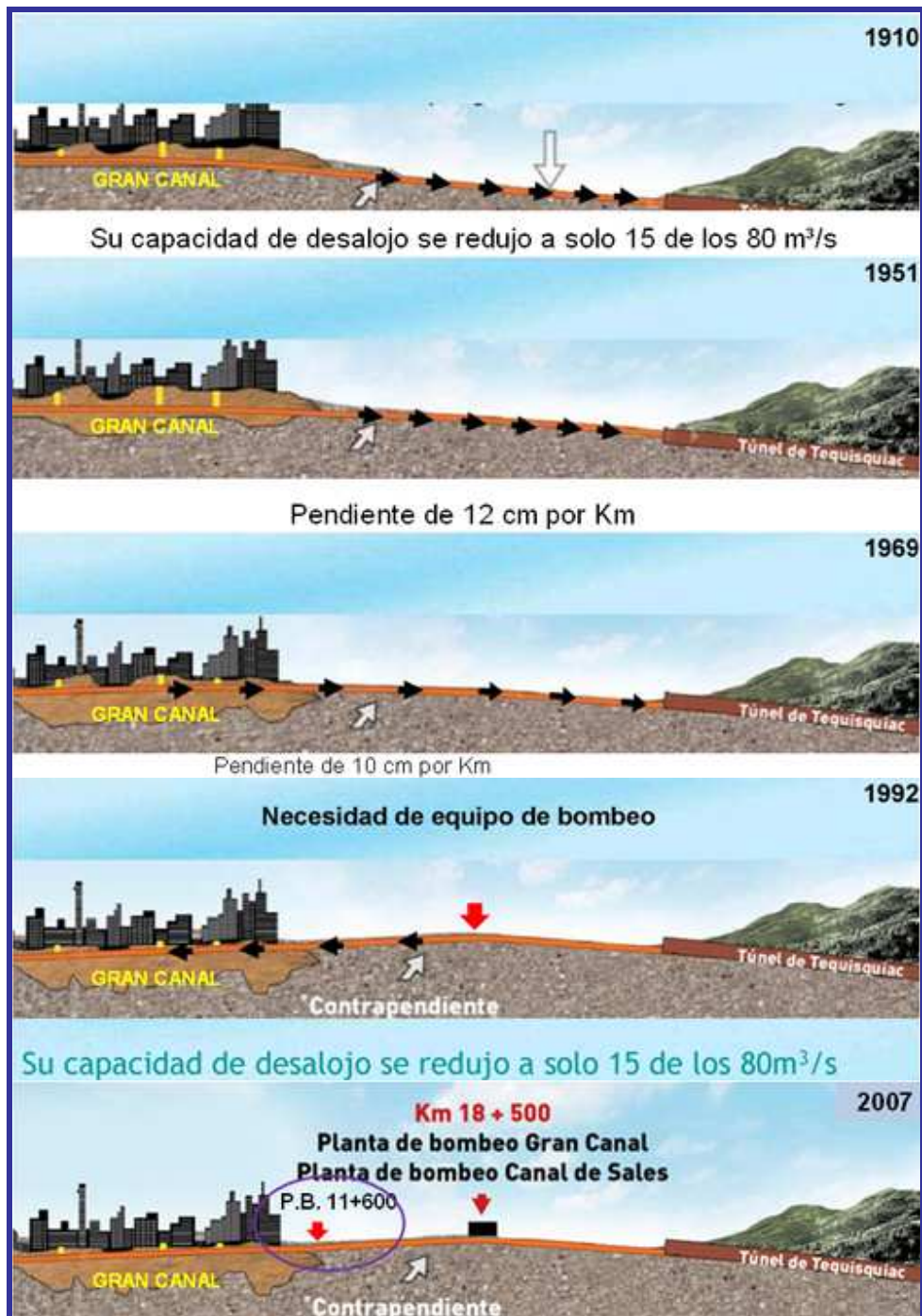
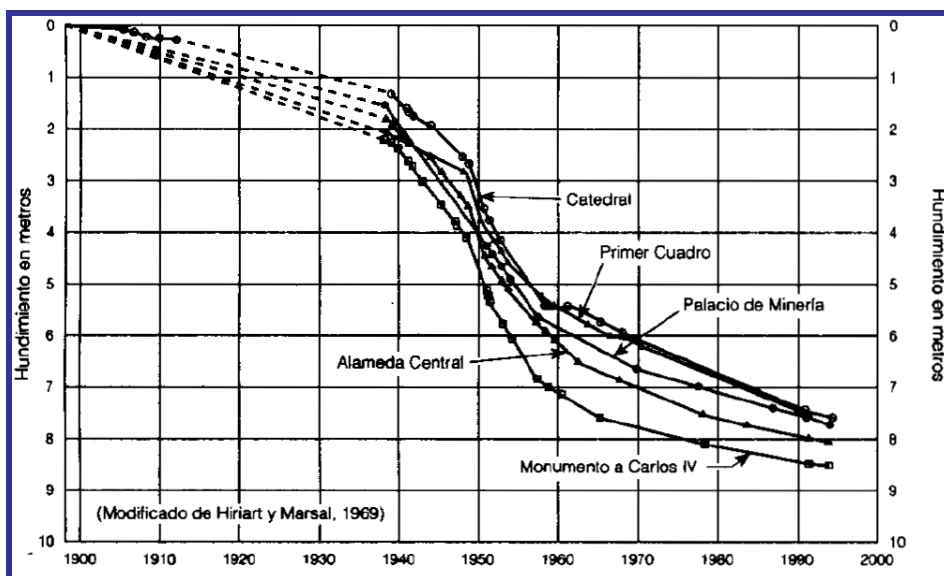


Imagen 4.4.18: "Hundimiento de la Ciudad de México"; Fuente: Comisión Nacional del Agua (CONAGUA); México, 2010.

El hundimiento de la Ciudad de México ha sido desde las primeras extracciones de agua subterránea un tema de estudio por los encargados de la toma de decisiones con respecto a temas de abastecimiento y desalojo del caudal hídrico de la ciudad, aunque desde siempre no se le ha dado la importancia que requiere.

En el caso de las imágenes presentadas en la pagina anterior se puede observar como con el transcurrir de los años el hundimiento de la ciudad a provocado que el caudal de diseño del Gran Canal que en un inicio fuera de 80 m³/s se disminuyera a actualmente 15 m³/s.

Históricamente se puede dividir en tres etapas, la primera de 1898 a 1937, donde el hundimiento es casi lineal de 4 cm/año. La segunda etapa de 1937 a 1947 donde también tiene una tendencia casi lineal de 14 cm/año y una tercera etapa de 1947 a 1996 en la que se registran velocidades de hundimiento de 40 cm/año o mayores al inicio de la etapa y con tendencia a disminuir progresivamente hasta llegar al final de la etapa con valores de 10 cm/año, éstos periodos fueron determinados por efectos del estudio presentado en el año 1998 por el director general de construcción y operación hidráulica del D.F. Las tres etapas se muestran en la gráfica siguiente, donde muestra el hundimiento de varios monumentos históricos.



Gráfica 4.4.8: “ El hundimiento del terreno en la Ciudad de México y sus implicaciones en el sistema de drenaje”; Fuente: Lesser Illanes, J.M.; Cortéz Pérez, M.Á; México, 1998.

Fue en el año de 1936 ya mencionado anteriormente como el año en que se comienza la explotación intensiva del acuífero con pozos profundos.

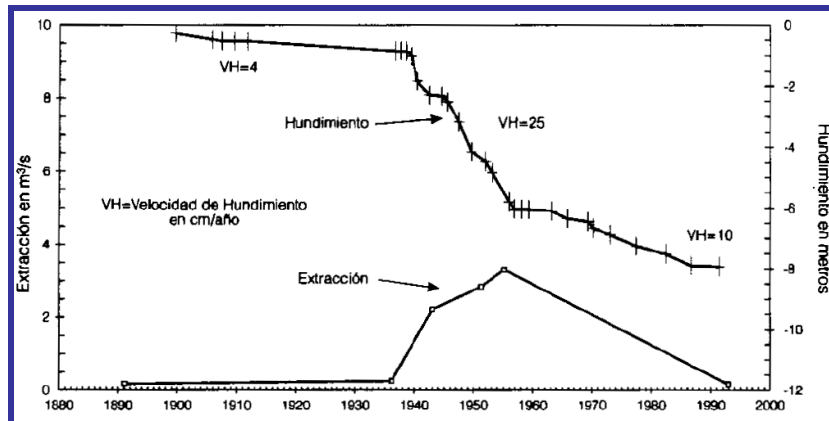
El ingeniero Roberto Gayol quien estuvo a cargo de la construcción del Gran Canal quien realizó un levantamiento topográfico a finales del siglo XIX del cuál se basan los estudios posteriores sobre el hundimiento.

En el año 1945 la Comisión Impulsora y Coordinadora de la Investigación Científica inició los estudios del subsuelo de la Ciudad de México, el Doctor Nabor Carrillo era en ese entonces jefe de la sección de Mecánica de Suelos y los investigadores eran los ingenieros Fernando Hiriart y Raúl Sandoval; por otra parte la empresa Ingenieros Civiles Asociados con los profesores Raúl J. Marsal y Marcos Mazari montaron el Laboratorio ICA para realizar estudios entre los años 1947 a 1952.

El Doctor Nabor Carrillo en el año 1947 demostró la relación directa que tenía el hundimiento de la ciudad con la extracción de agua del acuífero, calculada en 7,2 m³/s; gracias a sus estudios se clausuraron muchos pozos de extracción del centro en la década de los sesentas, el hundimiento más drástico se dio en 1951 cuando la ciudad se hundió en promedio 46 cm/año.

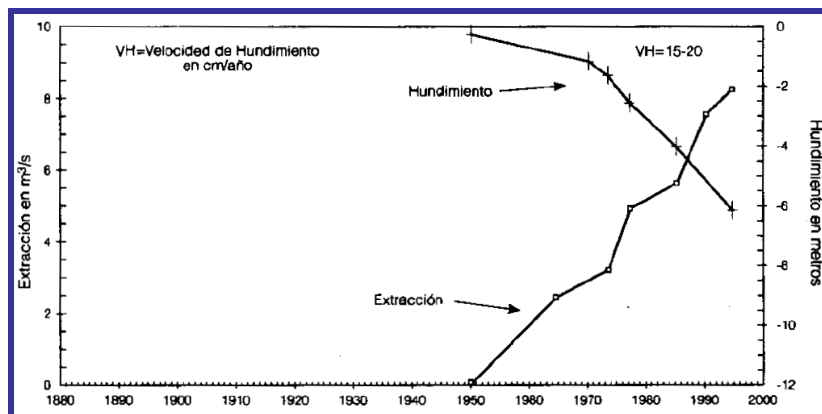
La gráfica siguiente muestra una comparativa entre la extracción de agua subterránea y el hundimiento en el Centro Histórico, en ella podemos ver que la extracción de agua subterránea tuvo su mayor nivel entre los años cuarenta y cincuenta, es por esto que se observa la aceleración en el hundimiento de la Ciudad en éste estudio se puede ver que la velocidad de hundimiento en esas décadas fue de 25 cm/año.

En la gráfica se puede apreciar lo antes comentado acerca de la extracción de agua en el Centro Histórico donde expresa una reducción considerable a partir de los sesentas a una velocidad de hundimiento de 10 cm/año aproximadamente.



Gráfica 4.4.9: "El hundimiento del terreno en la Ciudad de México y sus implicaciones en el sistema de drenaje"; Fuente: Lesser Illanes, J.M.; Cortéz Pérez, M.Á.; México, 1998.

Debido a que la población continuaba en crecimiento se inauguraron pozos en Chiconautla en 1956 ubicados al norte de la ciudad y entre 1964 y 1975 se inauguraron pozos al sur de la ciudad en las zonas de Xochimilco y Chalco, y como se aprecia en la gráfica siguiente la explotación de éstos pozos es creciente, esto afectando al hundimiento diferencial en la zona sur con una velocidad de hundimiento de entre 15 a 20 cm/año.



Gráfica 4.4.10: " El hundimiento del terreno en la Ciudad de México y sus implicaciones en el sistema de drenaje"; Fuente: Lesser Illanes, J.M.; Cortéz Pérez, M.Á.; México, 1998.

Actualmente la velocidad del hundimiento diferencial se mantiene en los niveles citados anteriormente, en el Centro Histórico de 10 cm/año y al sur de la Ciudad de México de entre 15 y 20 cm/año, lo que significa que no se ha acelerado a más centímetros por año el hundimiento de la Ciudad de México.

Por otro lado es importante mencionar que el hundimiento de la Ciudad de México en total durante el Siglo XX fue de 9 metros.

4.4.5 Inundaciones en la Ciudad de México

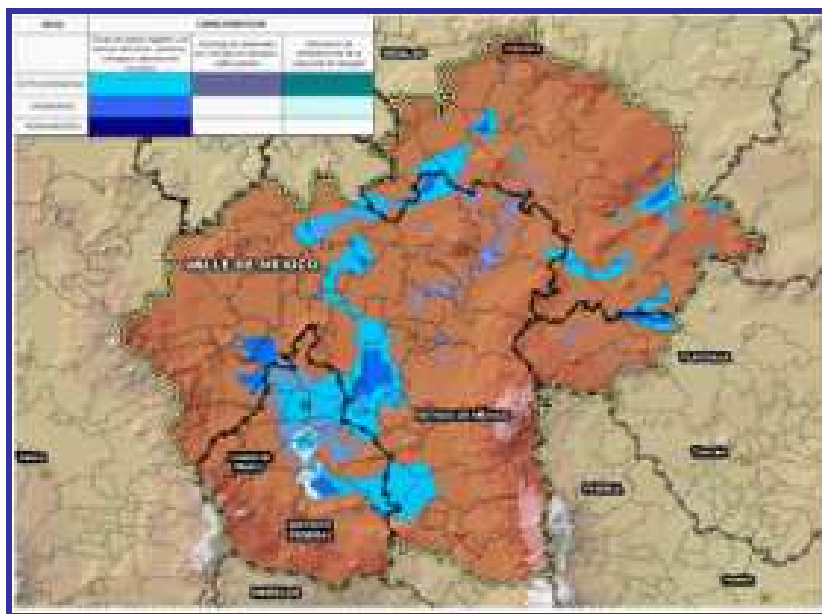


Imagen 4.4.19: “Información Cuenca del Valle de México”; Fuente: Consejo de Cuenca del Valle de México; México 2010.

De acuerdo a estudios realizados por la CONAGUA, las inundaciones se deben en grandes rasgos al desordenado crecimiento de la ZMVM, el cuál ha propiciado la ocupación y deterioro de los cauces y barrancas del Poniente de la Ciudad de México, así como la invasión de antiguas zonas lacustres.

Los eventos de inundaciones se dan en los meses de junio a septiembre que se habían mencionado anteriormente como los meses con mayores precipitaciones.

La imagen anterior tomada del consejo de la Cuenca del Valle de México nos muestra las zonas inundables, es interesante recalcar que gran parte de los asentamientos humanos de la Ciudad de México se encuentran dentro de la franja azul claro o lo que era anteriormente la zona lacustre, con lo que se puede notar que la naturaleza reclama el espacio que por naturalmente le corresponde, ya que la forma de las zonas inundables sigue la misma forma que el antiguo Lago de Texcoco.

Hacia la región de Tula los problemas que se presenta son de sequía en las temporadas en las que las inundaciones afectan a la Ciudad de México, esto debido a la humedad relativa la cual proviene del Golfo de México y a su vez las temperaturas que se dan en la región de Tula.

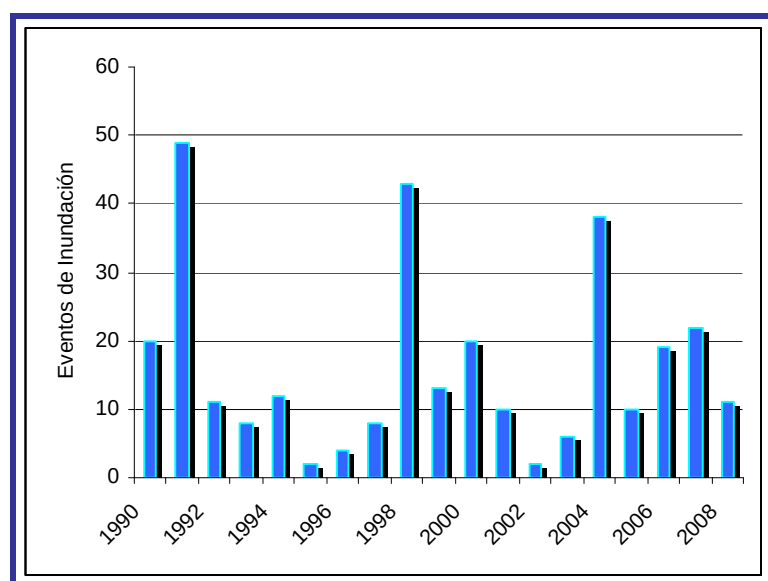


Tabla 4.4.11: “Estadísticas de agua en México”; Fuente: Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, CONAGUA), México D.F. 2010

En la gráfica anterior se pueden observar los eventos de inundaciones que se han dado desde el año 1990 hasta el año 2008; como se puede ver hay casi una periodicidad de entre 5 y 6 años entre años en los que se dan mayores eventos de inundaciones como es el caso del año 1991 en el que hubo 49 eventos y seis años más tarde en 1998 se dieron 43 eventos de inundaciones y en el 2004, cinco años más tarde se dieron 38 eventos, siguiendo ésta lógica podría ser que éste año 2010 o el 2011 sea otro año de bastantes eventos de inundación.

5. Balance hídrico del metabolismo urbano del agua en la Ciudad de México y Zona Metropolitana del Valle de México

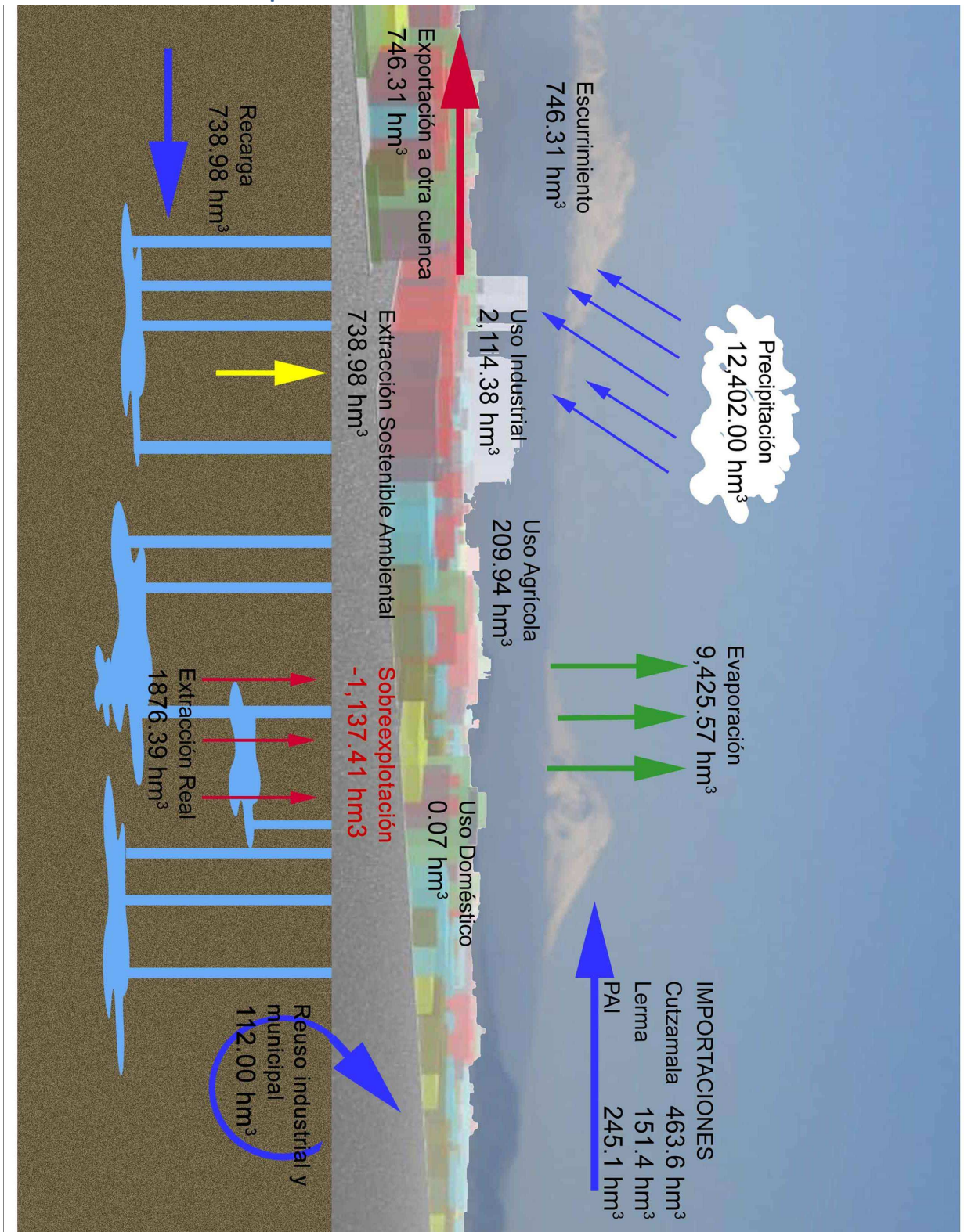


Imagen 5.1: Balance Hídrico; Fuente: Elaboración Propia en base a datos de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) Y Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). México 2009.



6. Análisis de las causas de Insostenibilidad de la Gestión del Agua en la Ciudad de México y ZMVM

Factores Ambientales

En los años cincuentas, en los que la Ciudad de México comenzó un crecimiento industrial importante, se olvidó de las tierras agrícolas que la rodeaban y que le proporcionaban alimento a la población sin grandes consumos de energía para transportarla. Por otro lado, se benefició a las industrias con suministro del recurso hídrico desde las fuentes naturales, éstas son devueltas al curso natural después de su uso, no contando con el adecuado tratamiento para su uso posterior o para devolverse al cauce natural; Éstas aguas contaminadas en parte son dirigidas hacia los cauces naturales, otro tanto se infiltra hacia los mantos acuíferos contaminando las aguas subterráneas de las que se extrae el recurso hídrico para uso doméstico y en parte se convierten en vapor contaminando la atmósfera de la ciudad.

A su vez el crecimiento de la población ha ocasionado que la extracción del recurso hídrico se haga a través de cada vez más pozos de fuentes subterráneas en el Valle de México, lo que provoca un desequilibrio importante en niveles freáticos; lo que ha resultado en contaminación de los acuíferos por la despresurización de las zonas arcillosas que se filtran hacia la zona lacustre. También se ha demostrado que el hundimiento de la ciudad ha ocurrido por la sobreexplotación del acuífero afectando los niveles freáticos, ya que se extrae más agua del subsuelo de la que se dispone de manera natural, por lo que la recarga natural del acuífero necesaria va siendo cada vez mayor, afectando las reservas naturales con las que debieran contar los acuíferos.

Y debido a que la extracción del recurso hídrico dentro del Valle de México ya no es suficiente se ha requerido del uso de energía exosomática por medio de tecnología que consume combustibles fósiles tanto para extraer como para transportar más recurso hídrico e importarlo hacia la Ciudad de México, las externalidades (costos ambientales) que generan los combustibles fósiles no son ni mucho menos baratos, ya que las instalaciones hidráulicas recorren grandes distancias para importar el recurso hídrico destruyendo ecosistemas naturales en su proceso de construcción y en su transporte provocan pérdidas por falta de mantenimiento de las instalaciones.

Una causa de insostenibilidad ambiental, social y económica es el abandono del campo, ya que a la población (generalmente agrícola) que habita a las afueras de la ciudad, cerca de el Sistema Cutzamala y el Sistema Lerma, se les priva del recurso hídrico necesario para el riego de sus tierras productoras, para la importación del mismo, provocando desecación de las tierras agrícolas, lo que impide que la gente pueda trabajar sus tierras adecuadamente, producir el suficiente alimento para subsistir así como para comercio, generando que deje de ser rentable el trabajar en el campo y forzando a los agricultores a dejar sus tierras para probar suerte en las megalópolis, arriesgando hasta su vida misma, sin facilidad para desarrollar un trabajo que les de lo suficiente para sus sustento ni mucho menos para conseguir un lugar digno donde vivir.

Otra causa de insostenibilidad que se presenta es la dificultad de distribución del recurso hídrico en algunas zonas de la ciudad de difícil acceso con infraestructura a causa de varios factores como la topografía, tipo de subsuelo, por lo que la distribución de agua potable se realiza por métodos rudimentarios e insalubres para suministrar el recurso hídrico como lo es el abastecimiento por camiones pipa, los cuales llegan a éstas zonas y por casa van llenando contenedores (llámense cubetas, tanques elevados, etc.) con agua para que de ahí sea consumida en casa, esto se lleva a cabo diario.

Factores Socio-económicos

Como se mencionaba anteriormente en esta investigación una de las causas de insostenibilidad más graves es el crecimiento desmesurado de la población dentro del territorio de la Ciudad de México y su Zona Metropolitana.

Esta presión demográfica afecta directamente sobre la gestión de los recursos de la ciudad y dentro de ellos el agua, ya que la mayoría de la gente en la ciudad, tanto de poder adquisitivo bajo como de poder adquisitivo alto, no cuentan con una educación sobre la importancia ambiental que representa el sistema de ríos, lagos y manantiales con el que cuenta la ciudad.

Las personas de poder adquisitivo bajo, que tienden a vivir en barrancas y cerca de ríos en la montaña, contaminan el sistema de escorrentía del Valle de México casi desde sus fuentes con residuos domésticos, éstos bajan a la ciudad y se integran en el drenaje donde producen problemas de mantenimiento de las redes de distribución y desagüe.

Las personas de poder adquisitivo alto, independientemente de tener educación, no tienen la consciencia ambiental necesaria para valorar los recursos de los que se benefician como lo es el agua; en su caso tienden a consumir mucha agua de uso doméstico tanto en el interior de sus casas como en las áreas exteriores.

Y en general la población tiende a contaminar las redes de distribución y desagüe arrojando residuos, esto debido a que no hay una cultura de gestión de residuos adecuada y no hay contenedores de basura en la calle donde la gente pueda en cualquier momento depositar sus residuos; dificultando el reciclaje y reutilización del recurso hídrico en la ciudad.

La población de la ciudad se encuentra completamente alienada de la relación hombre/naturaleza y del sistema de ciclos naturales, por el sistema económico que nos domina y que sus principios están basados en la acumulación de bienes y satisfactores, producidos con recursos “infinitos e ilimitados”, es por ello que no somos conscientes de la importancia que tiene el ciclo del agua en este caso en el Valle de México tanto para nosotros como para nuestro entorno.

En otro aspecto igualmente importante e insostenible se encuentra la urbanización acelerada del Valle de México, con ello se provocó que la Ciudad de México pensara en formas diversas de albergar a cada vez más población y evitar las inundaciones que desde los mismos inicios de la ciudad de Tenochtitlán aquejaban al Valle de México.

Lamentablemente se ha comprobado a lo largo de los años que las soluciones que se han implementado no han sido del todo acertadas, comenzando con el entubamiento de ríos y conectándolos a la red de desagüe de la ciudad con lo que se unen con aguas negras para finalmente dirigir las a las plantas de tratamiento al norte de la ciudad, con lo que dificulta su uso inmediato, una vez tratada se usa fuera del Valle de México.

Así como el construir sobre la zona lacustre del Valle de México aprovechándose de las épocas de sequía que presentaron hace ya bastantes años los lagos Zumpango, Xaltocan, Texcoco, Xochimilco y Chalco tampoco fue muy acertado, actualmente con zonas de vivienda y equipamiento público e infraestructura deficiente y con riesgos año con año de inundaciones, demostrando que la naturaleza reclama su espacio que por derecho natural le corresponde; Estas inundaciones se agravan por la pavimentación de la ciudad, principalmente en zonas de escorrentía natural, aumentando la velocidad a la que se transporta

el agua y en la zona lacustre se acumula y satura la red de desagüe por no tener un suelo donde pueda penetrar al subsuelo; Poniendo en riesgo tanto a personas, como sus casas y la infraestructura de la que ellos se benefician.

Cabe también mencionar que la Ciudad de México ha sufrido de una política deficiente por años, en la que se busca el beneficio solamente de los gobernantes y no de los gobernados, a su vez dejando en manos de empresas transnacionales los recursos de los que se benefician, y que han perjudicado a comunidades empobrecidas que cuidaban y se beneficiaban de los recursos de su entorno de manera gratuita, ahora prohibiendo su uso y cobrando por la obtención de los mismos, encareciendo aún más a aquellas comunidades.

En cuanto a la importación del recurso hídrico desde otras cuencas hacia la Ciudad de México es insostenible el costo de operación que tienen los sistemas como el Cutzamala y el PAI como lo muestra la siguiente tabla realizada por la CONAGUA, en la que se muestra el costo de operación anual y su costo energético desde el año 2001 hasta el 2008.

Año	Sistema Cutzamala		Sistema PAI	
	Costo Total Operación	Costo Energía Eléctrica	Costo Total Operación	Costo Energía Eléctrica
2001	978.91	766.60	368.01	244.60
2002	1,356.58	770.80	410.30	326.30
2003	1,139.97	852.00	700.35	595.10
2004	1,636.67	1,297.40	575.10	423.30
2005	1,577.39	1,285.90	772.33	597.40
2006	1,704.60	1,347.73	682.52	522.60
2007	1,779.07	1,456.09	783.18	623.67
2008	2,209.90	1,885.37	737.92	669.97

Tabla 6.1: Costo por operación y energía eléctrica (2001 - 2008) millones de pesos precios constantes. Fuente: Comisión Nacional del Agua(CONAGUA); “Estadística del agua de la Región Hidrológico – Administrativa XIII, Aguas del Valle de México”; México 2009.

Donde se puede apreciar que el costo por operación del Sistema Cutzamala del año 2001 al 2008 a aumentado 126% y el costo energético a aumentado en el mismo período 146%; en el mismo caso pero para el Sistema PAI el costo por operación a aumentado 101% y el costo energético 174%, lo cuál en ninguno de los dos sistemas tenderá a disminuir, sino se actualizan los sistemas y se les implementa una mejora que aumente su eficiencia, ya que el Sistema Cutzamala casi está por culminar sus años de vida útil, siendo que se inauguró en el año 1952 y el Sistema PAI en 1974 como se mencionó en el apartado de cada uno de estos sistemas.

7. Conclusión

El ciclo del agua es bastante generoso en la Ciudad de México y su Zona Metropolitana tal y como hemos visto en el transcurso de la investigación, por una parte cuenta con bastante agua pluvial; Las precipitaciones medias registradas son de 773.5 mm lo que es bastante abundante, al sur llega a haber precipitaciones de hasta 2,000 mm anuales, concentradas principalmente en los meses de junio, julio, agosto y septiembre; esta tiene muchas ventajas y posibles usos, así como afectaciones importantes; por una parte es gratuita y abundante en la ciudad, sirve para alimentar a los ríos, lagos y manantiales y al manto acuífero.

Por lo que nosotros los seres humanos que somos los que nos hemos ido acabando las áreas de captación pluvial tenemos que tomar acción acerca del tema y prevenir la evaporación extrema que hay en la cuenca del Valle de México, cómo se puede lograr? A través de la captación pluvial en las casas que cubren el suelo permeable y usarla dentro de las casas en los wc's como en las regaderas (con su debido tratamiento previo) para después devolverla a la naturaleza como agua para riego. Pudiendo aprovecharse también en tierras agrícolas como en riego de jardines privados, áreas verdes públicas; de ésta manera se ayuda a regenerar las pocas áreas verdes con las que cuenta la ciudad. Por otro lado se podría ayudar a la infiltración del agua pluvial al subsuelo para regenerar el acuífero, el cual está siendo sobreexplotado y está ocasionando hundimientos graves en la ciudad tanto de edificios como provocando afectaciones constantemente de la infraestructura hidráulica, generando contaminación de subsuelo con aguas negras, costos excesivos en mantenimiento de la infraestructura; costo que se paga por todos los que habitamos en la ciudad. A su vez año con año inundaciones perjudican a diversas poblaciones.

El escurrimiento natural del Valle de México se da principalmente de la Sierra de las Cruces al oeste, la Sierra Chichinautzin al sur y en menor cantidad desde la Sierra Guadalupe al norte de la ciudad, a su vez se tienen aportes importantes desde la Sierra Nevada al este, de la que se produce deshielo; lo que se ha visto es que los escurrimientos se han disminuido gravemente en la Ciudad de México y su zona metropolitana por la expansión urbana, la pavimentación impermeable de las calles y el entubamiento de los ríos cuando llegan a la ciudad; Esto genera que el recurso hídrico que requiere el acuífero para recargarse no es suficiente. La Ciudad de México cuenta con abundantes ríos, lagos y manantiales (contaminados, entubados y unidos al desagüe de aguas negras), cuando debieran recuperarse y adecuarse para que ambos tanto la ciudad como sus ríos pudieran coexistir en armonía y con el valor que merece cada uno de ellos. Esto creando corredores ecológicos en base al cauce del río, aún en zonas marginadas, ayudando a reflejar equidad social en la ciudad.

Las plantas de tratamiento de la ciudad a su vez no se han planeado bien, ni se han gestionado adecuadamente, por una parte la mayoría de las plantas desde su arranque nunca funcionaron al 100%, sino que han estado funcionando al 50% o al 75% aproximadamente, y del total de aguas negras se trata un porcentaje muy bajo, en casos específicos como la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales "El Llano" descrita en el periódico mexicano Reforma, donde comentan que la planta fue impuesta en la zona sin consulta ciudadana, además fue diseñada para tratar por proceso físico – químico, el cual nunca funcionó, por lo que sólo da tratamiento con aire y con carbón activado, y cuando se libera, contamina con virus y bacterias las zonas de cultivo y hortalizas de la región de Tláhuac, por tanto no se está haciendo un buen uso y gestión del tratamiento de las aguas negras.

La calidad de agua fue evaluada por CONAGUA en 11 estaciones distintas tanto para el índice DBO₅ como para el índice DQO y en ambos dieron resultados alarmantes donde en el índice DBO₅ todas las estaciones menos 1 dieron valores por encima de 120 mg/l y para el índice DQO arrojaron resultados por encima de 200 mg/l, en ambos casos el Río Magdalena dio una calidad bastante aceptable. La importación de agua potable desde otras cuencas que suma 860.1 hm³. La sobreexplotación del acuífero es lo más grave del balance hídrico, que resultó ser de -1,137.41 hm³.

El escenario a futuro para la oferta de nivel alto dio 245 km³, y para la oferta de nivel bajo dio un resultado para aguas superficiales de 126.2 km³, y para aguas subterráneas de 28.05 km³, dando un total de 154.25 km³, lo que no da un panorama muy alentador para el año 2050, para el que se hizo el escenario.

A su vez se han encontrado causas de insostenibilidad tanto ambientales, sociales como económicas; si lo vemos como un ciclo se podría decir que la ciudad necesita recurso hídrico, lo extraen de otras cuencas, ambientalmente esto significa acabar con hábitats naturales al paso de la infraestructura; desde el punto de vista económico representa gastar cantidades excesivas del presupuesto de la ciudad para montar la infraestructura, mantenerla y un consumo excesivo de energía para llevarla a la Ciudad de México, esto desde el punto de vista social afecta a las regiones de donde se extrae el recurso hídrico para llevarlo a otra región, dejando con menor cantidad de recurso a la cuenca vecina, a su vez afectando a tierras agrícolas que pudieran aprovechar el recurso para cultivar alimento para la población, provocando el abandono del campo, y empobreciendo a aquella población que posiblemente no tenía mucho.

Por último la propuesta fundamental de ésta investigación, que ayudaría a mejorar la gestión del recurso hídrico en la Ciudad de México y su Zona Metropolitana desde la raíz es el continuar con el programa de educación a nivel ciudad acercándolo más a personas de todas las edades, desde las escuelas, empresas, a través de carteles en centros comerciales, plazas.

Por otro lado, se necesitan funcionarios realmente interesados en la rehabilitación del medio natural y no en enriquecerse, para facilitar el consenso en la creación de políticas únicas, serias, rígidas que no den cabida a la corrupción medio ambiental y que favorezcan a la ciudad, a la población y al Planeta.

Se requieren soluciones económicamente viables para solucionar el problema de abastecimiento de agua en la Ciudad de México y su zona metropolitana, ya que estamos alcanzado la vida útil de los sistemas que utilizamos para transportar el recurso hídrico, además de la urgencia que se tiene de resolver el hundimiento de la ciudad y la recuperación del acuífero las cuales guardan una relación muy estrecha, y que afectan las pendientes de la infraestructura que se usa para enviar las aguas negras a ciudades al norte de la Ciudad de México, lo que debiera a su vez ser resuelto tratando nuestras propias aguas negras y reutilizarlas dentro de la ciudad sin tener que exportarlas.

8. Bibliografía

B. D. Foy, E. Caetano, V. Magaña, A. Zitácuaro, B. Cárdenas, A. Retama, R. Ramos, L.T. Molina, M.J. Molina (2005); *"Mexico city wind circulation during the MCAM 2003 field campaign"*; Atmospheric Chemistry and Physics Discussions; Mexico City.

C. Gallopín, Gilberto (2006); *"Los Indicadores de Desarrollo Sostenible: Aspectos Conceptuales y Metodológicos"*; Santiago de Chile, Chile.

Corona de la Peña, Claudia Liza (2010); *"El trasvase de agua a la ZMVM desde la cuenca del Cutzamala. Centralización y rezago social"*; México.

Delgado, Javier (1986); *"De los anillos a la segregación. La Ciudad de México 1950 – 1987"*; El Colegio de México; México.

Escribano R. de R., Beatriz (2010); *"Metodología de análisis en el tiempo para evaluar la escasez de agua dulce en función de la oferta y de la demanda. Caso de estudio: Los países de la región del golfo de Guinea"*. Tesis doctoral. Univesitat Politècnica de Catalunya, Barcelona 2008.

Gómez de Trasmonte, Juan (1628); *"Forma y Levantado de la Ciudad de México"*; Arqueología Mexicana, sumario 68; México 1628.

Lesser Illanes, Juan Manuel; Cortéz Pérez, Miguel Ángel (1998); *"El hundimiento del terreno en la Ciudad de México y sus implicaciones en el sistema de drenaje"*; México.

Negrete M., H. Salazar (1986); *"Zonas Metropolitanas en México"*; El Colegio de México; México.

Sobрино Jaime (2000); *"Estructura física y etapas de metropolitanismo de la Ciudad de México"*; El Colegio de México; México.

Sullivan, C. (2002); *"Calculating a Water Poverty Index. World Development"*, 30(7), 1195-1210.

Sullivan, C. (2003); *"The water poverty index: Development and application at the community scale"*. Natural Resources Forum, 27(3), 189-199. et al., 2003.

Unikel, L., C. Ruíz y G. Garza (1978); *“El desarrollo urbano de México. Diagnóstico e implicaciones futuras”*; El Colegio de México; México, 1978.

World Commission on Environment and Development (1987); *“Our Common Future. [Brundtland, G.H. (ed.)]. Oxford”*; New York: Oxford University Press.

- **Comisión Nacional de Agua (CONAGUA)**

“Programa de Sustentabilidad Hídrica del Valle de México”; México, Noviembre 2007.

“Sistema Cutzamala”; México D.F., Septiembre 2009.

Consejo Nacional de Población (CONAPO), Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI); Secretaria de Desarrollo Social (SEDESOL); *“Delimitación de las zonas metropolitanas de México 2005”*; México, Noviembre 2007.

Fondo Monetario Internacional (IMF,2009); *“World Economic Outlook Database”*; Octubre.

Food and Agriculture Organization: Natural Resources Forum 27; *“The Water Poverty Index: Development and Application at the Community Scale”*; 2003.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI, 2009); *“Estadísticas Históricas de México”*; México.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), Dirección General de Estadísticas Económicas, Dirección General Adjunta de Cuentas Nacionales, Dirección de Cuentas de Corto Plazo y Regionales. *“Sistema de Cuentas Nacionales de México”*; México, 2010.

Nacional Research Council (1995); *“El Suministro de Agua de la Ciudad de México: Mejorando la Sustentabilidad”*; Washington D.C.

Panel Intergubernamental de expertos sobre Cambio Climático (IPCC,2007); *“Informe Síntesis sobre Cambio Climático 2007”*; 2007.

- **Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (UNDP)**

“Informe sobre Desarrollo Humano 2009, Superando Barreras: Movilidad y Desarrollo Humanos”; Mundi – Prensa; México 2009.

“Informe Sobre Desarrollo Humano 2010, “La verdadera riqueza de las naciones Caminos al desarrollo humano”; Mundi – Prensa; México 2010.

- **Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)**

“Atlas Geográfico del Medio Ambiente y Recursos Naturales: Regiones Hidrológicas”; México, 2006.

“Atlas del agua en México”; México, 2009.

“Estadística del Agua de la Región Hidrológica – Administrativa XIII, Aguas del Valle de México”; México, 2009.

“Estadísticas del agua en México”; México, Marzo 2010.

“Informe Climatológico Ambiental; Cuenca del Valle de México”, México 2001

“Mapa interactivo del funcionamiento del drenaje de la Ciudad de México”; México, 2010.

“Plan Verde para la Ciudad de México”; México, 2006.

“Semblanza histórica del agua en México”; México, Noviembre 2009.

Shiklomanov, I. A. (ed.1999); *“World water resources and their use: a joint State Hydrological Institute St Petersburg/UNESCO product. UNESCO Water Portal”*. International Hydrological Programme: UNESCO’s intergovernmental scientific in water resources.

The University of New South Wales (UNSW, 2009); *“The Copenhagen Diagnosis 2009: Updating the world on the latest climate science”*.

The World Bank (WB, 2008); *“World Development Indicators”*; United States of America.

World Resource Institute (WRI,2000); “*World Resources 2000 – 2001, People and Ecosystems: The Fraying Web of Life*”; Washington.

World Wildlife Fund (WWF, 2009); “*Informe Planeta Vivo, 2008*”; Colombia.

Central Intelligence Agency (CIA, 2010); Publications: The world factbook.

<https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/mx.html>

Comisión Nacional de Agua (CONAGUA, 2010); “*Archivo Histórico del Agua*”; México.

http://archivohistoricodelagua.info/mx/component/option,com_frontpage/Itemid,1/

Consejo de Cuenca del Valle de México (CCVM, 2010); “*Marco Histórico*”;

<http://cuencavalledemexico.com/consejo-de-cuenca-del-valle-de-mexico/historia/>

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA, 2010); “*El problema del abasto de agua del D.F.*”; México, 2010.

<http://www.atl.org.mx/aguadf/>

▪ **Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI, 2010)**

“*II Censo de Población y Vivienda: Población Total Nacional*”; México 2005.

<http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2005/Default.aspx>

“*Información - Cuenca del Valle de México*”.

<http://cuencavalledemexico.com/informacion/cuenca-del-valle-de-mexico/>

Margat, J. y Andréassian W. “*Water withdrawal, demand and consumption. Naciones Unidas. WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos), ONU-Agua y UNESCO.*”; Water in a changing world [en línea]. Paris: UNESCO Publishing. United Nations world water development report, 3.; 2008.

http://www.unesco.org/water/wwap/wwdr/wwdr3/pdf/WWDR3_Water_in_a_Changing_World.pdf

Population Division of the Department of Economic and Social Affairs of the United Nations Secretariat, “*World Population Prospects: The 2008 Revision*”, Thursday, July 29, 2010.

<http://esa.un.org/unpp>

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (UNDP, 2010); *"GEO-3: Global Environment Outlook, Medio ambiente urbano"*;

<http://www.unep.org/geo/geo3/spanish/404.htm>

UN Water (2010); *"Water Resources"*

http://www.unwater.org/statistics_res.html

United Nations (June,1987); *"Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future"*; Geneva, Switzerland.

<http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>

United Nations Environmental Programme (UNEP, 2008); *"Vital Water Graphics - An Overview of the State of the World's Fresh and Marine Waters"*. 2nd Edition. UNEP, Nairobi, Kenya. ISBN: 92-807-2236-0.

<http://www.unep.org/dewa/assessments/ecosystems/water/vitalwater/freshwater.htm>

Shiklomanov, I. A. (UNESCO, 1998); *"World water resources: A new appraisal and assessment for the 21st century: a summary of the monograph World water resources."* [Prepared in the framework of the International Hydrological Programme by Igor A. Shiklomanov]. Paris: UNESCO.

<http://www.ce.utexas.edu/prof/mckinney/ce385d/Papers/Shiklomanov.pdf>

9. Anexos

Anexo A

Plan Verde de la Ciudad de México

El Plan Verde es la ruta del Gobierno del Distrito Federal a mediano plazo que contiene las estrategias y acciones para encaminar a la Ciudad de México hacia la sustentabilidad de su desarrollo, para que continúe siendo un espacio adecuado para sus habitantes, sin comprometer el patrimonio natural que la hace viable.

Como se verá a continuación algunos de los planteamientos que se tratan en el Plan Verde ya se han llevado a cabo o están directamente en proceso, en caso específico las obras de drenaje que se plantean, así como otros planes, debido a que éste plan fue lanzado hace ya un par de años atrás.

Los ejes temáticos son:

1. Suelo de Conservación

El objetivo principal de éste eje es rescatar el suelo de conservación como espacio clave del equilibrio ecológico de la ciudad.

Por medio de 4 estrategias, que son crecimiento cero de los asentamientos humanos; restauración y conservación de ecosistemas de alto valor ambiental; pago de servicios y bienes ambientales como mecanismo para compensar los costos de la conservación; el impulso a los agroecosistemas y manejo sustentable de los recursos naturales.

Esto significa procurar que nadie dañe los suelos de conservación, aplicando penalizaciones severas a aquellos que lo dañen, recuperación de espacios de gran valor ambiental ocupados por asentamientos irregulares y una campaña de concienciación. y las acciones concretas que plantean son, el rescate de la cuenca del Río Magdalena y Eslava para revertir su degradación ambiental al 100% en seis años, reforestación y restauración con un promedio de 3,000 hectáreas y con 2,5 millones de plantas cada año, reconversión productiva de 1,046 hectáreas de terrenos de cultivo de plantaciones forestales para el año 2012, conservación de 11,000 hectáreas de ecosistemas naturales protegidas, consolidación del Sistema de Áreas Protegidas por el D.F. dotando a cada ANP de un plan de manejo para el año 2012; por otra parte identificar y valorar los bienes y servicios ambientales que presta el suelo de conservación a la Ciudad en el 2010, Integración y conservación de 24,000 hectáreas equivalentes al 27% del suelo de conservación, para su protección a través de esquemas de pago por servicios ambientales, al año 2012, siendo la meta de 50% para el año 2020.

Valorar la creación de impuestos verdes y compensaciones por daño ambiental para retribuir los servicios que brinda el suelo de conservación y comenzar su aplicación antes del 2012; conservar el germoplasma de las razas de maíz nativo del altiplano central, instrumentar el sistema de monitoreo para detectar presencia de transgénicos en maíz en 2011, desarrollar sistemas sustentables en el manejo de los aprovechamientos de tierra y materiales pétreos en 2010, desarrollar prácticas agroecológicas en sustitución de prácticas no sustentables en 16,000 hectáreas para el 2012, y por último reconversión de 3,200 unidades-animal de ganadería de libre pastoreo a sistemas estabulados para el 2012.

2. Habitabilidad y Espacio Público

El objetivo principal de éste apartado dentro del plan verde es rescatar y crear espacios públicos, para hacer de la ciudad un lugar de integración social que ofrezca mejor habitabilidad, confort y equidad.

En éste caso el plan verde también plantea cuatro estrategias clave para lograr éste objetivo, implementar proyectos ordenadores con espacios públicos amplios, diseñados con criterios de sustentabilidad y habitabilidad, impulso al desarrollo de la vivienda sustentable; rescatar y consolidar los espacios públicos existentes en los corredores de integración y desarrollo con vocaciones recreativas y ambientales; incrementar las áreas verdes y dotar de infraestructura, mobiliario urbano y elementos de accesibilidad a los espacios públicos.

Esto se hará con el mejoramiento y reordenamiento del entorno de la Basílica, Plaza y símbolo del Bicentenario de la Independencia y Centenario de la Revolución, la Plaza Hidalgo y Jardín Centenario, realización de una norma de vivienda sustentable, plantear un primer proyecto de vivienda sustentable, instrumentar el *“Certificado de Edificación Sustentable”* en todas las nuevas edificaciones de servicios y en las que se ubiquen dentro de los principales corredores urbanos, en forma obligatoria a partir del 2010.

Implementación de un programa en el Circuito Interior (vialidad) denominado *“22 Nuevos Espacios para Nuestra Convivencia”* para el 2020, un programa denominado *“Manos a la Obra”* que planea recuperar 1,000 espacios públicos, también una campaña de concienciación para proteger y mantener el espacio público, junto con la regeneración del Eje Central (vialidad), también recuperación del Corredor Urbano Avenida Michoacán, Mercado Michoacán y Módulo de Vigilancia, el mejoramiento de la imagen y paisaje urbano de la Avenida San Fernando, regeneración urbana de la Calzada de los Misterios y Calzada de Guadalupe, así como la regeneración urbana de la Avenida Montevideo en el tramo Calzada de los Misterios hasta la Avenida Instituto Politécnico Nacional.

También la saturación de azoteas y fachadas a razón de 30,000 m² por año, rehabilitación, incorporación o creación de glorietas, camellones y calles con vegetación adecuada y de diversos estratos; establecimiento de 900 m² de azotea verde para la producción de plantas ornamentales por hidroponia; producción de 70,000 plantas ornamentales por año para el mejoramiento del paisaje urbano; creación de un parque urbano en la Delegación Iztapalapa con una extensión de 36,000 m² para el 2010; mejoramiento de la Alameda Norte; crear plazas públicas en los barrios para estimular la cohesión social.

3. Agua

Ahora se tratará el tema que más atañe a ésta investigación, donde el objetivo fundamental es lograr la autosuficiencia hídrica y la gestión integral del agua en el Distrito Federal. En éste caso particular de éste tema el Plan Verde especifica 5 estrategias clave a tomar y son las siguientes:

- a. **Alcanzar el equilibrio acuífero**, reevaluar el aprovechamiento de los manantiales a partir del 2009
 - i. Proteger el Suelo de Conservación para la recarga del acuífero, reduciendo en un 90% las áreas de suelo desnudo al 2015 en el Suelo de Conservación y desarrollar infraestructura de contención del suelo en la cuenca para lograr mayor recarga y evitar la erosión y el azolve del drenaje;
 - ii. Protección de las barrancas del suelo de conservación y decretar 10 barrancas urbanas como áreas de valor ambiental;

- iii. Ampliación de la red de pozos de absorción y las acciones de incremento de recarga en el suelo de conservación a partir del 2008, para incrementar la infiltración en $2.5 \text{ m}^3/\text{s}$.
 - b. **Reducir el consumo de uso doméstico**, a partir del 2008 se incrementará la micromedición para alcanzar la cobertura del 100% en el 2010
 - i. Incrementar medidas coercitivas a usuarios morosos, para el pago del servicio;
 - ii. Se promoverá la instalación de muebles sanitarios de bajo consumo y accesorios ahorradores de agua en los hogares a partir del 2008;
 - iii. Impulsar e intensificar, a partir del 2008, la campaña permanente de cultura del agua para su ahorro y uso eficiente, a fin de disminuir la demanda cuando menos en $1 \text{ m}^3/\text{s}$ en el 2010.
 - c. **Reducir las pérdidas en la red**, con acciones concretas como
 - i. La sustitución al 100% de la red dañada y de aquella cuya vida útil ha sido rebasada para el 2012;
 - ii. Para el año 2012 se habrá sectorizado el 100 % de la red, con la finalidad de tener control de las eficiencias con las que trabajen 336 sectores hidrométricos;
 - iii. Implantar una campaña permanente de control de fugas a nivel domiciliario.
- 4. Incrementar la capacidad del sistema de drenaje y la reutilización y el tratamiento del agua;** en ésta cuarta estrategia se plantea
- Iniciar la construcción del Emisor Oriente, parentar la capacidad del sistema de drenaje en 2012;
 - Incrementar el tratamiento de aguas residuales de $2,5$ a $7,2 \text{ m}^3/\text{s}$, para el 2012;
 - Realizar el tratamiento terciario de agua de cuando menos $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$ para su reinyección y recarga del acuífero para el 2010;
 - Construir plantas de tratamiento de aguas residuales en comunidades rurales para evitar las descargas hacia cauces y barrancas al 2010.
- 5. Crear parques lacustres en Tláhuac y Xochimilco**, recuperando 250 hectáreas de paisaje lacustre en ambas zonas a partir del año 2008.

4. Movilidad

Su objetivo es recuperar las vialidades para el transporte colectivo eficiente, menos contaminante, de calidad y promover la movilidad no motorizada.

Sus estrategias son las siguientes: Privilegiar el transporte colectivo eficiente, no contaminante, de calidad y recuperar el uso de las vialidades para la mayoría; reducir el número de vehículos en circulación; incentivar la movilidad no motorizada; agilizar la movilidad vial; fortalecer la cultura vial para una convivencia más armónica.

Estas estrategias se piensan lograr a través de acciones como aumentar los corredores del sistema Metrobus, incremento de las líneas de Metro, limitar la circulación de transporte de carga durante horarios y vialidades específicos, promover el uso de la bicicleta como medio de transporte y facilitar los desplazamientos intermodales entre transporte público y bicicleta, implementación de campaña de sensibilización y educación vial para lograr el respeto entre automovilistas, usuarios de transporte público, peatones y ciclistas, entre otras.

5. Aire

El objetivo es controlar los contaminantes atmosféricos que tienen mayor presencia y afectación a la salud de la población (ozono y partículas finas) y consolidar la reducción de las emisiones de contaminantes tóxicos.

Las estrategias a seguir en éste apartado son la reducción de emisión de contaminantes, incremento en la eficiencia pasajero/carga transportado y apoyar las acciones de los planes de movilidad y energía, así como medir los beneficios del Plan Verde en la calidad del aire.

Para ello se tomarán acciones como reducción en un 50% de óxidos de nitrógeno y compuesto orgánicos volátiles para el 2012, reducción de 10 mil toneladas anuales de contaminantes provenientes de la industria para el 2012, sustitución del Sistema de Transporte Público actual por medios de transporte con mayor capacidad, más eficientes, con tecnologías limpias.

6. Residuos Sólidos

Su objetivo principal es el instrumentar un sistema integral y sustentable de manejo de residuos sólidos urbanos.

Las estrategias para lograr éste objetivo que plantean son; impulsar la regulación de los materiales de empaque y embalaje para disminuir la generación de residuos; fortalecer el programa de separación de basura desde su origen, para incrementar el reciclaje; creación y promoción de oportunidades de mercado para incrementar el aprovechamiento productivo de los materiales reciclados; y la modernización de los métodos de recolección, concentración, transferencia, tratamiento y disposición final de residuos.

Las acciones que se llevarán a cabo para alcanzar y cumplir con éstas estrategias son incentivar el rediseño de empaques y embalajes de productos que se comercializan en el Distrito Federal, con la utilización de materiales biodegradables y con ello medidas compensatorias para las empresas que contribuyan a disminuir la disposición de residuos e incrementar su reciclaje.

Así como la cobertura completa de la ciudad con un sistema de recolección separada a partir del 2008, con campañas de comunicación social para educar a la población sobre la reducción, separación, tratamiento, reciclaje y reutilización de residuos; creación de tres plantas para el reciclado de los residuos de construcción; mayor eficiencia en el sistema de manejo de los residuos, entre otras acciones.

7. Cambio Climático y Energía

En éste caso el objetivo principal es reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, impulsar y fortalecer el mercado de las energías renovables y realizar acciones de adaptación al cambio climático para la población.

Las estrategias que se seguirán son las siguientes; elaboración del Plan de Acción Climática de la Ciudad de México y apoyar las acciones de los planes de movilidad, agua, aire, espacio público, residuos y energía que reeditúan en la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero; y reducir la vulnerabilidad de la Ciudad de México ante el cambio climático y contar con medidas de adaptación para la población en general.