



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**



**SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

**CENTRO DE INVESTIGACIONES ECONÓMICAS, ADMINISTRATIVAS Y SOCIALES**

---

**“POLÍTICA HÍDRICA Y CAMBIO TECNOLÓGICO EN LA  
INFRAESTRUCTURA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES EN EL DISTRITO FEDERAL”**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRA EN POLÍTICA Y GESTIÓN DEL CAMBIO TECNOLÓGICO**

**P R E S E N T A:**

**Ramírez Guardado Patricia**

**Directora (s) de tesis:** Dra. María del Pilar Longar Blanco

Dra. Hortensia Gómez Víquez

México D.F. Enero 2011



# INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

## SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

### ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de MÉXICO, D.F. siendo las 12:00 horas del día 13 del mes de ENERO del 2011 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CIECAS para examinar la tesis titulada:

**"POLÍTICA HIDRICA Y CAMBIO TECNOLÓGICO EN LA INFRAESTRUCTURA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL DISTRITO FEDERAL"**

Presentada por el alumno:

<b>RAMÍREZ</b> Apellido paterno	<b>GUARDADO</b> Apellido materno	<b>PATRICIA</b> Nombre(s)
		Con registro: B 0 8 1 6 7 9

aspirante de:

**MAESTRÍA POLÍTICA Y GESTIÓN DEL CAMBIO TECNOLÓGICO**

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

### LA COMISIÓN REVISORA

Directores de tesis

DRA. MARÍA DEL PILAR LONGAR BLANCO

DRA. HORTENSIA GÓMEZ VIQUEZ

DRA. GEORGINA ISUNZA VIZUET

DR. RAÚL VÁZQUEZ LÓPEZ

DR. MIJAEL ALTAMIRANO SANTIAGO

DR. ROLANDO VLADEMIR JIMÉNEZ GUZMÁN

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

DR. ZACARIÁS TORRES HERNÁNDEZ

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA  
INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL  
CENTRO DE INVESTIGACIONES  
ECONÓMICAS ADMINISTRATIVAS  
Y SOCIALES



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

**CARTA CESIÓN DE DERECHOS**

En la Ciudad de México el día 14 del mes de Enero del año 2011, el (la) que suscribe Patricia Ramírez Guardado (a) del Programa de Maestría en Política y Gestión del Cambio Tecnológico con número de registro B081679, adscrito a CIECAS-IPN, manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de la *Dra. María del Pilar Longar Blanco* y la *Dra. Hortensia Gómez Víquez* y cede los derechos del trabajo intitulado *Política Hídrica y Cambio Tecnológico en la Infraestructura para el Tratamiento de Aguas Residuales en el Distrito Federal*, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección [p.ramirez.g@hotmail.com](mailto:p.ramirez.g@hotmail.com). Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

*Patricia Ramírez Guardado Patricia*  
Patricia Ramírez Guardado  
Nombre y firma

## *Agradecimientos*

*En lo personal, creo que un trabajo de investigación requiere de tiempo, conocimiento, aportaciones, y apoyo, pero sobre todo de entrega y entusiasmo por parte de quien lo lleva a cabo y aunque en algunas ocasiones me sentí débil, vulnerable y hasta con agotamiento físico y mental, hubo quien siempre tuvo las palabras exactas para levantarme, y hoy quiero agradecerles porque forman parte de mí y de una etapa que culmina, la cual me llena de alegría y gozo infinito.*

*Para comenzar, me gustaría dar las gracias al Lic. Ricardo Hernández por la confianza que depositó en mí y en la culminación de esta investigación.*

*Al Ingeniero Martín Victoria por transmitirme su experiencia y conocimientos.*

*A la Dra. Petia Mijaelova por la entrevista que me concedió para el enriquecimiento de esta investigación.*

*Al Ingeniero Javier Robles por cada una de sus contribuciones, por despejar mis dudas cada vez que lo requerí y compartirme sus conocimientos.*

*A la maestra Margarita Torres Ulloa y al maestro Ricardo Acosta por haber sido parte de mi formación profesional y por forjar en mí la decisión de estudiar la maestría. Gracias por su afecto.*

*A uno de los mejores maestros y amigos que tuve en la maestría: Gracias Rubén por el apoyo, los consejos y por hacerme ver las cosas color de rosa cuando parecían no tener un color definido.*

*Continuando, al Dr. Raúl Vázquez López por sus invaluable contribuciones y por el tiempo que dedico para la revisión y enriquecimiento de este trabajo.*

*A la Dra. Georgina Isunza por haberme compartido su acervo bibliográfico, por el apoyo, aportaciones y por el entusiasmo que despertó en mí para realizar este tema de investigación.*

*Al Dr. Mijael Altamirano por sus recomendaciones bibliográficas y su disposición en el desarrollo de esta investigación.*

*Y para concluir gracias a mis dos directoras de tesis: Dra. Hortensia Gómez Viquez y Dra. María del Pilar Longar Blanco por el apoyo y las enseñanzas a lo largo del desarrollo del presente.*

## *Dedicatoria*

*A Dios y a la vida, por ser mi guía cuando la luz parecía estar tan lejana y permitirme escalar un peldaño más.*

*A la mujer que más admiro, “mi Madre” por haberme dado mucho más que la vida. Gracias porque mis logros son los tuyos también, por tu amor, desvelos, apoyo incondicional, por soportar mis malos momentos, mis ausencias, pero sobre todo por lo que hiciste de mi. Te amo.*

*A mi esposo “Ricardo” por ser mi compañero en esta larga travesía y por ir juntos de la mano en la realización de mis anhelos. Te amo.*

*A mis dos chiquillas, por los grandes y mágicos momentos, por caminar a mi lado, a pesar de las adversidades y por su infinito cariño: “Yara y Chiry”. Yari te llevare por siempre en mi corazón y mis recuerdos.*

*A la memoria de Guillermo Rodríguez, así como a su esposa Graciela. Infinitas gracias por haberme permitido ser parte de ustedes, por el cariño, por el apoyo en mis estudios y cada uno de sus consejos. Los quiero y admiro.*

*A la Sra. Leticia Soriano y familia por haber sido como una segunda madre, por el apoyo económico y la confianza que depositaron en mí. Siempre los llevare en mi corazón.*

*A mi mamá y hermanos por el apoyo e interés en la culminación de mis estudios y por su cariño: Guadalupe, Gustavo, Roberto y Nancy. Los quiero.*

*A mis tíos Juan Francisco y Alicia por el cariño y el apoyo que me han brindado desde que tengo consciencia. Los quiero.*

*A mis suegros Tila y Ciro por su apoyo, cariño e interés, a lo largo de este trabajo. Los quiero.*

*A Hugo y Eloísa, por su apoyo, consejos invaluables y cariño. Los quiero.*

*A la Sra. Carmen Patrón Romero y familia por los años de servicio al IPN, por la dicha de haberlos conocido y por ser parte de este logro. Mi cariño y agradecimiento por siempre.*

*A Ernesto Martínez porque gran parte de mis logros nacieron en lebre. Gracias por tu cariño y por la oportunidad que me diste. Jamás lo olvidare.*

*A Marcela Moreno por su apoyo y amistad. No cabe duda que las cosas pasan justo en el momento indicado. Gracias por guiarme no solo en mis clases de inglés sino por adentrarse en mi tema de tesis. Con cariño.*

*A Isabel Chávez y familia por el apoyo para proseguir con mis estudios, pero sobre todo por el cariño que me dieron y abrirme las puertas de su hogar. Los recuerdo con cariño y afecto.*

*A Sandra, una de las mejores amistades que logre durante la maestría y con quien compartí muchos meses de trabajo, angustia y alegría. Por fin pancleta, se cierra otra etapa de nuestras vidas y adquirimos un nuevo logro, te extrañare y llevare en mi corazón por siempre.*

*A mis compañeros de clase Talía, Kristian, Nevid, Arturo, y Martín por los grandes momentos que compartimos y por la dicha de haberlos conocido.*

*A Nadia, mi mejor amiga de la infancia con quien he compartido alegrías y tristezas, gracias por tu cariño, amistad y apoyo. Eres una gran mujer flaca y sabes que te admiro. Te quiero.*

*A Sonia y Maribel por los gratos y no tan gratos momentos que hemos compartido, por soportar mis ratos de histeria y porque a pesar del tiempo seguimos juntas. Gracias por su amistad, el apoyo y cariño. Las quiero.*

*A quien me recordó tantas veces que Dios estaba conmigo cuando creí olvidarlo. Gracias Salvador por tus palabras de aliento, por tenerme presente en tus oraciones y afecto.*

*A mi hermano mayor por ser mi ejemplo de lucha y tenacidad para seguir adelante. Te quiero Manuel.*

*A mi hermano menor y familia por los momentos que dejamos de compartir, pero afortunadamente ya estas de nuevo en casa para festejar este gran momento de mi vida. Los quiero Jesús.*

*Y A todas aquellas personas que tal vez en este momento no recuerdo, pero que han dejado una huella imborrable en mi vida. Gracias a todos y cada uno de ellos.*

## Contenido

Índice de Cuadros, Figuras, Mapas, Gráficas, Imágenes y Diagramas .....	9
Acrónimos.....	12
Glosario .....	14
Resumen .....	18
Abstract.....	19
Introducción .....	21
CAPÍTULO 1. Marco Teórico de la Investigación .....	25
1.1 Conceptualización de Política Pública .....	25
1.2 División de la Política Pública.....	31
1.3 Importancia de la Política Pública .....	33
1.4 Medición del Cambio Tecnológico .....	36
1.5 Trayectoria Tecnológica .....	39
1.6 Trabajos Empíricos sobre aguas residuales.....	42
CAPÍTULO 2. Antecedentes de la Política Hídrica .....	46
2.1 Contextualización de Política Hídrica en el D. F. ....	46
2.2 Instituciones relacionadas a la Política Hídrica .....	52
2.3 Infraestructura y Tecnologías para el TAR en el D. F.....	60

CAPÍTULO 3. Proyectos Sectoriales de Infraestructura para el TAR en el D.F.....	76
3.1 Programa: Una Infraestructura y Servicios Urbanos 1999-2000 .....	78
3.2 Programa Desarrollo Sustentable 2001-2006 .....	87
3.3 Resultados de los Programas de 1999-2006 y expectativas del Programa "Desarrollo Sustentable y De Largo Plazo-Sistema de Saneamiento Eficiente 2007-2012" .....	101
 CAPÍTULO 4. Cambio Tecnológico en la Infraestructura para el TAR en el D.F.: PTAR "Cerro de la Estrella". .....	 110
4.1 Tecnologías y equipos empleados en la PTAR "Cerro de la Estrella" .....	111
4.2 Cambio Tecnológico en Equipos Estratégicos en el Proceso de Lodos Activados: estudio a través de patentes. ....	122
4.2.1 Evidencia empírica .....	125
4.2.1.1 Análisis de la tecnología .....	125
4.2.1.2 Cambio Tecnológico: Trayectoria Tecnológica de Equipos Estratégicos .....	147
4.3 Cambio Tecnológico y Política Hídrica: Planta "Cerro de la Estrella".....	153
4.4 Alternativas Tecnológicas para el TDAR.....	161
4.4.1 SRAS: Caso de éxito en el TAR de Estados Unidos, California .....	162
 Conclusiones y Recomendaciones.....	 165
Futuras líneas de Investigación .....	168
Bibliografía.....	170
Anexo I. Trayectoria de los equipos de desplazamiento no positivo .....	183
Anexo II. Tipos de compresores .....	191

## Índice de Cuadros, Figuras, Mapas, Gráficas, Imágenes y Diagramas

### Índice de Cuadros

Cuadro 1. Actores relacionados con la Política Pública - Hídrica	27
Cuadro 2. Evolución de la Infraestructura Hídrica	63
Cuadro 3. Infraestructura Hídrica del D. F.	65
Cuadro 4. Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales del SACM	67-68
Cuadro 5. Niveles de tratamiento de las Aguas Residuales	71
Cuadro 6. Ventajas y desventajas de los diferentes niveles de tratamiento	72
Cuadro 7. Programa: Una Infraestructura y Servicios Urbanos de Calidad, 1999	82
Cuadro 8. Programa: Una Infraestructura y Servicios Urbanos de Calidad, 2000	84
Cuadro 9. Participación % en el Presupuesto Total Asignado, 2000	85
Cuadro 10. Programa Desarrollo Sustentable, 2001	88
Cuadro 11. Participación % en el Presupuesto Total Asignado 2001	89
Cuadro 12. Programa: Desarrollo Sustentable, 2002	90
Cuadro 13. Participación % en el Presupuesto Total Asignado 2002	91
Cuadro 14. Programa: Desarrollo Sustentable, 2003	92
Cuadro 15. Participación % en el Presupuesto Total Asignado 2003	93
Cuadro 16. Programa: Desarrollo Sustentable, 2004	94
Cuadro 17. Programa: Desarrollo Sustentable, 2004	95
Cuadro 18. Programa: Desarrollo Sustentable, 2005	96
Cuadro 19. Participación % en el Presupuesto Total Asignado 2005	96
Cuadro 20. Programa: Desarrollo Sustentable, 2006	98
Cuadro 21. Participación % en el Presupuesto Total Asignado 2006	98
Cuadro 22. Presupuesto original o asignado 1999-2006	101
Cuadro 23. Programa: Desarrollo Sustentable LP, 2007	103
Cuadro 24. Programa: Desarrollo Sustentable LP, 2008	104
Cuadro 25. Programa: Desarrollo Sustentable LP, 2009	105
Cuadro 26. Inversión-Drenaje, T y R de las PTAR´s (millones de pesos)	107
Cuadro 27. Inversión recarga con Agua Tratada (millones de pesos)	108
Cuadro 28. Inventario de equipo involucrado en el proceso	118
Cuadro 29. Principales tópicos en patentes en EUROPAT	139
Cuadro 30. Construcción de redes EUROPAT	141
Cuadro 31. Principales tópicos en patentes en USPTO	143
Cuadro 32. Construcción de redes USPTO	145
Cuadro 33. Trayectoria tecnológica de equipos de desplazamiento no positivo	151
Cuadro 34. Inventario de equipo Cerro de la Estrella	152
Cuadro 35. Inventario de la Planta Cerro de la Estrella y Política Hídrica	159

## **Índice de Figuras**

Figura 1. División de Política Pública	32
Figura 2. Trayectoria Tecnológica, evolución de una tecnología	40
Figura 3. Recorrido del agua (uso, reúso y descarga)	50
Figura 4. Proceso de Planeación Hídrica	55
Figura 5. Evolución de las instituciones encargadas de la Gestión del Agua	56
Figura 6. Biodegradación de la materia orgánica	114

## **Índice de Mapas**

Mapa 1. Infraestructura de Drenaje del D.F. 2002	64
Mapa 2. Plantas de Tratamiento de Agua Residual	69

## **Índice de Gráficas**

Gráfica 1. Participación: Infraestructura, Drenaje y TAR: PISU	86
Gráfica 2. Participación: Infraestructura, Drenaje y TAR:PDS	100
Grafica 3. Presupuesto original o asignado 1999-2006	102
Grafica 4. Participación: Drenaje y TAR- SSE: PDS y de LP	106
Gráfica 5. Porcentaje de patentes por oficina: SIGA, EUROPAT y USPTO	126
Gráfica 6. Número de patentes por oficina	127
Gráfica 7. Número de patentes por oficina a no residentes	128
Gráfica 8. Número de patentes por oficina a residentes	129
Gráfica 9. Porcentaje de patentes por nacionalidad del titular y oficina México	130
Gráfica 10. Porcentaje de patentes por nacionalidad del titular y oficina Europa	130
Gráfica 11. Porcentaje de patentes por nacionalidad del titular y oficina EEUU	131
Gráfica 12. Porcentaje de patentes por tipo de titular SIGA	132
Gráfica 13. Porcentaje de patentes por tipo de titular EUROPAT	133
Gráfica 14. Porcentaje de patentes por tipo de titular UPSTO	134
Gráfica 15. Campos involucrados en SIGA	135
Gráfica 16. Campos involucrados en EUROPAT	136
Gráfica 17. Campos involucrados en la USPTO	137
Grafica 18. Tipo de patente	138
Gráfica 19. Cambio Tecnológico y Política Hídrica	156

## **Índice de Imágenes**

Imagen 1. Planta Cerro de la Estrella	111
Imagen 2. Sistema de rastreo en tanque. Sedimentador primario	113
Imagen 3. Sustitución del sistema de difusión de aire	119
Imagen 4. Diagrama estratégico de Red EUROPAT	142
Imagen 5. Diagrama estratégico de Red USPTO	146

## **Índice de Diagramas**

Diagrama 1. Diagrama del Proceso de TAR: Planta Cerro de la Estrella	116
--	-----

## Acrónimos

<b>CONAGUA</b>	Comisión Nacional del Agua
<b>CADF</b>	Comisión de Aguas del Distrito Federal
<b>DGCOH</b>	Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica
<b>EUROPAT</b>	Oficina Europea de Patentes
<b>FOSEGDF</b>	Fondo de Seguridad del Gobierno del D. F.
<b>IMTA</b>	Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
<b>LAN</b>	Ley de Aguas Nacionales
<b>PTAR´s</b>	Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales
<b>PDS</b>	Programa de Desarrollo Sustentable
<b>PDS LP</b>	Programa de Desarrollo Sustentable y de Largo Plazo
<b>PISU</b>	Programa de Infraestructura y Servicios Urbanos
<b>SIGA</b>	Sistema de Información de la Gaceta de la Propiedad Industrial
<b>SEMARNAT</b>	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
<b>SACM</b>	Sistemas de Aguas de la Ciudad de México
<b>SAM</b>	Secretaría de Medio Ambiente del D. F.
<b>SOS</b>	Secretaría de Obras y Servicios
<b>SSE</b>	Sistema de Saneamiento Eficiente
<b>SRAS</b>	Sistema de Reabastecimiento de Aguas Subterráneas

**T y R**

Tratamiento y Reúso

**TAR**

Tratamiento de Agua Residual

**TDAR**

Tratamiento Domestico de Aguas  
Residuales

**USPTO**

Oficina de Marcas y Patentes de Estados  
Unidos

## Glosario

**Aguas residuales.-** Se pueden definir como aquellas cuyo origen está relacionado a las actividades domésticas, industriales, comerciales agrícolas o de cualquier otra actividad que, por el uso que haya sido objeto. En su composición se pueden encontrar materia orgánica y otras sustancias químicas que perturban su calidad y composición original.

**Acuífero.-** Cualquier formación geológica o conjunto de formaciones geológicas hidráulicamente conectados entre sí, por las que circulan o se almacenan aguas del subsuelo que pueden ser extraídas para su explotación, uso o aprovechamiento y cuyos límites laterales y verticales se definen convencionalmente para fines de evaluación, manejo y administración de las aguas nacionales del subsuelo.

**Cuenca.-** es la unidad básica para la gestión del agua. En México se han definido 13 grandes regiones tomando como base la división hidrológica y ajustándola a los límites municipales, la unidad administrativa mínima.

**Nivel de tratamiento.-** Las operaciones efectuadas durante el tratamiento de aguas residuales producen diferentes calidades de efluente según sea el objetivo que persiguen; así por ejemplo, un sedimentador primario produce efluentes con bajo contenido de sólidos sedimentados, mientras que el efluente de un desarenador tendría una calidad menor. Por esta razón se ha dividido en niveles a las distintas operaciones que producen; de esta manera se tienen niveles: preliminar, primario, secundario, terciario y avanzado.

**NOM-002-ECOL-1996.-** Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, con el fin de prevenir y controlar la contaminación de las aguas y bienes nacionales, así como de proteger la

infraestructura de dichos sistemas y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas. Esta norma no se aplica a la descarga de las aguas residuales domésticas, pluviales, ni a las generadas por la industria, que sean distintas a las aguas residuales de proceso y conducidas por drenaje separado.

**Proceso.-** Conjunto de operaciones con un propósito común, por ejemplo: el proceso de lodos activados, en su forma más sencilla se compone de las operaciones de aireación y sedimentación.

**Reúso en servicios al público con contacto directo.-** Es el que se destina a actividades donde el público usuario este expuesto directamente o en contacto físico.

**Reúso en servicios al público con contacto indirecto u ocasional.-** Es el que se destina a actividades donde el público en general este expuesto indirectamente o en contacto físico incidental y que su acceso es restringido, ya sea por barreras físicas o personal de vigilancia.

**Redes 2005.-** Redes versión 2005 es un programa que permite construir redes tecno-científicas a partir del contenido de los documentos textuales que escriben los científicos y los tecnólogos. Estos documentos pueden ser de cualquier tipo: artículos científicos, comunicaciones a congresos, patentes de invención, tesis doctorales, informes y proyectos.

**Tratamiento primario avanzado.-** En este tipo de tratamiento lo que se busca es remover los materiales que son posibles de sedimentar, usando tratamiento físicos o físico-químicos. En algunos casos dejando, simplemente, las aguas residuales un tiempo en grandes tanques o, en el caso de los tratamientos primarios mejorados, añadiendo al agua contenida en estos grandes tanques, sustancias químicas quelantes (La precipitación química o coagulación es un

proceso por el cual se agregan sustancias químicas para que así se de una coagulación de los desechos y poder retirar así los sólidos) que hacen más rápida y eficaz la sedimentación. También se incluyen en estos tratamientos la neutralización del ph y la eliminación de contaminantes volátiles como el amoniaco (desorción). Las operaciones que incluye son el desaceitado y desengrase, la sedimentación primaria, la filtración, neutralización y la desorción. La sedimentación física, es el proceso mediante el cual se dejan asentar por gravedad los sólidos en suspensión en las aguas residuales. Las bacterias que crecen en este medio, junto con otros sólidos, se retiran en un tanque de sedimentación secundario y se hacen entrar de nuevo al tanque de ventilación. En este tipo de tratamiento se pueden retirar de un 60 a un 65% de los sólidos sedimentables y de 30 a 35% de los sólidos suspendidos en las aguas residuales.

**Tratamiento secundario.-** Se da para eliminar desechos y sustancias que con la sedimentación no se eliminaron y para remover las demandas biológicas de oxígeno. Con estos tratamientos secundarios se pueden expeler las partículas coloidales y similares. Puede incluir procesos biológicos y químicos. Este proceso acelera la descomposición de los contaminantes orgánicos. El procedimiento secundario más habitual es un proceso biológico en el que se facilita que bacterias aerobias digieran la materia orgánica que llevan las aguas. Este proceso se suele hacer llevando el efluente que sale del tratamiento primario a tanques en los que se mezcla con agua cargada de lodos activos (microorganismos). Estos tanques tienen sistemas de burbujeo o agitación que garantizan condiciones aerobias para el crecimiento de los microorganismos. Posteriormente se conduce este líquido a tanques cilíndricos, con sección en forma de tronco de cono, en los que se realiza la decantación de los lodos. Separados los lodos, el agua que sale contiene muchas menos impurezas. Una parte de estos lodos son devueltos al tanque para que así haya una mayor oxidación de la materia orgánica.

**Tratamiento terciario.-** Consiste en procesos físicos y químicos especiales con los que se consigue limpiar las aguas de contaminantes concretos: fósforo, nitrógeno, minerales, metales pesados, virus, compuestos orgánicos, etc. Es un tipo de tratamiento más caro que los anteriores y se usa en casos más especiales como por ejemplo para purificar desechos de algunas industrias. Algunas veces el tratamiento terciario se emplea para mejorar los efluentes del tratamiento biológico secundario. Se ha empleado la filtración rápida en arena para poder eliminar mejor los sólidos y nutrientes en suspensión y reducir la demanda bioquímica de oxígeno.

**Tratamiento preliminar.-** Se realiza como antecedente al tratamiento primario, secundario o terciario, debido a que las aguas residuales pueden venir con desechos muy grandes y voluminosos que no pueden llegar a las plantas de tratamiento y sirven de igual manera para aumentar la efectividad de estos procesos. Para estos procesos son utilizadas las rejillas, los tamices y los microfiltros.

## Resumen

El propósito del presente trabajo, fue analizar el impacto de la política hídrica en materia de cambio tecnológico en la infraestructura para el tratamiento de las aguas residuales en el Distrito Federal en el periodo de 1970 a 2010, en concreto sobre los equipos considerados como estratégicos en el proceso de tratamiento de aguas residuales, realizado en la planta "Cerro de la Estrella" correspondientes a la clasificación internacional de patentes F04D1/00, F04D1/06, F04D17/00, F04D17/12 y F04D17/16. El interés obedece a identificar a los países desarrolladores de equipos de desplazamiento dinámico, así como la evolución que han tenido en el tiempo e identificar la incidencia de la política pública, en específico, de la política hídrica mexicana (programas sectoriales; tendencias acerca del ingreso y gasto del Gobierno local en infraestructura y obras hidráulicas, planes y leyes para la regulación y gestión de los recursos hídricos) en la tendencia de patentamiento en México, la falta de incentivos para el desarrollo tecnológico domestico del sector y la adquisición de tecnologías mejoradas, señaladas en el análisis de patentes y construcción de la trayectoria tecnológica. Las regulaciones ambientales se crean con el propósito de generar efectos positivos en el desarrollo tecnológico y favorecer la innovación en este campo, en este sentido, se espera que esquemas estrictos de política pública impulsen a las empresas a tomar decisiones a favor del cambio tecnológico. No obstante, en el caso de la infraestructura hídrica para el tratamiento de aguas residuales en el Distrito Federal esta hipótesis no se ha cumplido. Actualmente, las plantas tratadoras de agua tienen una infraestructura obsoleta, concentrada en aumentar la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales (cambio tecnológico en el proceso) y no en desarrollar tecnologías para obtener agua potable de uso doméstico (cambio tecnológico en el producto) en lugar de agua recuperada para uso industrial.

Palabras clave: política pública, política hídrica, cambio tecnológico, infraestructura hidráulica, tecnología, tratamiento y reúso de aguas residuales.

## Abstract

The purpose of this investigation was to analyze the impact of water policy regarding the technological change of infrastructure for the treatment of wastewaters in Mexico City, from 1970 to 2010. The case of study was at *Cerro de la Estrella* and its facilities, on the equipment considered as strategic during the process of treatment for wastewaters (international patents: F04D1/00, F04D1/06, F04D17/00, F04D17/12 y F04D17/16). The interest is to identify which countries have developed dynamic displacement equipment, together with their evolution in time, and to identify the impact of public policy in Mexico in particular. Specifically, the water policy in Mexico containing: sectorial programs, tendencies on income and expenses of the local government on infrastructure and water facilities, plans and laws for regulation of water resources. In regards patenting in Mexico: the lack of incentives to develop domestic technology in this field, and the acquisition of improved technologies, mentioned in the patent analysis and the construction of the technological path. Environmental laws are created with the intention to generate positive effects in technological development, and to boost innovation in this field. That is why; strict public policies are expected to be adopted by enterprises, together with decisions for a positive technological change. Nevertheless, the treatment for wastewaters in Mexico City does not follow this hypothesis. Currently, there are treatment water plants with an obsolete infrastructure, focused only on the increase of efficiency in the wastewaters treatment or technological change in the process, but not on the development of technologies that generate drinkable water for domestic consumption, or on a technological change of the product instead of recovered water only for industrial use.

Keywords: public policy, water policy, technological change, water infrastructure, technology, treatment and reuse of wastewater.

*Tener respeto por la naturaleza y el entorno que te rodea, es tener respeto por ti mismo.*

Paty R. G.

## Introducción

Actualmente el tema del agua se ha convertido en un eje estratégico, debido a los grandes retos que enfrenta en materia tecnológica para su óptimo abastecimiento, distribución, tratamiento y reutilización.

La incapacidad e ineficiencia de la infraestructura hídrica para el tratamiento del agua residual, pone de manifiesto la vulnerabilidad del Distrito Federal para hacer frente a inundaciones causadas por la abundante agua de lluvia que satura el drenaje y contrarrestar la escasez que sufren permanente algunas de sus Delegaciones. El tratamiento de aguas residuales en el Distrito Federal, apenas llega a 40.5 m<sup>3</sup> /segundo, lo que aun significa un reto para optimizar su recuperación. Cuestiones que se han venido agudizando desde los inicios de la política hídrica, cuyo propósito ha sido aumentar la oferta de servicios de agua potable y alcantarillado ante el crecimiento demográfico, propiciando la sobreexplotación y contaminación de las principales fuentes de abastecimiento de la Ciudad de México, debido a la descarga de aguas residuales sin previo tratamiento.

El esfuerzo por aumentar la oferta de servicios, requirió de la planeación y surgimiento de instituciones que coadyuvaran la gestión de los recursos hídricos, por lo que en 1958 se formuló el Plan Hidráulico del Valle de México, 1958-1964; documento en el que se establecieron los lineamientos y metas para el óptimo aprovechamiento integral del agua. Entre las instituciones más importantes que surgieron a nivel federal, se encuentra la Comisión Nacional del Agua (CNA), creada en 1989 como órgano desconcentrado de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, lo que se conoce hoy como Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), con facultades exclusivas para legislar y normar en materia de agua. El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), surgió en 1986, actualmente es la institución encargada de formular programas y

funciones para la investigación y desarrollo tecnológico del sector hídrico en México.

En el ámbito local, el Sistema de Aguas de la Ciudad de México, es el organismo encargado de la elaboración, ejecución y evaluación del Programa de Gestión Integral de los Recursos Hídricos, como instrumento rector de la política hídrica, se encarga de la administración de las 24 plantas encargadas del tratamiento del agua residual, así como de dotarles de las tecnologías que intervienen en los distintos niveles y tipos de proceso que se realizan en cada una de las ellas, teniendo como principales criterios para la compra de nuevos equipos el precio, la calidad y las oportunidades de financiamiento. El factor que a menudo incide en el reemplazo de un equipo, es el presupuesto disponible y si a ello se le suma el hecho de que los programas de infraestructura para drenaje y tratamiento de agua residual tienen una participación relativamente baja en la asignación de recursos en el Plan General de Desarrollo del Distrito Federal, el sector se ve aun más comprometido.

Situación que puede observarse en la planta Cerro de la Estrella, la cual se tomó referencia para la realización del análisis del cuarto capítulo del presente trabajo al ser la planta más representativa de las 24 en tamaño, caudal tratado e infraestructura. Para saber el estado actual de sus equipos, se realizó un inventario, mismo que sirvió de base para la construcción de la trayectoria tecnológica, tomándose únicamente aquellos considerados como estratégicas durante el desarrollo del proceso; equipos de desplazamiento no positivo que incluyen turbocompresores, compresores y sopladores centrífugos con clasificación internacional F04D1/00, F04D1/06, F04D17/00, F04D17/12 y F04D17/16, a partir de la cual se hizo la búsqueda de patentes en los dos mercados más importantes para la protección industrial: Europa, Estados Unidos y México. El propósito fue analizar las mejoras tecnológicas incorporadas a los equipos en los tres mercados antes mencionados respecto de los que se emplean en Cerro de la Estrella, los

resultados fueron contundentes; los equipos no han sido reemplazados en más de 20 años cuando en Estados Unidos y Alemania actualmente se están fabricando tecnologías de alto rendimiento y eficiencia energética, esto obedece a que la legislación hídrica a nivel federal y local no ha generado el desarrollo tecnológico del sector, cuestión que sitúa al país con un alto índice de dependencia tecnológica.

En este sentido, el presente trabajo de tesis, analiza el impacto de la Política Hídrica en el Cambio Tecnológico de la Infraestructura para el Tratamiento de las Aguas Residuales en el periodo de 1970 a 2010.

El objetivo de la investigación, es demostrar que la política hídrica, no ha generado los incentivos necesarios para impulsar el cambio tecnológico en la infraestructura para el tratamiento de agua residual.

Por lo anterior, la investigación se encuentra organizada en cuatro capítulos. En el primer capítulo, se tratan aspectos concernientes al surgimiento de la política pública, los actores que participan en su trazo e importancia, las variables que intervienen en la medición del cambio tecnológico, los trabajos empíricos más importantes acerca del estudio de las aguas residuales en México y a nivel internacional, así como la conceptualización de trayectoria tecnológica.

El segundo capítulo, aborda los orígenes de la política hídrica en el Distrito Federal, así como las instituciones que participan en ella, infraestructura hídrica y tecnologías disponibles para el tratamiento del agua residual.

El tercer capítulo, está conformado por el análisis de los programas sectoriales en materia de infraestructura para drenaje y tratamiento de aguas residuales en el Distrito Federal, con datos financieros tomados de la Cuenta Pública de 1999-2009.

Finalmente, en el cuarto capítulo se analiza el estado de la infraestructura de la planta Cerro de la Estrella, así como la evolución de los equipos considerados como estratégicos (turbocompresores, compresores y sopladores centrífugos) durante la puesta en marcha del proceso de lodos activados, a través del análisis de patentes tomando como referencia las oficinas de patentes de México (SIGA), Europa (EUROPAT) y Estados Unidos (USPTO), con el objeto de identificar las mejoras tecnológicas que se han incorporado a los equipos previamente mencionados y compararlos con los que se emplean en la planta en cuestión para demostrar a través de la trayectoria tecnológica que la política hídrica no ha generado los incentivos necesarios para el desarrollo tecnológico doméstico ni la modernización de la infraestructura vía adquisición de nuevos equipos.

Durante el proseguir de esta investigación, se consultaron documentos oficiales tanto de dependencias federales como locales, fuentes primarias, páginas electrónicas, bases de patentes y la información que se recopiló en la investigación de campo durante la visita realizada a la planta de tratamiento "Cerro de la Estrella".

## **CAPÍTULO 1. Marco Teórico de la Investigación**

### **1.1 Conceptualización de Política Pública**

Es este primer capítulo, se abordará la importancia de la política pública, los actores que participan en su diseño y ejecución de la misma, así como la división que presenta según su campo de acción, también se hará énfasis en aspectos relevantes del cambio tecnológico, y la trayectoria tecnológica (patentes); como principal indicador en la medición del cambio tecnológico que se llevara a cabo en el cuarto capítulo del presente trabajo. Finalmente, se presentan los trabajos empíricos que se han realizado en torno al estudio de las aguas residuales.

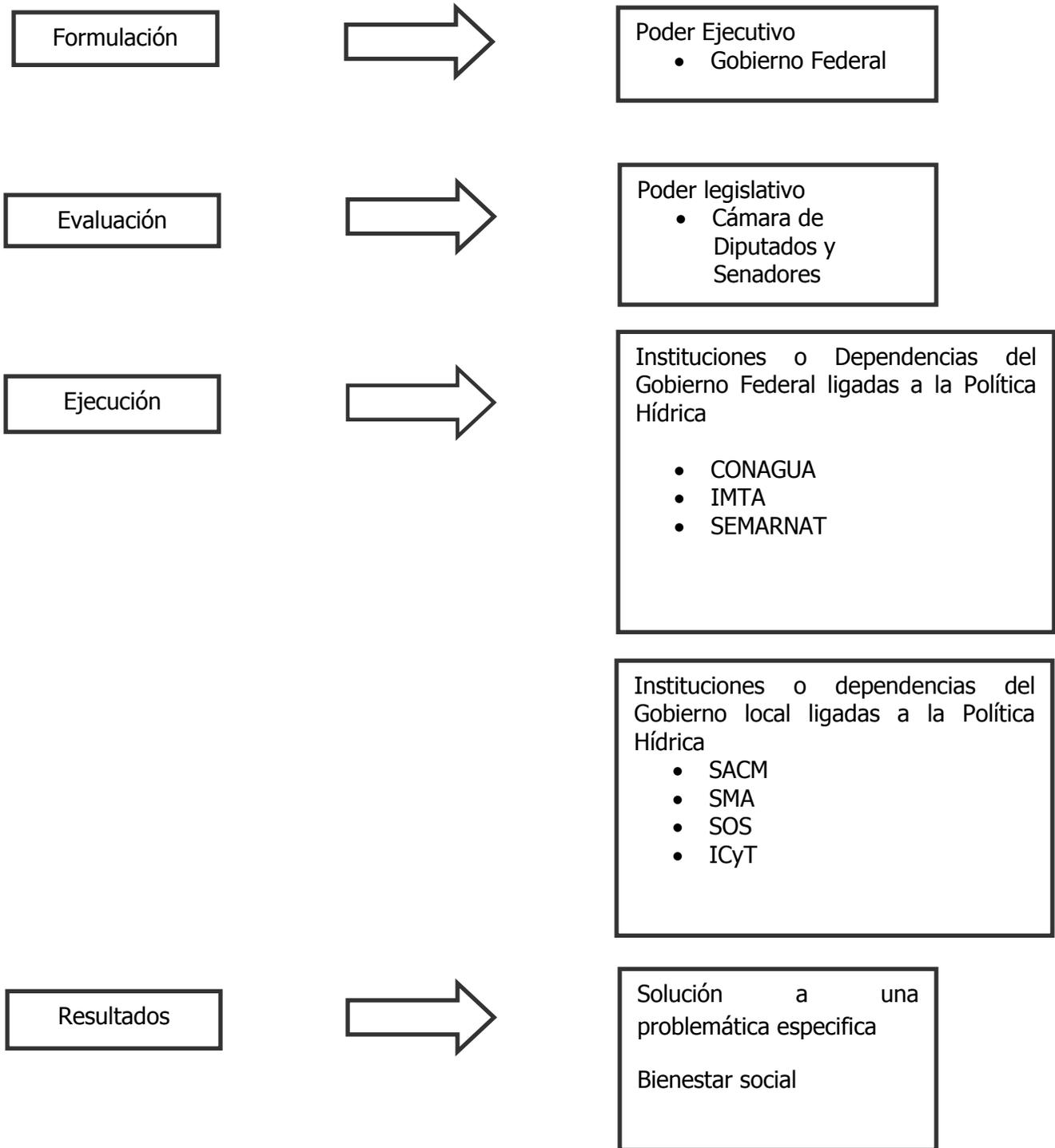
La política es un proceder propositivo, premeditado, planeado, no simplemente reactivo o casual. Debe incluir lo que intencionalmente persigue y lo que realmente ocurre como resultado de la intención. Cualquier uso del término que excluyera los resultados no intencionales, indeseados sería seguramente muy pobre, por consiguiente, se puede sugerir que la política debería ser identificada operacionalmente no tanto por sus objetivos como por la conducta que de hecho sucede y que trata de llevar a cabo los objetivos planteados (Hecló, 1972: X) citado por Aguilar (2003:27).

Ésta adquiere movimiento, mediante la decisión de lograr objetivos específicos a través de ciertos medios, bienes o recursos e instrumentos: por su carácter propositivo, referido a la realización de objetivos, la política denota las intenciones de las fuerzas políticas, principalmente de los gobernantes, y las consecuencias de sus actos (Rose, 1969: IX-X; Hecló, 1972: 84-86; Pressman y Wildavsky, 1973: XI-XII) citados por Aguilar (2003:24-25).

De igual forma, involucra el encadenamiento de actividades, decisiones o medidas coherentes por lo menos en su intención, tomadas principalmente por los actores del sistema político-administrativo de una nación, con la intención de resolver un problema social, lo que a su vez trae consigo bienestar a la sociedad.

En el cuadro 1, se muestran las etapas por las que atraviesa una política pública, así como los actores que inciden en ella; su éxito depende en gran medida de los objetivos planteados y de la interrelación e interacción que exista entre las instituciones involucradas, así como de los tres niveles de Gobierno.

**Cuadro 1.** Actores relacionados con la Política Pública - Hídrica



**Fuente:** Elaboración propia, basado en Aguilar, 2003.

Su análisis y estudio dentro de las ciencias políticas y de la sociología es relativamente reciente, el texto precursor de la disciplina data de 50 años de existencia y a pesar de ello, los desarrollos que se han dado posteriormente, han sido exitosos si particularizamos en la cantidad de referencias bibliográficas especializadas y a los diferentes enfoques abordados por la literatura existente (Kauffer, *s.f.*). Actualmente la política pública es considerada como un campo del conocimiento que muestra un significado interdisciplinario y una ciencia social especializada (Guerrero, 1993).

Según Bardach (2008:13-14), el análisis de la política pública constituye un arte más que una ciencia, este se basa tanto en la intuición como en el método, sin embargo es importante escoger entre un análisis muy estructurado o uno poco estructurado, en relación con el proceso de resolución a determinadas problemáticas, por ello y con el objeto de facilitar el análisis de una política determinada, este autor propone una técnica de análisis llamada el camino de los ocho pasos, conformada por la definición del problema, la obtención de información, la construcción de alternativas, la selección de criterios, la proyección de los resultados, la confrontación de costos, la toma de decisiones, y la exposición de resultados, es importante tener presente que no en todas las problemáticas se aplican todos los pasos y que no necesariamente tienen que llevar una secuencia, cuestiones relevantes, pero el objetivo central de este trabajo no es el analizar el trazo y ejecución de la política hídrica en el cambio tecnológico, sino analizar el comportamiento que ha ejercido sobre este, sin embargo se considera pertinente, mencionar los aspectos más relevantes de una política pública.

Para adentrarnos al significado de las políticas públicas, primeramente debemos hacer una distinción entre dos conceptos elementales, los cuales fueron introducidos por los anglosajones: ***politics*** y ***policy***.

De tal forma que si traducimos al español ***politics***, podemos entender que la política es la lucha por el poder, en este sentido cuando se estudia la política, en el curso de ***politics***, nuestros propósitos de estudio están constituidos por las fuerzas políticas, las instituciones legislativas y gubernamentales (Kauffer, *s.f.*).

Por el contrario, si nos referimos a la traducción de la ***policy***, emana el concepto de políticas públicas o en su caso podemos hacer alusión a la política relacionada a algún sector en particular como la política social, política ambiental, política fiscal, política monetaria y/o política educativa etc., en cualquier caso cuando hablamos de política pública, se hace alusión a las acciones programadas y emprendidas por el Gobierno.

El término de ***policy***, se empleó por primera vez en 1951 por Harold Lasswell, quien realizó importantes aportes para el análisis de las políticas públicas (Lasswell, 1951) citado por Kauffer (*s.f.*). Una de sus contribuciones fue la distinción de dos acciones suplementarias o interdependientes: el conocimiento de y el conocimiento en. El primero se inclina por el análisis y el estudio del proceso.

El conocimiento en, tiene por objeto reunir datos y teoremas en el proceso de la toma de decisiones para el mejoramiento de la acción gubernamental. En concreto, mientras uno hace referencia a la parte teórica, el otro posee un carácter totalmente práctico. Estas contribuciones se encuentran profundamente vinculadas e involucran un entorno interdisciplinario (Kauffer, *s.f.*).

En los procesos de decisión, las instituciones deben optar por seleccionar la mejor opción entre una gama de políticas, las cuales se ajusten mejor a los objetivos trazados y las metas que se pretenden alcanzar, mediante criterios ya establecidos y la evaluación de las opciones con resultados pronosticados. Las acciones y omisiones por parte del Estado pueden causar problemas y consecuencias a la sociedad y solucionar o incrementar la problemática, por tal motivo es necesario evaluar los resultados, sean o no planeados desde un inicio (Cardozo, 1993:167).

El campo de acción, está compuesto por el análisis mismo de las políticas, este reúne tres objetivos: el saber, la acción o manejo y la formación. El saber creado intenta ser empleado a dificultades determinadas del proceder de la acción política o administrativa, de tal forma que converjan en múltiples dimensiones y resultados complejos, puesto que incluyen factores institucionales, actores, problemáticas y distintas ideologías.

La tarea del Gobierno está vinculada al diseño, gestión y evaluación de la política pública. Ante la necesidad de rendir cuentas por parte del Gobierno se ha propiciado el impulso de la evaluación de las políticas públicas, mediante la determinación de la eficacia de estas, a través de la comparación de los resultados de las mismas con los objetivos previamente establecidos y los recursos empleados para su ejecución. El proceso de evaluación constituye una actividad científica, y un actuar profesional en la elaboración de la instrumentación de una serie de mecanismos institucionales. Es una cuestión que está cobrando auge, pero es trascendental que los límites entre la política pública, el seguimiento, el control de la gestión, la asesoría, la investigación aplicada y la auditoría no han sido totalmente claras (Kauffer, *s.f.*).

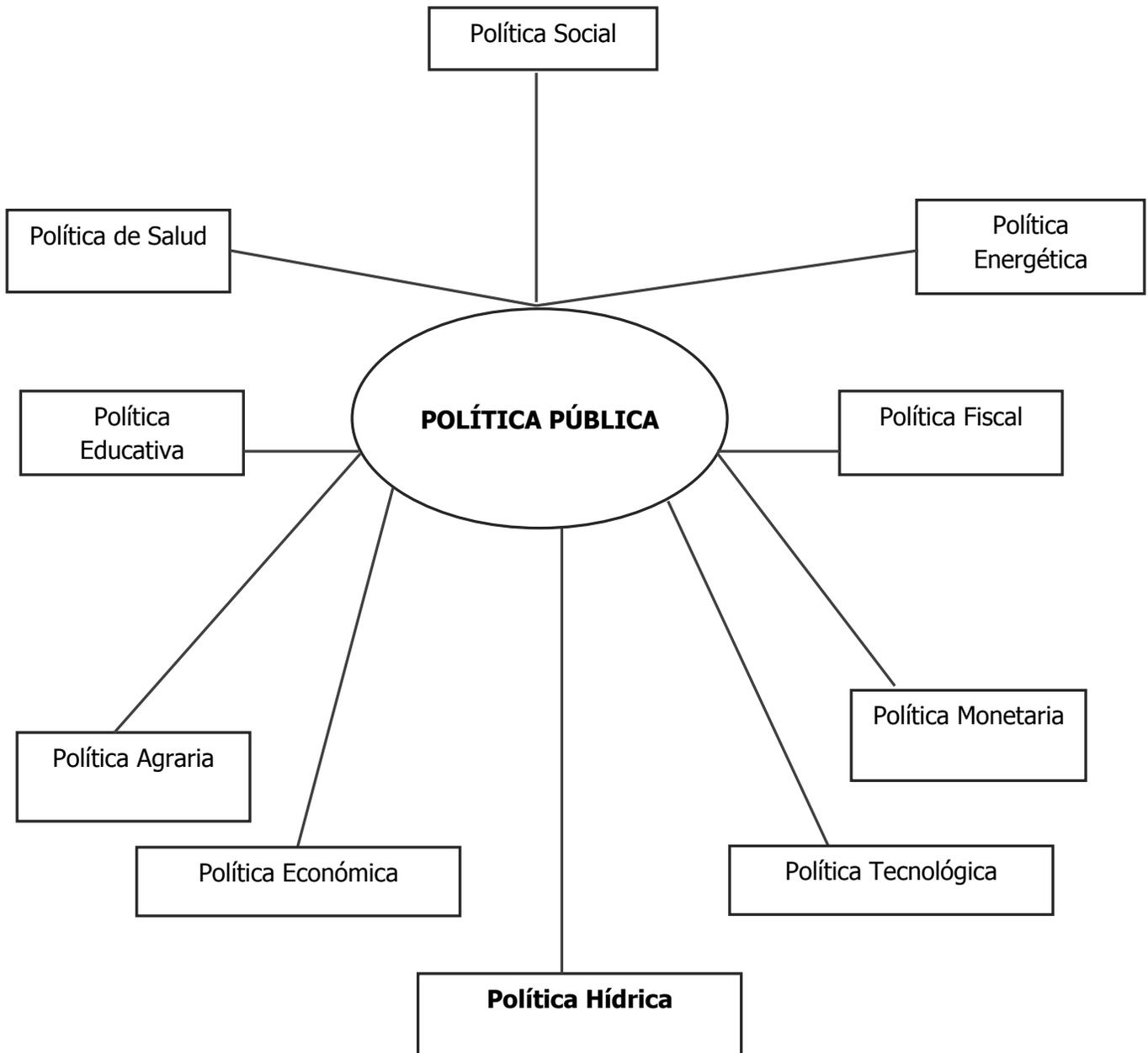
## **1.2 División de la Política Pública.**

Una política pública puede manifestar diversas cuestiones:

- ✓ Un campo de acciones emprendidas por el Gobierno.
- ✓ Una propuesta de acción específica.
- ✓ Un propósito general a realizar.
- ✓ Una situación social a realizar.
- ✓ La norma o las normas que existen para una determinada problemática.
- ✓ El conjunto de objetivos y programas de acción que tiene el Gobierno en un campo de cuestiones.
- ✓ La política como producto y resultado de una actividad específica gubernamental.
- ✓ El comportamiento gubernamental.
- ✓ El impacto real de la actividad gubernamental.
- ✓ El modelo teórico o la tecnología aplicable en que descansa una iniciativa gubernamental (Aguilar, 2003:23).

El impacto y resultado de la política pública estará en función de la cuestión que se persiga, pero sobre todo de la problemática, sector u actividad económica a la que se desee aplicar. La figura 1, muestra la gran división de la política pública por sector.

**Figura 1.** División de Política Pública



**Fuente:** Elaboración propia basada en Aguilar, 2003; Escolano, 2000; Tolosa, 2000 y Golf, 2000.

Asimismo, es importante, destacar que independientemente del tipo de política pública o al sector al que se aplique, la aplicación requiere de la existencia de instituciones, que son los entes que instrumentan y crean la infraestructura necesaria para llevarlas a la práctica. A su vez, las instituciones requieren de medios que permitan la operatividad de las políticas públicas. Esos medios son los canales a través de los cuales los ejecutores de las políticas públicas logran influir en la toma de decisiones de los actores. En este caso, el interés está en la política hídrica y su efecto en la toma de decisiones vinculadas al cambio tecnológico en las plantas tratadoras de agua del Distrito Federal.

De acuerdo con Sagasti (1981), una política pública debe contar con los siguiente instrumentos: a) un dispositivo legal (leyes, decretos, reglamentos o cualquier otra disposición legal), que contiene al conjunto de incentivos que estimulan o inhiben comportamientos; b) una estructura organizacional que involucra a las instituciones y sus funciones; y c) mecanismos operativos, que son medios de aplicación de la política pública. En la presente investigación, se analizan los tres elementos: a) los aspectos legales en relación al tema hídrico en el Distrito Federal; b) las instituciones involucradas; y c) los mecanismos que aplican. Para finalmente, analizar el efecto en el cambio tecnológico en la infraestructura hídrica para el tratamiento de aguas residuales en el Distrito Federal.

### **1.3 Importancia de la Política Pública**

La injerencia por parte del Gobierno en la actividad económica mediante diversas medidas de política pública se debe a dos factores básicamente:

Por una parte, a la capacidad que posee la política para optimizar la situación o problemática a la que se le desea darle solución, esto es la eficacia frente a la no intervención.

El siguiente aspecto se sustenta en el propio hecho sobre el que se desea intervenir, lo cual trae consigo un conocimiento anterior del cómo se vincula la actividad económica sobre la cual se proyecta emplear la política en cuestión (Fonfría, 2002).

La necesidad de la intervención gubernamental a través de medidas de política pública se fundamenta en los siguientes argumentos:

1. El progreso tecnológico puede no avanzar en la dirección deseada, conducido por una inapropiada colocación de recursos o patrones distorsionados de industrialización.
2. Los retornos de la investigación científica son tan a largo plazo que no puede esperarse que las fuerzas del mercado fortalezcan la inversión privada en I+D en áreas beneficiosas para la sociedad (Peña, 2003:59).

De tal forma que la política pública debe ajustarse y coordinarse de modo que promueva la solución a la problemática que se presente sin poner en peligro la cohesión social (Fonfría, 2002).

Los nuevos retos requieren de una organización de las responsabilidades por parte de los tres niveles de Gobierno: nacional, estatal y municipal, con la intención de consolidar el marco de acción de la política pública, así como de su ejecución por parte de las instituciones responsables.

Específicamente el efecto de la política pública en los procesos de innovación se ha estudiado desde diferentes enfoques. En el modelo de Sistema Nacional de Innovación, se reconoce a un conjunto de actores involucrados en el proceso de desarrollo tecnológico, facilitando el análisis de las interacciones entre empresas, generadores de tecnología, consumidores y patrones de cambio

tecnológico, como base para el desarrollo de políticas públicas (Solleiro, Luna y Castañón, 2009). En este enfoque se encuentran autores como Lundvall (2002), Nelson (1993) y Lall (1992).

Por su parte, Porter (1990), como principal exponente del modelo de competitividad, también reconoce la importancia de las políticas públicas para promover el cambio tecnológico como principal instrumento para alcanzar la competitividad a través de productos innovadores que respondan a las necesidades de la demanda.

En el enfoque evolucionista, Dosi y Capadville (2003), exponen que los ámbitos micro económico, meso económico y macro económico son las bases sobre las cuales se desarrollan las capacidades tecnológicas de las empresas que llevan a la innovación, así mismo, destaca el papel de las instituciones y de la política pública como agentes impulsores de tal proceso.

En el modelo de capacidades nacionales, Stern, Porter y Furman (2000), reconocen la necesidad de una infraestructura común para la innovación, misma que ubica a la política gubernamental como un instrumento que favorece al desarrollo tecnológico.

Por su parte, en el esquema de redes para la innovación, Niosi, et. al. (1993) considera al Estado como el principal agente detonador de la innovación, puesto que es el elemento que tiene tanto la capacidad para organizar a diferentes actores, como para financiar y abarcar varios desarrollos tecnológicos.

Los enfoques abordados dan evidencia del efecto de las instituciones y de la política pública en el país, estos elementos pueden contribuir a fortalecer o debilitar las capacidades tecnológicas de las empresas y, por lo tanto, afectar al proceso de innovación.

En suma, en este trabajo, se reconoce que el efecto de la política pública en el desarrollo tecnológico está inmerso en los ámbitos macro económico, meso económico y micro económico. Los modelos expuestos proporcionan los elementos teóricos que sustentan el supuesto del que parte esta tesis: la política hídrica debe tener algún efecto en el proceso del cambio tecnológico de la infraestructura disponible para el tratamiento de aguas residuales.

La política pública debe ser el medio de integración de esfuerzos entre los diferentes actores, tal que contribuya a fortalecer las capacidades tecnológicas de las empresas necesarias para la administración y generación del cambio tecnológico (Cimoli, 2000). La presente investigación se inscribe en este tenor de ideas, específicamente en el ámbito de la política hídrica y el cambio tecnológico en la infraestructura para el tratamiento de aguas residuales.

La cuestión es que el agua es un bien que genera un mercado no perfecto, en virtud, de la dificultad de establecer precios para su venta que sean justos para todos y no generen fallas de mercado. En especial, en relación al tema de tratamiento de las aguas residuales, que es lo que nos ocupa, la pregunta es ¿la empresa que realiza esta actividad tiene incentivos a cambiar su infraestructura? ¿Una regulación más estricta obligará a tener tecnologías más eficientes? Es decir, ¿la política pública puede inducir al cambio tecnológico?

#### **1.4 Medición del Cambio Tecnológico**

La noción de cambio tecnológico se ha concebido desde la economía clásica. Adam Smith, fue uno de los principales percusores explica cómo la división de trabajo lleva a la especialización y, por ende al mayor aprendizaje. Por su parte, la economía neoclásica concibe el cambio tecnológico como la respuesta lógica al cambio en la asignación de factores de la producción de la empresa, asimismo, supone que la tecnología se da por una función de producción que es conocida por

todas las empresas y además todas las empresas tienen acceso a la misma tecnología (Corona, 1999).

El planteamiento neoclásico, implica que los conjuntos de producción están dados, y que las empresas los conocen, por lo que, bajo el supuesto de racionalidad, siempre saben cuál es la tecnología disponible y siempre trabajan en el óptimo. De tal forma, que sí se ejerciera gasto en investigación y desarrollo (I&D) para tener un nivel tecnológico más alto, el resultado se conoce. Por tanto, sí no invierten en I&D es porque esto lleva a un desplazamiento de su curva de isocostos que excede a sus ganancias. Así pues, bajo este planteamiento si existe rezago tecnológico en la infraestructura de tratamiento de aguas residuales, es porque la empresa sabe que no es rentable invertir en el cambio tecnológico. En este contexto, obligar a la empresa a cambiar su tecnología requiere de esquemas de regulación estrictos, mismos que afectarán al mercado, por lo que, bajo la perspectiva neoclásica no son recomendables tales esquemas.

Solow (1957), es el pionero en reconocer que una parte del incremento de la producción al cambiar los factores de la producción, no es resultado de las cuotas de cada factor, existe un residual. A ese residual, le llamo cambio técnico. No obstante, considera que éste es exógeno a la empresa.

A diferencia de los autores anteriores, en el modelo evolucionista (post – Schumpeteriano), incipiente en los años setenta, el cambio tecnológico se explica de forma endógena a la empresa: ésta es el actor principal y se enfrenta a un medio ambiente de incertidumbre. Bajo este enfoque la empresa requiere de procesos acumulativos y de aprendizaje para desarrollar tecnologías. Se postula que el cambio tecnológico es una fuerza fundamental en el proceso de transformación económica, pero se enfoca al proceso mismo de conversión de insumo a producto (Dosi, 1988).

En este contexto, Gomulka (1990: 14) señaló que el progreso tecnológico ocurre cuando un subconjunto de técnicas eficientes aumenta o cuando una nueva técnica domina una o más técnicas eficientes, por lo cual éstas se convierten posteriormente en ineficientes. En tanto que Amable, et. al. (1997) reconoció que el cambio tecnológico implica entre otros aspectos a "la elaboración de nuevos conocimientos, que dan lugar especialmente a la creación de nuevos bienes económicos, y la difusión de esos conocimientos". En el enfoque evolucionista se reconoce a la empresa como el ente generador de innovaciones y promotor del cambio tecnológico, pero bajo un contexto institucional que genera incentivos para tales actividades, facilitando el fortalecimiento de capacidades tecnológicas y, por ende, de la competitividad, al promover la innovación. En este marco, se reconoce la importancia de las políticas públicas, como ya se explicó.

Así pues, bajo el enfoque evolucionista las empresas son los agentes centrales para promover el cambio tecnológico en la infraestructura para el tratamiento de aguas residuales, pero la política pública genera el ambiente adecuado de interacción que facilite el acercamiento entre demanda y oferta tecnológica. La demanda es un detonante del desarrollo tecnológico, puesto que es reflejo de las necesidades de la sociedad, pero la oferta tecnológica da cuenta de las oportunidades tecnológicas, proporciona el estado técnico, en este sentido condiciona al cambio tecnológico.

Así pues, en apego a la definición de cambio tecnológico de Gomulka (ibídem) y considerando el enfoque evolucionista, en esta investigación se asume que el cambio tecnológico es gradual, incremental y depende de los desarrollos anteriores. En este sentido, la construcción de una trayectoria tecnológica permite analizar el proceso de cambio tecnológico.

El análisis del cambio tecnológico permite evaluar el progreso en las distintas categorías de la innovación, la evaluación de los países que son líderes y

cuales se están quedando en sectores específicos, analizar los diversos controladores de la innovación y la proyección del impacto económico aunado a los daños ambientales (Oltra, Kemp y De Vries, 2009:3).

El desarrollo de nuevas tecnologías y equipos más eficientes para el tratamiento del agua residual es de vital importancia, debido al impacto que ejerce al medio ambiente y la escasez persistente de agua potable. El análisis de la evolución de las tecnologías (trayectoria tecnológica) y equipos involucrados durante el proceso de tratamiento permitiría a las empresas dedicadas a su fabricación, crear tecnologías más eficientes, accesibles en costo y por consiguiente, aumentar la productividad de las plantas tratadoras.

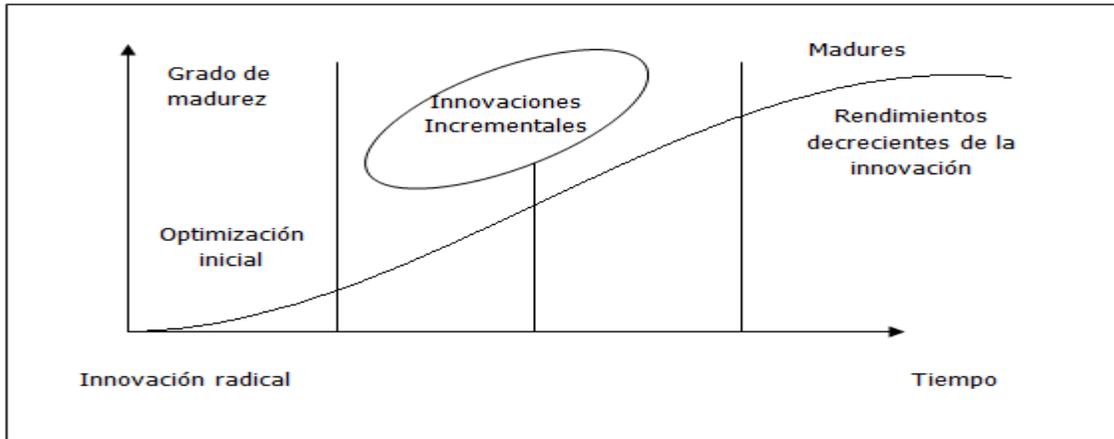
### **1.5 Trayectoria Tecnológica**

La trayectoria tecnológica expresa en forma analítica, el carácter fundamentalmente acumulativo y evolutivo del desarrollo y del cambio de tecnologías a medida que se difunden y se emplean en la producción y los servicios (Dosi, 1984-1988) citado por (Hernán, 2006:2).

Su evolución es un proceso complejo, debido a que estas se encuentran interconectadas en el marco de sistemas inextricablemente unidos e interdependientes, tanto en el medio físico, social e institucional (Pérez, 2001).

Aunque presentan distintas variaciones, muchas tecnologías suelen seguir una sucesión similar de fases en el ritmo, la dirección de cambio y en la mejora, desde la innovación inicial hasta el pleno desarrollo que coincide aproximadamente con la evolución de sus mercados; desde la entrada hasta la saturación.

**Figura 2.** Trayectoria Tecnológica, evolución de una tecnología.



**Fuente:** Dossi, 1982-1988 y Wolf, 1912 citados por Pérez, 2001.

Posteriormente de que una innovación radical conlleva a la aparición de un nuevo producto capaz de crear un nuevo mercado, hay un lapso de tiempo en que se registran más innovaciones y una optimización, en la cual el producto ha sido aceptado en el segmento correspondiente del mercado, una vez llegado a este punto, se determina la dirección de las mejoras y la definición de un diseño dominante (estandarización de la tecnología); en esta etapa y a medida que se expanden los mercados, se registran innovaciones incrementales de forma continua para la incorporación de mejoras al producto, la productividad del proceso y la situación presente de los productores en el mercado. Finalmente, se llega al pleno desarrollo o madurez, cuando una inversión adicional en innovaciones produce rendimientos decrecientes. Dependiendo de la importancia e impacto del producto o tecnología, todo el proceso puede durar pocos años o incluso decenios. En este caso, las mejoras suelen comportar una sucesión de modelos.

Después de las primeras innovaciones, los que están en la frontera del conocimiento y desarrollando la tecnología adquieren ventajas, no solo mediante la protección vía patentes, sino también, por las capacidades generadas con el desarrollo de la tecnología, el proceso y los mercados (Pérez, 2001).

Por otra parte, según Pérez (2001:2) un paradigma tecno-económico es un conjunto de tecnologías ubicuas y principios organizativos genéricos que conforman y condicionan las oportunidades en cada periodo. Dado que cada revolución tecnológica conduce a un cambio de paradigma, es vital comprender sus principales características, debido a su aplicación puede rejuvenecer la mayoría de las tecnologías establecidas y experimentadas y servir de criterio para el diseño de instituciones adecuadas y políticas eficaces.

Una vez expuesto lo anterior, cabe señalar que el presente trabajo, se abordará desde el ámbito del concepto desarrollado por Dosi (trayectoria tecnológica) en el que se establecen los cambios que experimentan las tecnologías en el tiempo, de manera discreta e incremental.

En este sentido, la patente, es un documento que refleja, a través de las reivindicaciones, los avances tecnológicos respecto a las patentes anteriores. Autores como Lanjouw y Mody (1996) y Jaffe y Palmer (1997) y Popp (2001) han estudiado la relación entre cambio tecnológico en medio ambiente y política pública a través del análisis de patentes.

En la realización de este tipo de análisis, las patentes son una parte fundamental al poseer información tecnológica actual, admiten realizar estudios acerca del estado del arte en diversos campos de la técnica. La información de índole legal, implícita en los documentos de patentes simultáneamente con la información técnica, permite observar las tendencias tecnológicas, hacer estudios de prospectiva y vigilancia tecnológica (Ramos y García, 2005).

Las patentes ofrecen datos desagregados entre los que destacan la nacionalidad de la tecnología y las reivindicaciones; información que servirá de base para determinar si hubo cambio tecnológico en los equipos que se emplean en el tratamiento de las aguas residuales de la planta Cerro de la Estrella.

Este tipo de estudios son importantes, porque permiten conocer el tipo de tecnologías previas a cada desarrollo, mismas que dependiendo de sus características pueden condicionar a la empresa a involucrarse en una nueva tecnología, dados los costos de transición. Así pues, el precio de una tecnología condiciona la sustitución de cada técnica, contribuyendo al rezago tecnológico, sobre todo cuando se trata de infraestructuras de alta escala, como es el caso de la infraestructura para tratamiento de aguas residuales. Por lo que para el estudio específico de esta tesis, se tomará en cuenta la fecha en la que se adquirieron los equipos, a fin de valorar entre la vida útil del equipo y la falta de inversión para renovar esos equipos.

La construcción de la trayectoria tecnológica es fundamental para ubicar la posición del desarrollo tecnológico en México en relación a la tecnología de interés, en relación al desarrollo mundial, a fin de evaluar las razones por las que ha sustituido o no su tecnología y el efecto de la regulación en esta área.

## **1.6 Trabajos Empíricos sobre aguas residuales**

El tema del saneamiento y tratamiento de las aguas residuales, ha sido poco abordado en la literatura acerca de gestión integral de cuencas, como resultado de la escasez más que por su calidad, sin embargo una visión holística debería de integrar la preocupación por el suministro, tratamiento, reúso y distribución para minimizar los efectos ambientales a los cuerpos receptores y tierras agrícolas (Pacheco, 2004 y 2005).

El análisis de las aguas residuales, excepto en la ingeniería, ha tenido dos vertientes principales: en primer lugar, la epidemiológica, preocupada por los efectos que puede causar en la salud, en segundo plano, la vertiente social, en la que el trabajo se ha enfocado a los aspectos antropológicos y sociales de su utilización, primordialmente para su irrigación. En ambas líneas de investigación existe la inquietud por los efectos que las aguas residuales pueden tener en actividades agrícolas, las cuales en muchas ocasiones son empleadas en climas árido y semiárido como consecuencia del precio en estas zonas.

En el ámbito epidemiológico, resaltan trabajos como el de Enrique Cifuentes, del Instituto Nacional de Salud Pública, personaje que más ha documentado los efectos de la contaminación en la salud en México. Sus trabajos en el Valle del Mezquital y el área irrigada de Xochimilco demuestran que hay factores perjudiciales, tales como actividades antropogénicas y aumento de asentamientos humanos, existe también una relación entre enfermedades gastrointestinales y el consumo de agua contaminada (Cifuentes, et al. 2000; Cifuentes, et al. 2005; Cifuentes y Rodríguez, 2005).

En aspecto social, predominan los trabajos de Tortajada, Ávila, Peña, Cirelli y Pacheco. Uno de los primeros intentos por vincular la política ambiental con los aspectos de la política hídrica lo llevó a cabo Tortajada (2002), en donde señala que siempre existe cierto distanciamiento entre ambas políticas, a pesar de que las dos emanan del mismo aparato gubernamental, Ávila (2002) por su parte, detalla el caso de Morelia, en que la falta de tratamiento de las aguas residuales causo un efecto negativo en el lago de Cuitzeo. Peña (2002), relata la forma en que para los agricultores el agua residual se ha convertido en vital para sacar adelante sus cultivos, cuando para el resto de la sociedad podría considerársele como una amenaza para la salud.

Cirelli (2000), ha analizado el uso de agua residual en la agricultura periurbana de San Luis Potosí y finalmente, Pacheco (2005), señala la necesidad de unificar el discurso ante una situación que ya no se puede aplazar más; la escasez, contaminación, tratamiento y reúso, a través de un enfoque multidisciplinario y conformado.

En la vertiente tecnológica, de acuerdo a datos oficiales del IMTA(2010:1), especialistas en Ingeniería Hidráulica, Rigoberto Carlos Rodríguez García, Lina María Cardoso Vigueros, Violeta Escalante Estrada, Marco Antonio Garzón Zúñiga, Armando Gómez Navarrete, Ivette Reneé Hansen Rodríguez, Petia Mijaylova Nacheva, Fernando Pozo Román, Mercedes Ramírez Camperos, Armando Rivas Hernández, Luciano Sandoval Yoal y Ana Cecilia Tomasini Ortiz, trabajan en el desarrollo, adaptación y transferencia de tecnologías para la conducción, tratamiento, almacenamiento y reúso de aguas residuales, la coordinación de investigación aplicada en temas estratégicos, consultoría y el fomento de la cooperación técnica a nivel internacional en materia de tratamiento y calidad del agua, la realización de pruebas de tratabilidad del agua residual para evaluar y optimizar los procesos unitarios y determinar el tren de tratamiento óptimo, asesorar a dependencias federales y competentes en atención de asuntos relacionados al tratamiento y calidad del agua, llevar a cabo convenios de colaboración con universidades, centros de investigación y empresas del sector privado, así como evaluar su desempeño, evaluar el impacto ambiental de obras hidráulicas, participación en el trazo de normas criterios técnicos para el tratamiento y reúso de aguas y lodos residuales municipales e industriales para no generar problemas de salud pública y evaluar la eficiencia de nuevos sistemas de tratamiento no convencionales.

En el plano internacional, resalta el trabajo de Rosso, Lory, Larson, y Stenstrom, el cual enfatiza en aspectos relevantes de la tecnología de lodos convencionales para el tratamiento de las aguas residuales, así como la importancia de la aireación durante el proceso, la cual consume entre el 45-75% del total de la energía que se requiere. Estos autores señalan la necesidad de emplear difusores de poro durante la aireación al ser más eficientes sobre la base del consumo energético y por su capacidad de transportar el aire comprimido a través de la producción de pequeñas burbujas, mediante pequeños orificios o poros, ya sea en membranas perforadas o material poroso como la cerámica, piedras o plástico. Actualmente, los difusores de poro se han convertido en la tecnología estándar en las plantas de tratamiento de aguas residuales en los países desarrollados.

Para efectos de la presente investigación, se estudiará la política hídrica del Distrito Federal y su efecto en el cambio tecnológico en la infraestructura de tratamiento de aguas residuales. Dentro de Política Hídrica se abordará todos los elementos que la integran conforme a Sagasti (1981), en el segundo y tercer capítulo. En relación a cambio tecnológico se estudiará a través de la construcción de la trayectoria tecnológica, con base en el análisis de patentes, a fin de posicionar a México en relación al mundo y finalmente en el cuarto capítulo de forma cualitativa, se analizará el efecto de la política hídrica en el cambio tecnológico.

## **CAPÍTULO 2. Antecedentes de la Política Hídrica**

### **2.1 Contextualización de Política Hídrica en el D. F.**

La Gestión Integral de los Recursos Hídricos en México (GIRH), es un enfoque de política pública; incremental y adaptativo, que persigue el desarrollo y manejo coordinado del agua, la tierra y los recursos relacionados. Está orientada a propiciar que el aprovechamiento de los recursos hídricos, se dirija hacia la consecución de objetivos nacionales de desarrollo económico y social, bajo criterios de equidad y sostenibilidad ambiental (Valencia, Díaz y Vargas, *s.f.*).

La política hídrica, se divide en dos periodos. La primera va del año de 1940 a 1982, caracterizada por el crecimiento demográfico y su concentración en los centros urbanos, aunado al desarrollo de la industria y el agotamiento y contaminación de las fuentes hídricas a nivel nacional, propició que el Estado emprendiera políticas para proveer de servicios y bienes urbanos que la población requería; agua potable y alcantarillado. Una de las obras más importantes en la década de los 50 y 60´s fue la ampliación de la red de agua potable.

En el ámbito local y con el objeto de atender problemas relacionados al hundimiento del Distrito Federal, provocado por la explotación intensiva del acuífero, se formulo el Plan Hidráulico del Valle de México 1958-1964, en el se establecieron los objetivos, metas y programas de acción para el aprovechamiento integral de los recursos hídricos, a través del correcto control, conservación, protección y distribución del agua. El proyecto del Emisor oriente fue uno de los programas llevados a cabo y contenidos en el Plan.

En 1972, se expide por primera vez la Ley Federal de Aguas, en la que se establecen por primera vez las funciones de las instituciones federales en materia de recursos hídricos, así como la regulación concerniente a las aguas residuales.

Para la segunda etapa de la política hídrica a mediados la década de ochentas, el 72% de la población tenía acceso al agua potable, el 82% de la población urbana contaba con este servicio y tan solo el 49% de la población rural tenía acceso a este. En lo que concierne al servicio de alcantarillado, solo el 49% de la población contaba con el servicio, además se plantearon tres líneas complementarias al Plan Nacional de Desarrollo 1989-1994 que contemplaron la construcción y ampliación de la infraestructura, la instrumentación de medidas para lograr una mayor eficiencia en el uso del agua y la reducción de la contaminación de corrientes y cuerpos de agua (Martínez, 2009:8).

De acuerdo con lo establecido en la Ley de Aguas del Distrito Federal expedida en el año 2003, la Política Hídrica tiene por objeto la promoción del manejo y desarrollo del agua, suelo y recursos relacionados de forma que se maximice el bienestar social, económico y ambiental que resulte de manera equitativa y sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas,<sup>1</sup> así como del trazo y establecimiento de las Políticas Hídricas que hagan posible el desarrollo sustentable en el Distrito Federal, la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, la Ley de Aguas Nacionales, la Ley General para el Desarrollo Forestal, la Ley General de Vida Silvestre, la Ley Ambiental, la Ley de Desarrollo Urbano del Distrito Federal, el Programa General de Ordenamiento Ecológico, los Programas de Desarrollo Urbano y demás ordenamientos jurídicos aplicables y la definición de la política para la administración integral de los recursos hídricos en materia de operación y ampliación de obras de abastecimiento de agua potable, pluvial, drenaje, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales, así como su reúso en actividades domésticas, comercial, industrial o para cualquier otra actividad que no requiera del empleo de agua potable.

---

<sup>1</sup> En este trabajo, solo se hará referencia a la parte de Política Hídrica concerniente a la gestión del tratamiento de las aguas residuales en el Distrito Federal.

Sin embargo, el comportamiento de la Política Hídrica del Distrito Federal presenta divergencias con lo establecido en la Ley de Aguas, la cual hace énfasis en el uso equilibrado y equitativo de los recursos naturales, sin comprometer la sustentabilidad para las futuras generaciones y los principios operativos del desarrollo sustentable.

Uno de los factores que ha empeorado la situación del agua en el Distrito Federal, es el crecimiento poblacional de los últimos 20 años, que ha venido acompañado por una política hídrica cuyo objetivo, es el de aumentar la oferta de agua a consecuencia de los incrementos en la demanda, dando como resultado la sobreexplotación de las fuentes más importantes para el abastecimiento. El Distrito Federal, es la región más importante en el ámbito económico, político y social a nivel nacional. Su crecimiento demográfico concentra hasta el año 2005, una población de 19,239,910 habitantes en una extensión de 7,854 km<sup>2</sup> y una densidad poblacional de 2,450 individuos por km<sup>2</sup>, siendo la más alta del país y una de las ciudades con mayor densidad poblacional en el mundo (Morales y Rodríguez, 2009).

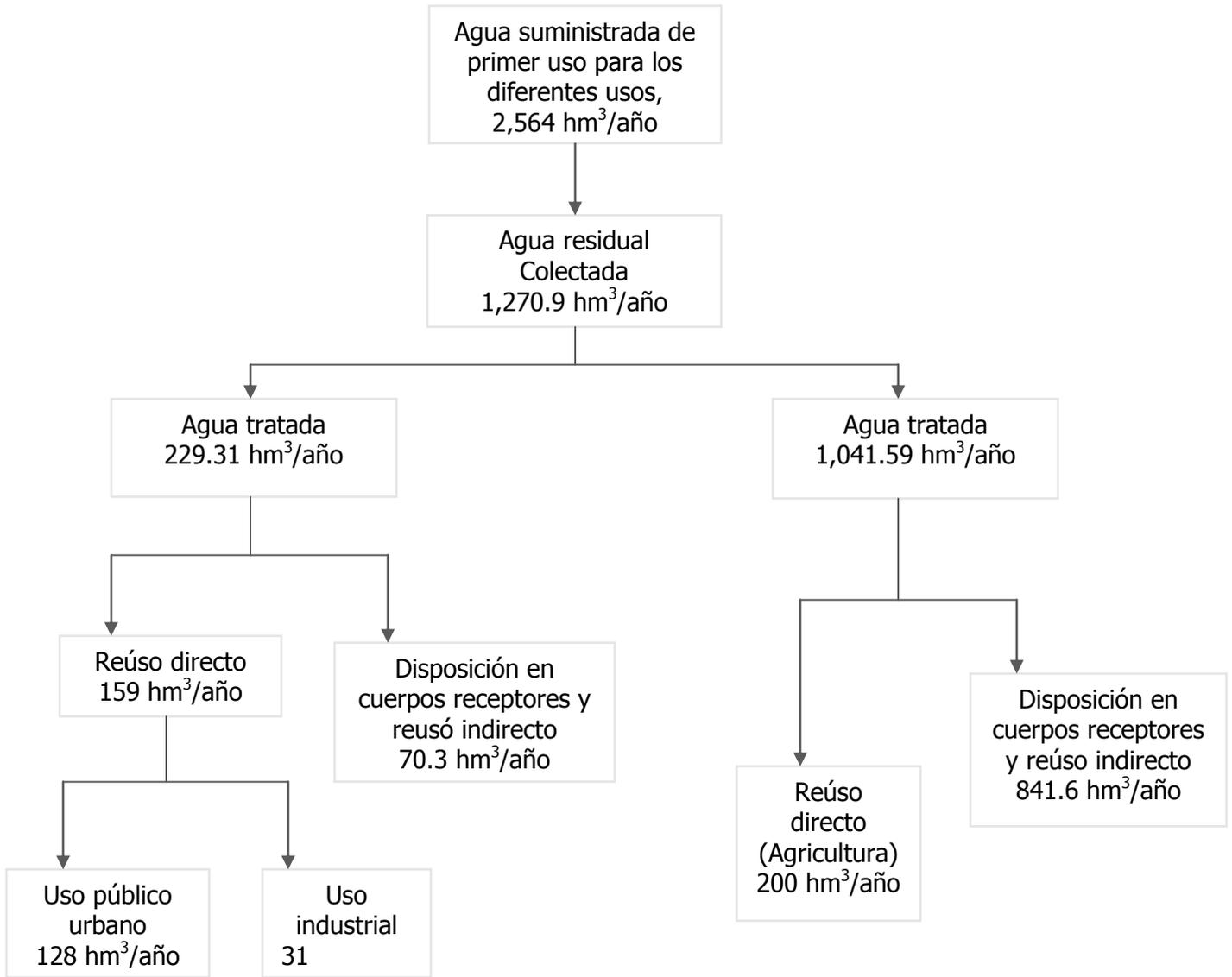
La demanda de agua en el Distrito Federal, es de 2,922hm<sup>3</sup> anuales que se refleja en una extracción per cápita media anual de 151.8m<sup>3</sup>, equivalente al suministro de 272litros por habitante al día, para cubrir esta demanda que se ha ido incrementado en las últimas décadas, los acuíferos de la ciudad han sido objeto de sobreexplotación, lo cual hace necesario la importación de agua de cuencas como el Río Lerma y el Sistema Cutzamala (Morales y Rodríguez, 2009).

En este sentido, el tratamiento y reúso de las aguas residuales se perfilan como una opción viable para cubrir las necesidades de abastecimiento permanentemente y disminuir el daño ambiental causado a los cuerpos de agua.

Por otro lado, el agua que se colecta en los ductos del drenaje del Distrito Federal, proveniente del uso domestico o en su defecto industrial es de 1,270.9 hm<sup>3</sup> al año.

Este volumen representa el 50% del agua suministrada de primer uso que asciende a 2,564 hm<sup>3</sup> por año (Morales y Rodríguez, 2009), mientras que el agua residual que se genera y recibe algún tipo de tratamiento es de 229 hm<sup>3</sup>, lo que representa un 18% del total del agua residual, quedando sin tratamiento un poco más de la quinta parte y teniendo como destino final la descarga hacia cuerpos de agua superficial y empleada para riego. Figura 3.

**Figura 3.** Recorrido del agua (uso, reúso y descarga)



**Fuente:** Morales y Rodríguez, 2009:42.

El 69% de las aguas residuales tratadas, es de reuso directo; estas son encaminadas en un sistema de distribución, mismo que incluye depósitos naturales para realizar la entrega al usuario final y el 31% se destina al reuso indirecto; las aguas tratadas (o no) ingresan a un cuerpo de agua superficial o subterráneo y pasan a ser parte del agua que posteriormente podrá ser empleada en la industria, ello puede traer graves daños y tener repercusiones en ríos y presas; fuentes de depósito de este tipo de aguas y la calidad de los suelos, etc. (Morales y Rodríguez, 2009). Por otro lado, el 19% del agua residual que no recibe tratamiento es enviada a los campesinos de la cuenca para uso agrícola.

Según la norma NOM-002-ECOL-1996, el total del volumen generado de aguas residuales, debe recibir tratamiento antes de ser vertidas a los cuerpos de agua de jurisdicción federal, sin embargo, en el Distrito Federal se continua con la descarga de aguas residuales domesticas e industriales a los cuerpos de agua, propiciando la contaminación de estos.

El agua residual empleada con o sin previo tratamiento es de 359 hm<sup>3</sup>, el cual representa el 12% de la extracción total del agua de la cuenca. Aunque con diferentes niveles de intensidad y tratamiento, todos los usos del agua que se presentan en el Distrito Federal demandan agua residual, y es evidente que es una fuente potencial de suministro, según Morales y Rodríguez (2009: 43), pero es un proceso que demanda una política hídrica coherente con sus lineamientos programados-alcanzados y acorde con las necesidades de infraestructura que el tratamiento de las aguas residuales requiere.

## **2.2 Instituciones relacionadas a la Política Hídrica**

A nivel federal, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, es la institución encargada del trazo de la política hídrica a nivel nacional; de la realización de los proyectos de ley, reglamentos, decretos y acuerdos concernientes al sector hídrico, así como de plantear la iniciativa de propuesta ante el Poder Ejecutivo.

En 1989, con el surgimiento de la Comisión Nacional del Agua, se inició la construcción de nuevas obras hidráulicas para aumentar la oferta de agua, al formar parte del sector medio ambiental y con la publicación de la Ley de Aguas Nacionales en 1992, la CNA empezó con la descentralización de funciones, a fomentar la participación social e incrementar la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos, de tal forma que desde la década de los ochentas y hasta la actualidad, la política hídrica se ha basado en el aumento de la oferta de agua sin tener en cuenta el agotamiento del acuífero y el tratamiento de aguas residuales como posible solución para mitigar la problemática de escasez que sufre el Distrito Federal (Valencia, Díaz y Vargas, 2004).

La CNA, es un órgano administrativo y desconcentrado de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, SEMARNAT, que se regula mediante las disposiciones de la Ley de Aguas Nacionales y sus reglamentos, de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal y de su reglamento Interior (Ley de Aguas Nacionales, 2008:12).

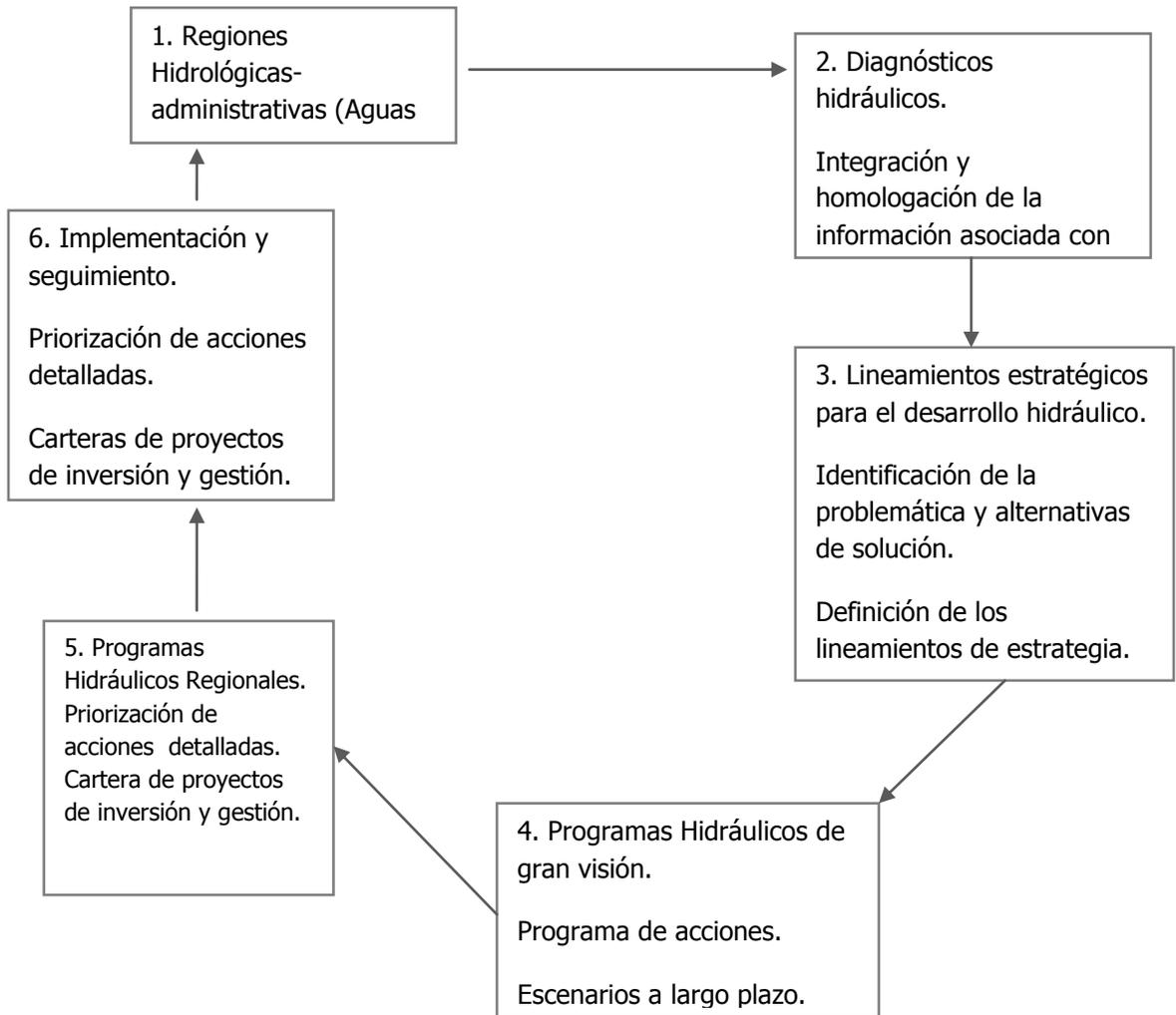
Entre las atribuciones que posee, la CNA está facultada para llevar a cabo la formulación de la Política Hídrica a nivel nacional y realizar la propuesta al representante del Poder Ejecutivo, a través de la SEMARNAT, así como dar seguimiento y evaluar periódicamente su cumplimiento. Asimismo integrar y proponer el Plan Nacional Hídrico, renovarlo y vigilar su cumplimiento, fomentar y apoyar la prestación de los servicios públicos urbanos y rurales de agua potable, alcantarillado, saneamiento, recirculación y reúso en el territorio nacional, para lo cual, tendrá estrecha comunicación y coordinación con los Gobiernos de las entidades federativas y a través de ellos con los municipios, sin afectar las disposiciones de los estados o los municipios en la prestación de dichos servicios. Apoyar el desarrollo de sistemas de agua potable y alcantarillado; los de saneamiento, tratamiento y reúso de agua residuales; los de riego o drenaje y los de control de avenidas y protección contra inundaciones, concesionar o descentralizar la prestación de servicios que sean de su competencia o que así convenga a los intereses de los Estados y por conducto de estos, con los municipios o con terceros. Propiciar y fomentar la investigación científica y el desarrollo tecnológico, la formación de recursos humanos especializados, así como la difusión del conocimiento referido a la gestión de los recursos hídricos, con el objeto de fortalecer sus acciones y mejorar la calidad de los servicios que ofrece, para lo cual se coordina con el Instituto Mexicano de la Tecnología del Agua (LAN, 2008).

En 1996, la Comisión Nacional del Agua, emprendió cambios esenciales con la mira de un manejo más eficaz del agua e incrementar la participación social, bajo la premisa de lograr un uso racional del recurso en colaboración con autoridades en el ámbito local en sus diferentes niveles, mediante la transferencia de funciones operativas.

Este proceso ha dado como resultado:

- La integración y homologación de la información concerniente al agua y sus diferentes usos.
- Definición de lineamientos estratégicos para el desarrollo hidráulico.
- Programas hidráulicos de gran visión (Programa Hídrico Nacional).
- Programas hidráulicos a nivel regional (Programa de Manejo del Agua del Distrito Federal).
- Integración de la cartera de proyectos hidráulicos (Valencia, Díaz y Vargas, 2004).

**Figura 4.** Proceso de Planeación Hídrica



**Fuente:** Valencia, Díaz y Vargas, 2004:204.

La figura 5, muestra las etapas por las cuales han atravesado las instituciones encargadas de la gestión, vigilancia y cumplimiento de los Planes y Programas del Agua, destacando el papel que desempeña el usuario (usuario receptor de servicios a usuario activo en la planeación hídrica) en cada una de las tres etapas por la que ha atravesado la normatividad, así como la importancia de las entidades federativas en el desarrollo e impulso del desarrollo hidráulico del país y la toma de decisiones, pasando de una planeación centralizada (Poder Ejecutivo) a una planeación descentralizada (autoridades locales).

**Figura 5.** Evolución de las instituciones encargadas de la Gestión del Agua

<b>Pasado reciente</b>	<b>Presente</b>	<b>Futuro</b>
Normativa (planeación y administración del agua).	Normativa (administración del agua).	Normativa con funciones de autoridad definidas (administración del agua).
Financiera, constructora y operativa (infraestructura urbana, hidro-agrícola y estratégica).	Financiera, constructora y operativa (infraestructura estratégica).	Apoyo técnico especializado.
Promotora del desarrollo (fortalecimiento de usuarios).	Organización por cuencas y regiones hidrológicas <sup>2</sup> .	Organización por cuencas y regiones hidrológicas (organismos de cuenca).
Organización estatal. Planeación centralizada.	Planeación participativa.	Autoridades locales promotoras del desarrollo hidráulico.
Autoridades locales con participación limitada en la promoción del desarrollo hidráulico.	Organización y fortalecimiento de usuarios y autoridades locales.	Usuarios organizados y responsables de los sistemas (sostenibles y eficientes).
Los usuarios son receptores de servicios e infraestructura.	Descentralización de programas Operativos. Consejos cuenca: participación de usuarios y autoridades locales en la planeación hidráulica regional.	Consejos de cuenca administrativa y financieramente sostenibles; desarrollo de infraestructura de beneficios comunes.

**Fuente:** Valencia, Díaz y Vargas, 2004:203.

<sup>2</sup> Cada región presenta características particulares que la hacen diferente de las demás.

Por su parte, el Instituto Mexicano de la Tecnología del Agua (IMTA), creado en 1986, es la institución a nivel federal encargada de llevar a cabo la planificación e instrumentación de programas y funciones para la investigación y desarrollo tecnológico en materia de agua, así como su respectiva gestión, además de implementar diversos talleres con el objeto de formar recursos humanos que el sector hídrico mexicano demanda, SEMARNAT (2008). Es un organismo público descentralizado, sectorizado a la SEMARNAT, entre sus principales atribuciones destacan: el mantener estrecha relación con organizaciones a nivel internacional vinculadas con el tema del agua y su gestión integrada, así como establecer relaciones de intercambio académico, tecnológico, con instituciones y organismos nacionales y externos. Implementar y probar instrumentos de gestión integrada de recursos hídricos para apoyar al sector y contribuir a la solución de problemas de esta índole, con base en datos oficiales de la LAN (2008), en este sentido la innovación y transferencia tecnológica pueden coadyuvar en la satisfacción de necesidades básicas de los diferentes grupos de usuarios (Valencia, Díaz y Vargas, 2004).

Entre las líneas de investigación que el IMTA lleva a cabo, destaca el diseño y desarrollo de sistemas de tratamiento de aguas residuales para su reúso en la agricultura, desarrollo, adaptación y transferencia de tecnologías apropiadas para el abastecimiento, almacenamiento, potabilización, aprovechamiento y tratamiento integral del agua en zonas marginadas y desarrollo de nuevas técnicas de tratamiento de aguas residuales domésticas (SEMARNAT, 2008:124).

En el ámbito local, el Sistema de Aguas de la Ciudad de México, es el organismo encargado de la elaboración, ejecución, evaluación y vigilancia del Programa de Gestión Integral de los Recursos Hídricos, como instrumento rector de la política hídrica (LANDF, 2003:6), así como de la operación de la infraestructura hídrica, prestación del servicio público del agua potable, drenaje y alcantarillado, tratamiento y reúso de las aguas residuales.

El SACM, surge en el año 2003 por decreto del jefe de gobierno en turno y ante la fusión de Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DGCOH) y la Comisión de Aguas del Distrito Federal (CADF). Es un organismo desconcentrado de la administración pública del Distrito Federal., adscrito a la Secretaría de Medio Ambiente (LADF, 2003).

Adicionalmente, el SACM tiene las siguientes atribuciones:

- Conducir el proceso para el tratamiento y reúso de las aguas residuales: planear, organizar y controlar los servicios hidráulicos en coordinación con las delegaciones.
- Participar en forma activa en la normatividad para el manejo de los recursos hídricos (tratamiento y reúso de aguas residuales).
- Hacer obligatorio el tratamiento de las aguas residuales, tanto a personas físicas como morales.
- Fomentar la sustitución de agua potable por agua tratada en cualquier actividad secundaria.
- Promover opciones tecnológicas, la investigación y desarrollo tecnológico para el manejo integral del agua.
- Fomentar la optimización en el consumo del agua, así como la implantación y operación de sistemas de tratamiento de aguas residuales, su reúso, así como el aprovechamiento del agua pluvial en actividades secundarias.
- Revisar y aprobar los proyectos de los sistemas de tratamiento de aguas residuales.
- Fomentar el reúso de las aguas residuales que se descarguen en el sistema de drenaje o bien, las que resulten de los procesos de tratamiento.
- Promover ante los usuarios, el desarrollo de infraestructura que permita un mayor aprovechamiento de las aguas residuales tratadas, con previa justificación técnica, económica y ambiental.
- Hacer obligatorio el uso de agua residuales en las siguientes actividades:

Servicios públicos; vida silvestre; acuacultura; giros mercantiles, riego de cultivo de forrajes y pastura; recarga del acuífero, siempre y cuando se cumpla con la normatividad para infiltración del subsuelo; industria, enfriamiento de motores y calderas; limpieza de edificios corporativos y utilización en mingitorios; lavado de automotores y limpieza de animales (LADF, 2003).

- Vigilar y hacer cumplir que las nuevas edificaciones cuenten con redes independientes de agua potable y agua residual tratada, además de sistemas para la cosecha de agua pluvial, debiéndose emplear en actividades que no conlleven el uso de agua potable.

Sin embargo y pese a las facultades que posee el SACM, las estadísticas y la literatura en cuanto al tratamiento obligatorio de las aguas residuales muestran un panorama totalmente diferente al planteado por la Ley de Aguas del Distrito Federal, en especial, en la planta que se tomara como objeto de estudio en la presente investigación y de la cual se hablara en el cuarto capítulo.

En un estudio realizado por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), sobre políticas públicas para el mejoramiento del desempeño económico, sitúa a México como uno de los países que han tenido un avance poco significativo en materia de tratamiento y reúso de aguas residuales, incluso muy por debajo de otros países miembros y países latinoamericanos (OCDE, 2006), por lo que es necesaria una comunicación interinstitucional en todos los niveles de Gobierno y de acuerdo a los lineamientos de la política hídrica, la participación de centros de investigación y universidades que puedan aportar conocimiento para el desarrollo de nuevas tecnologías (equipos), así como dotar de capacitación técnica al recurso humano (SEMARNAT, 2008).

### **2.3 Infraestructura y Tecnologías para el TAR en el D. F.**

Cuestiones como la generación, tratamiento y reutilización de las aguas residuales, son mínimamente analizadas en las Ciencias Sociales, puesto que lo que tiene mayor repercusión en la literatura es la escasez del vital líquido (Pacheco, 2007).

Según la Ley de Aguas Nacionales (2003), se consideran aguas residuales a aquellas que son provenientes de actividades domésticas, industriales, comerciales, agrícolas, pecuarias o de cualquier otra actividad que, por uso del cual haya sido objeto, estas contienen materia orgánica y otras sustancias químicas que alteran su calidad y composición original.

Anteriormente, el tratamiento y recuperación de las aguas residuales estaba bajo responsabilidad de los municipios, según se asienta en el artículo 115 constitucional, aunque en la práctica tanto los Estados como la Federación tienen un papel activo e importante al compartir dicha responsabilidad (Pacheco, 2007), como parte de la nueva visión sustentable a nivel local y nacional.

En México, aproximadamente al 23% del total del agua residual que se genera recibe algún tipo de tratamiento, datos precisos revelan que se generan 8.03 km<sup>3</sup> de aguas residuales en las ciudades y el 5.62 provienen de otras fuentes, primordialmente de actividades industriales (SEMARNAT, 2007). De este enorme caudal, solo se trata el 36% de las aguas residuales municipales y el 15% de las industrias (SEMARNAT, 2007:111).

Según estimaciones, en 20 años la cantidad de agua residual de los municipios se incrementó 60%, de las industrias el 272% y de la agricultura 170%. Aunque el número de plantas de tratamiento de agua para desechos municipales e industrias en México, se incrementó en casi siete veces en ese mismo periodo (de

399 a 2,709), sin embargo en términos de caudal tratado se continua por debajo de las necesidades que el país demanda (SEMARNAT, 2007:111).

Por otro lado, un estudio realizado por el Banco Mundial en 1995, muestra los grandes retos que enfrenta la política hídrica en recuperación de aguas residuales, al estimar que en México se requiere de una inversión de US\$2,900 millones para proporcionar agua potable y servicios de saneamiento a los habitantes de las grandes ciudades y de US\$12,000 millones al año durante 10 años para incrementar los estándares de suministro de agua potable y de aguas residuales a niveles razonables para toda la región de América Latina (Reynolds, 2002).

De esos US\$12,000 millones, US\$7,000 millones se destinarían a las aguas residuales, con US\$4,000 millones para la recolección de aguas de alcantarilla, US\$1,200 millones para su posterior tratamiento, US\$1,200 millones para proporcionar mantenimiento a las instalaciones existentes y el resto al saneamiento rural. Las estimaciones de los costos se realizaron en base a una meta de recuperación de aguas residuales para el 60% de la población que ya contara con los servicios de alcantarillado público. Este estudio destaca la importancia de brindarle tratamiento a las aguas residuales, así como su posterior reúso doméstico para evitar posibles escenarios de salud y no comprometer aún más la disponibilidad del agua potable (Reynolds, 2002).

Sin embargo, la problemática no solo contempla el tratamiento de las aguas residuales, sino que éstas se reutilicen en actividades secundarias en lugar de ser arrojadas a los mares, ríos y lagos, propiciando aun más la contaminación de los mantos acuíferos.

En este sentido, el mantenimiento, la modernización y desarrollo de nueva infraestructura, es una cuestión que los encargados de la formulación, diseño y ejecución de la política hídrica deben tener presente como factor determinante para avanzar en materia de aguas residuales, mediante la generación de investigación científica y la incorporación de innovación tecnológica.

En el Distrito Federal, el desalojo de las aguas residuales domesticas y provenientes de la lluvia, han significado un verdadero reto para su desarrollo. En 1607, se empezó a construir la obra más importante en materia de infraestructura hídrica (el tajo de Nochistongo), para desviar las aguas del río Cuautitlán y conectarlo al mar a través del río tula y sus afluentes. Con la perforación de un túnel artificial llamado Huehuetoca, la cuenca se convirtió en lo que hoy se conoce como el Valle de México (INEGI, 2002). Aunque en la planeación del proyecto no se previó la contaminación de las aguas de jurisdicción federal ni la perturbación al ecosistema.

En materia de infraestructura hídrica, el siglo XX, se caracterizó por la construcción de importantes obras, tales como se señala en el cuadro 2.

## Cuadro 2. Evolución de la Infraestructura Hídrica

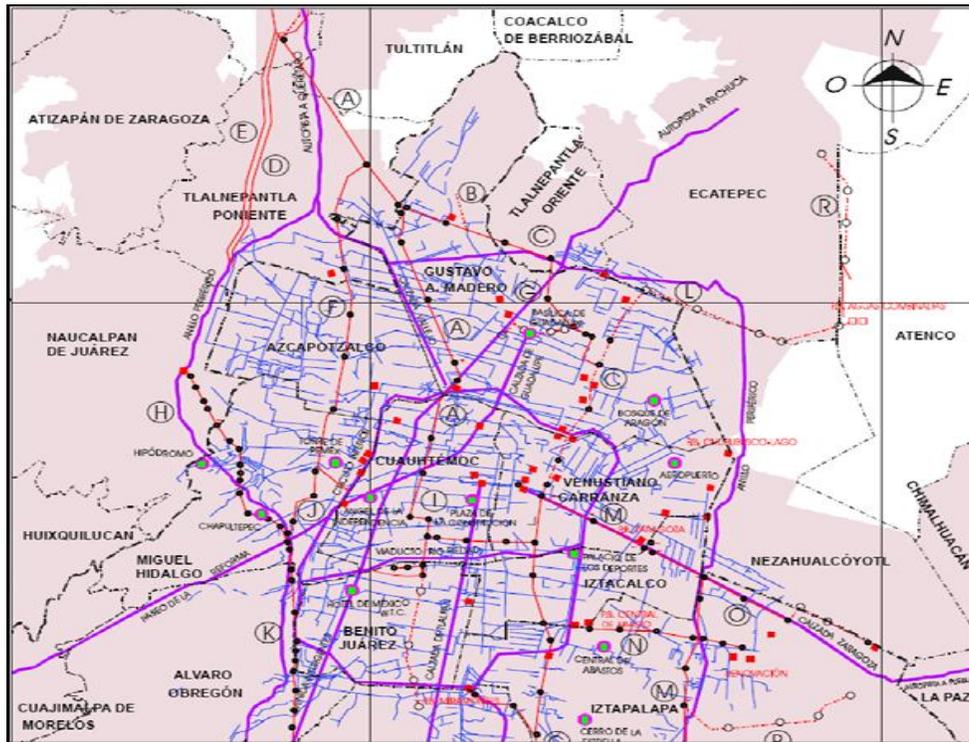
### Obras de Drenaje durante el siglo XX en el D. F.

AÑO	OBRA
1900	Operación del Gran Canal de Desagüe y del Túnel Tequixquiac para el desalojo de las aguas residuales de la Ciudad.
1902	Funcionamiento del primer sistema de alcantarillado y drenaje de la Ciudad.
1961	Construcción del Interceptor y Emisor del Poniente para recibir y desalojar las aguas provenientes del oeste de la cuenca.
1966	Inicio de la construcción del Sistema de Drenaje Profundo.
1975	Inauguración de 66km de túneles de drenaje profundo.
1992	Operación del primer tramo del Canal Nacional – Canal de Chalco.
1993	Inicio de los trabajos para el entubamiento del Gran Canal.

**Fuente:** INEGI, 2002: 115.

La infraestructura de drenaje que se encarga de recolectar y conducir las aguas residuales se encuentra integrada por lagos, lagunas y presas de regulación, entre las que destacan el Gran Canal de Desagüe, Canal de Chalco; de los Remedios; Tlalnepantla; Canal Nacional, y San Buenaventura, que en conjunto suman una longitud de 111.3km; así como, los ríos entubados: Churubusco, La Piedad y Consulado, que en conjunto suman una longitud de 42.7km. Esta infraestructura forma parte o está conectada al Sistema de Drenaje Profundo que en 2002 contaba con 165km, faltando 26kms de los 191 que se habían planeado construir (INEGI, 2002:108).

**Mapa 1.** Infraestructura de Drenaje del D. F. 2002



**Simbología**

-  Limite del Distrito
-  Federal
-  Limite Municipal
-  Área Urbana
-  Planta de Bombeo
-  Red primaria de drenaje
-  Vialidades principales
-  Sitio de interés
-  Lumbrera
-  Drenaje profundo

**Fuente:** INEGI, 2002:98.

La construcción de colectores, es una de las acciones más importantes del actual Gobierno del Distrito Federal, al hacer más eficiente el sistema de drenaje de las diferentes delegaciones de la ciudad, lo que posibilita el desalojo del agua residual pluvial y domestica que se genera, evitando encharcamientos durante la época de lluvias. La acción contempla la construcción de 25 colectores. En el año 2007, se construyeron 6.96km con una inversión de 69.96 millones de pesos y en

2008 se previó la construcción de 11.25km, con una inversión aproximada de 108.21 millones de pesos.

**Cuadro 3.** Infraestructura Hídrica del D. F.

Infraestructura Hidráulica para Drenaje y Desagüe pluvial en el D. F., 1994 – 2008					
OBRA	UNIDAD DE MEDIDA	1994 - 1997	1998 - 2000	2001 - 2007	2008
Colectores	Km	52.50	45.11	41.65	1.073
• Excavación	Km	19.10	8.37	1.255	0.675 <sup>3</sup>
• Revestimiento	Km	20.40	7.53	1.171	1.280 <sup>4</sup>
• Operación	Km	153.00	12	1.41	0.0
Plantas de Bombeo	Número	13	1	11	0.090 <sup>5</sup>
Capacidad conjunta	m <sup>3</sup> /seg	43	20	118	3.750 <sup>6</sup>

**Fuente:** SMA, 2007: 40.

Otro aspecto relevante, es el surgimiento de las Plantas para el Tratamiento de las Aguas Residuales (PTAR ´s) del Distrito Federal. en la década de los 50 ´s con la construcción de la Planta Chapultepec (1956), Coyoacán; antes llamada Xochimilco (1958) y Ciudad Deportiva (1959), para operar a una capacidad de 790 lps<sup>7</sup>, teniendo como principal propósito mantener los niveles de los lagos, canales y el riego de áreas verdes.

<sup>3</sup> Avance de obra 0.675km del Interceptor Oriente – Oriente (L1 – L2 y L2 – L3).

<sup>4</sup> Avance de obra 0.675km del Interceptor Oriente – Oriente (L1 – L2 y L2 – L3).

<sup>5</sup> Corresponde a la planta de bombeo El Rosario (3.75 m<sup>3</sup>/s).

<sup>6</sup> Corresponde a la capacidad de la planta una vez puesta en operación.

<sup>7</sup> Estas cifras fueron tomadas del Programa de Manejo Sustentable del Agua del SACM, SMA y SOS (2007) del D. F., pero por motivos de errores en el cálculo, se corrigieron.

De 1960 a 1979, se construyeron 6 plantas más: San Juan de Aragón (1964), Tlatelolco (1965), Cerro de la Estrella e Iztacalco (1971), Bosques de las Lomas (1973) y Acueducto de Guadalupe (1975), el objetivo era el regado de áreas verdes, el riego agrícola de los ejidos de Tláhuac, así como conservar el nivel del lago de Aragón bajo una capacidad conjunta de 4,677 lps.

En el periodo de 1980 al 2000 se construyeron 12 plantas en diferentes zonas del Distrito Federal: H. Colegio Militar<sup>8</sup>, Reclusorio Sur y el Rosario (1981), San Luis Tlaxialtemalco (1989), Abasolo y Parres (1993), Campo Militar 1<sup>9</sup>, La Lupita, PEMEX, y San Miguel Xicalco (1994), San Andrés Mixquic y San Pedro Actopan (1997), con una capacidad conjunta de 1187lps. En este periodo, también se construyó la planta Santa Fe y Telcelco para el riego de áreas verdes e infiltración y adicionalmente, para el saneamiento de los cauces de la zona Oriente.

Aunque, el Programa de Manejo del Agua, no hace referencia al año de inicio de operaciones de la planta El Llano (capacidad de 250lps) y San Lorenzo Tezonco (capacidad de 225lps), también forman parte de la infraestructura del SACM para el tratamiento del agua residual.

En el año 2005, se construyó la PTAR Santa Martha Acatitla con recursos del Fondo de Seguridad del Gobierno del Distrito Federal (FOSEGDF), con una capacidad de 14lps, el objetivo de esta planta fue cubrir los servicios del Complejo Penitenciario de Santa Martha Acatitla, convirtiéndose en la primera planta del Gobierno local para reúso en mingitorios, sanitarios, riego de áreas verdes y el lavado de aceras.

---

<sup>8</sup> No está referida en el Programa de Manejo del Agua del D. F.

<sup>9</sup> No está referida en el Programa de Manejo del Agua del D. F.

Actualmente, el Sistema de Aguas de la Ciudad de México, posee una infraestructura de 24 PTAR´s con una capacidad de diseño instalada de 6,639.5lps, la cual solo produce 2,500lps, que representa el 38% de la capacidad conjunta.

**Cuadro 4.** Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales del SACM

<b>Nombre</b>	<b>Delegación</b>	<b>Tipo de Proceso</b>	<b>Nivel de Tratamiento</b>	<b>Caudal de Diseño (lps)</b>
<b>El Rosario</b>	Azcapotzalco	Biológico	Terciario	25
<b>Coyoacán</b>	Coyoacán	Biológico	Secundario	400
<b>Tlaltelolco</b>	Cuauhtémoc	Biológico	Secundario	22
<b>Ciudad Deportiva</b>	Iztacalco	Biológico	Secundario	230
<b>Iztacalco</b>	Iztacalco	Biológico	Secundario	13
<b>Cerro de La Estrella</b>	Iztapalapa	Biológico	Terciario	4,000
<b>Acueducto de Guadalupe</b>	Gustavo A. Madero	Biológico	Secundario	87
<b>San Juan de Aragón</b>	Gustavo A. Madero	Biológico	Secundario	500
<b>Bosques de Las Lomas</b>	Miguel Hidalgo	Biológico	Secundario	55
<b>Chapultepec</b>	Miguel Hidalgo	Biológico	Secundario	160
<b>San Pedro Actopan</b>	Milpa Alta	Fisicoquímico	Preliminar, Primario Avanz.	60
<b>La Lupita</b>	Tláhuac	Biológico	Secundario	15
El Llano	Tláhuac	Fisicoquímico-Biol	Terciario	250
<b>Mixquic</b>	Tláhuac	Fisicoquímico	Primario Avanz	30
<b>San Nicolás Tetelco</b>	Tláhuac	Biológico	Secundario	30
San Lorenzo Tezonco	Tláhuac	Biológico	Terciario	225
<b>Abasolo</b>	Tlalpan	Biológico	Secundario	15
<b>Parres</b>	Tlalpan	Biológico	Secundario	15
<b>Pemex Picacho</b>	Tlalpan	Biológico	Secundario	26
<b>San Miguel Xicalco</b>	Tlalpan	Biológico	Secundario	7.5
<b>Reclusorio Sur</b>	Xochimilco	Biológico	Secundario	30

<b>San Luis Tlaxialtemalco</b>	Xochimilco	Biológico	Terciario	150
<b>Santa Fé</b>	Cuajimalpa	Biológico	Terciario	280
<b>Santa Martha Acatitla</b>	Iztapalapa	Biológico Avanzado	Terciario Avanzado	14
<b>TOTAL</b>				<b>6,639.5</b>

**Fuente:** SMA, 2007:24.

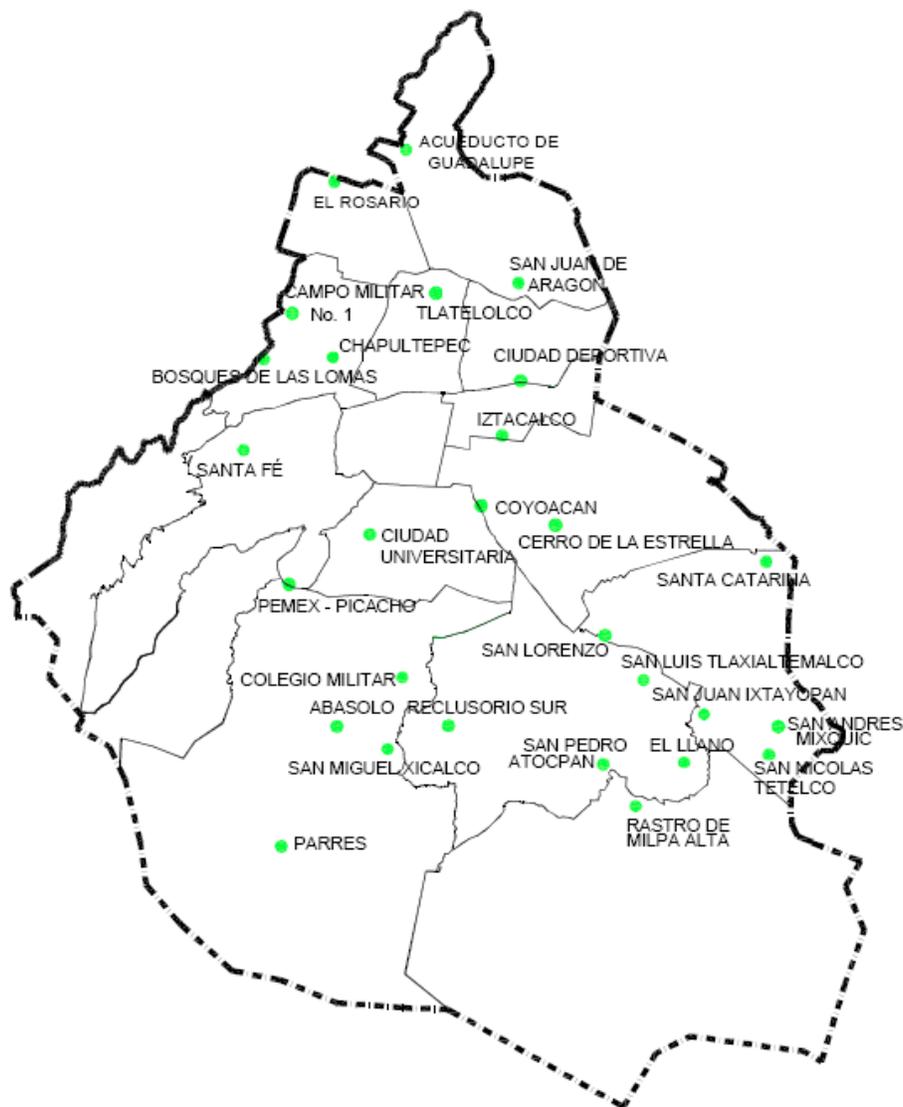
De las 24 plantas de tratamiento del SACM, dos realizan tratamiento físico-químico y grado primario avanzado, quince se dedican al tratamiento biológico con grado secundario, seis al tratamiento biológico pero con grado terciario y solo una de ellas realiza tratamiento biológico con grado terciario avanzado. Cuadro 5. No todas realizan el mismo proceso y nivel de tratamiento, ello depende del tipo de agua que fluya en la zona donde se sitúe la planta, así como del grado de contaminación y componentes inmersos en el agua residual. La planta Acueducto de Guadalupe, es la única que opera bajo la figura de concesión siendo administrada por la empresa Aguas Industriales de Vallejo, S.A. de C.V. (AGIVSA). Una de las peculiaridades de esta planta, es su red de distribución de más de 80km, lo cual garantiza el suministro de agua residual tratada a más de 87 usuarios de la zona industrial Vallejo.

En el mapa 2, se puede apreciar la ubicación por delegación de cada una de las plantas que se construyeron desde 1980 hasta el año 2005.

La rehabilitación de las PTAR's constituye una solución viable para evitar importar agua potable de cuencas que cada vez se encuentran más alejadas y debido a la insuficiencia de las fuentes de abastecimiento local, es indispensable que trabajen de acuerdo con la capacidad de diseño que fueron planeadas, y al mismo tiempo incrementar el reúso de agua tratada en actividades que no requieren de agua potable, siempre y cuando el tratamiento y calidad del agua cumpla con la normatividad correspondiente.

El Gobierno en turno, reconoce a través del Programa de Manejo Sustentable del Agua 2007-2012, que los sistemas de tratamiento de aguas residuales, han disminuido su rendimiento respecto al caudal tratado y calidad del agua, debido a la falta de mantenimiento, rehabilitación y/o sustitución e implementación de nuevas tecnologías, mismas que ejecuten innovadores procesos de tratamiento.

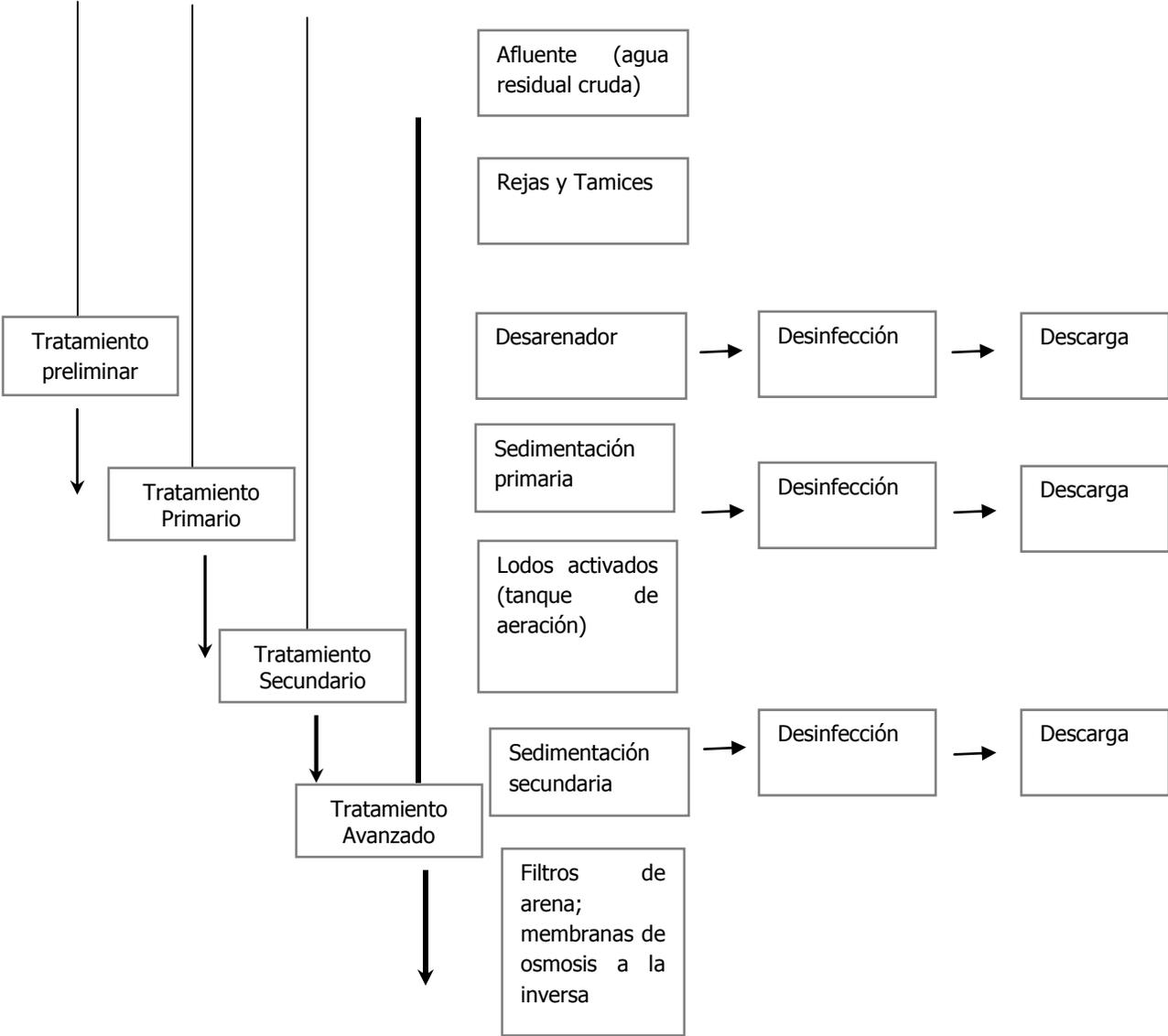
**Mapa 2.** Plantas de Tratamiento de Agua Residual



**Fuente:** SMA, 2007:25.

El proceso para el tratamiento de las aguas residuales comprende la remoción y reducción de los contaminantes que estas contienen. El tratamiento que es llevado a cabo, a través de procesos en forma individual o combinado, de tipo físico, químico, biológico u otros que la hacen adecuada para poderse reusar en diversas actividades. Existen procesos que van desde lo primario que consiste en la separación de sólidos sedimentales gruesos, secundario en el que la materia orgánica se encuentra en suspensión y la cual es de naturaleza coloidal y disuelta, hasta la remoción de materiales disueltos orgánicos e inorgánicos que son los tratamientos terciarios y avanzados (INEGI, 2002). Cuadro 5.

**Cuadro 5.** Niveles de tratamiento de las Aguas Residuales



**Fuente:** Ramírez, Acosta, 2005:221.

Asimismo, los diferentes niveles de tratamiento presentan ventajas como desventajas.

**Cuadro 6.** Ventajas y desventajas de los diferentes niveles de tratamiento

<b>Tratamiento</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<b>Primario</b>	Remoción del 40-60% de sólidos suspendidos; 50-90% huevos de helmintos y quistes; 25-50% remoción de grasas y aceites; Requerimientos de inversión bajos.	Remoción de más del 25% de bacterias patógenas No remueve partículas coloidales ni disueltas
<b>Secundario</b>	80-95% remoción de sólidos suspendidos.	Baja reducción de patógenos. Requerimientos medios de inversión
<b>Terciario</b>	95% de sólidos suspendidos, virus Y bacterias patógenas, alta remoción de nutrientes.	Altos requerimientos de inversión Requiere tecnología y personal especializado para operación y mantenimiento.
<b>Avanzado</b>	99% de remoción de organismos patógenos, alta remoción de compuestos orgánicos y material disuelto	Muy altos costos de inversión. Demanda de tecnología y personal especializado para operación y mantenimiento

**Fuente:** Ramírez y Mendoza, 2005:222.

Solo cuando se trata de aguas residuales que serán infiltradas al acuífero, es obligatorio realizar un nivel de tratamiento avanzado con la intención de remover aquellos agentes que no fueron identificados en tratamientos anteriores.

La cantidad de aguas residuales, resulta proporcional al agua potable empleada en varias actividades más el agua de lluvia; ambas son recolectadas y conducidas por el mismo sistema, recibiendo el nombre de drenaje combinado. De acuerdo con las características físico-químicas, las aguas residuales domesticas resultan ser las de mayor volumen y con altos contenidos de nitritos, nitrato y amoniaco en sus diferentes estados y bacterias coliformes. A través de exámenes de laboratorio se ha detectado que las plantas de tratamiento Acueducto de Guadalupe, Bosques de las Lomas y San Luis Tlaxialtemalco, tratan aguas residuales con las características antes mencionadas. En lo que respecta a las aguas residuales que se generan en la industria, cabe destacar que estas presentan altos contenidos de metales pesados, exceso de fierro y manganeso, las plantas del Cerro de la Estrella, San Juan de Aragón y Ciudad Deportiva registran altos contenidos de estos contaminantes en sus afluentes (INEGI, 2005).

Es importante notar que la política hídrica, al menos, a la fecha, ha encaminado los esfuerzos hacia el proceso de recolección de aguas residuales, y al tratamiento de las mismas para usos secundarios, pero las acciones emprendidas no son suficientes (servicios públicos; vida silvestre; acuacultura; giros mercantiles, riego de cultivo de forrajes y pastura; recarga del acuífero, siempre y cuando se cumpla con la normatividad para infiltración del subsuelo; industria, enfriamiento de motores y calderas; limpieza de edificios corporativos y utilización en mingitorios; lavado de automotores y limpieza de animales (LADF, 2003), es decir, no para el uso doméstico.

Esta situación es importante, porque denota la tendencia de la política hídrica hacia la infraestructura para el proceso de recuperación de aguas residuales para uso secundario y no para desarrollar un nuevo producto: **el agua potable para uso doméstico**. En este sentido, se puede afirmar que la política hídrica ha generado incentivos para que en las plantas cada vez se integre más el desarrollo tecnológico en proceso y no en la innovación en productos. Así pues, la infraestructura descrita está abocada al aumento del rendimiento por mayor capacidad de captación de agua residual, reducción en el consumo de insumos para su tratamiento y aumento de eficiencia en los procesos de tratamiento.

En relación al enfoque evolucionista presentado en el primer capítulo, se destaca que las empresas son agentes individuales que responden de manera discreta, y condicionan su actividad de innovación al aprendizaje interno y a las condiciones externas, entre éstas últimas a la política pública. Así pues, la política pública puede motivar o frenar los procesos de innovación. En este caso específico, la misma política hídrica ha encaminado todos los esfuerzos a la infraestructura de recuperación de agua residual y recuperación para usos secundarios, pero sin hacer énfasis en quién es el desarrollador de esa tecnología, es decir, el incentivo es aumentar la capacidad de la planta para el mismo producto (agua de uso secundario) y no el desarrollo tecnológico local de la misma y menos aún de un nuevo producto (agua para uso doméstico a partir de la residual). En efecto, por una parte, la infraestructura en su mayoría no es nacional, y por la otra, como ya se señaló a lo largo del capítulo, las mismas instituciones reconocen el rezago tecnológico y falta de mantenimiento de los equipos.

Porter y Linde (1995), han señalado que la política pública, como instrumento de regulación, sí es rigurosa promueve más innovación que una laxa. Este supuesto es válido, porque este tipo de mecanismos generan presión en los competidores tal como la competitividad y los precios (Domínguez, 2006), pero, en este caso, no hay competidores y los precios no son un mecanismo de mercado. La política hídrica diseñada a la fecha, por los resultados presentados no tiene como prioridad la innovación en productos ni el desarrollo local de las tecnologías de infraestructura. La pregunta es ¿Existe en el Distrito Federal algún proyecto que incluya la actividad de innovación de forma integral? A continuación se discutirán los proyectos presentes en materia de recuperación de aguas residuales.

### **CAPÍTULO 3. Proyectos Sectoriales de Infraestructura para el TAR en el D.F.**

La información contenida en este apartado, proviene de la Cuenta Pública del Sistema de Aguas de la Ciudad de México, en el periodo de 1999-2009, misma que contiene el resultado de las finanzas públicas en un ejercicio fiscal y es publicada en el portal del Gobierno del Distrito Federal.

Los criterios para la realización del análisis de la información descrita en los siguientes cuadros, acciones y metas; programadas y alcanzadas se exponen a continuación:

Para la construcción y análisis de los cuadros, se tomó el total de las acciones emprendidas en materia de construcción y mantenimiento de infraestructura hídrica, tanto para el desalojo de las aguas residuales como para su posterior tratamiento, así como el total del presupuesto asignado y ejercido en cada periodo, el número de acciones en las que se ejerció la mayor parte del presupuesto asignado, la construcción de obras que se consideran como prioritarias y a cuales de estas se les dio seguimiento en los siguientes programas sectoriales de infraestructura hídrica, las acciones que no se les dio seguimiento y que no fueron concluidas sin exposición de motivos, la participación de los programas en el total del presupuesto asignado al paquete de programas que conforman el Plan General de Desarrollo del Distrito Federal, 2007-2012, con el propósito de saber cuál es el impacto de los programas de infraestructura hídrica en materia de aguas residuales.

Finalmente, se hace una comparación de la participación porcentual del objetivo de "Infraestructura para Drenaje y Tratamiento de Aguas Residuales", periodo 1999-2003, "Drenaje y Tratamiento de Aguas Residuales" de 2004-2008 el "Sistema de Saneamiento funciona eficientemente" en 2009, en el presupuesto asignado con el resto de los objetivos del Programa Infraestructura y Servicios Urbanos de Calidad (1999-2000), mismo que cambio de nombre a Desarrollo Sustentable en el periodo de 2001 a 2006 y Desarrollo Sustentable y de Largo Plazo (2007-2012).

Como ya se dijo, las cifras tomadas para la integración de este capítulo, fueron tomadas de la Cuenta Pública referente a programas sectoriales, concernientes a infraestructura para el tratamiento de agua residual, mismos que son coordinados por el SACM.

La Cuenta Pública la construye cada dependencia a partir del llenado de los formatos que emite la Secretaría de Finanzas, lo que a su vez se toma para definir la Cuenta Pública Global del Distrito Federal. La situación presupuestaria de la planta Cerro de la Estrella puede ser considerada para el desarrollo de futuras investigaciones.

De tal forma que los resultados expuestos incluyen el presupuesto asignado y ejercido de las 24 plantas de tratamiento, así como de las principales obras que se han realizado.

### **3.1 Programa: Una Infraestructura y Servicios Urbanos 1999-2000**

En este apartado, se llevara a cabo un análisis acerca del presupuesto original o asignado y el presupuesto ejercido del objetivo "Infraestructura para Drenaje y Tratamiento de Agua Residual", el cual forma parte de la estructura del programa "Una Infraestructura y Servicios Urbanos de Calidad", así como su participación en el total del presupuesto, respecto al resto de los programas que conforman la agenda de trabajo del Gobierno del Distrito Federal.

Es importante destacar que la información financiera proviene de la Cuenta Pública del Gobierno del Distrito Federal.<sup>10</sup>, misma que es conformada por la Secretaría de Finanzas. El análisis se realizo solo para el periodo de 1999 al 2009 por cuestiones de disponibilidad de la información y el acceso a esta.

En el año de 1999, el presupuesto asignado fue de **\$1,234.52 millones de pesos** y el ejercido de **\$1,189.63 millones de pesos**, con lo cual, se contempló realizar 67 acciones dirigidas a la construcción y mantenimiento de la infraestructura de drenaje y tratamiento de agua residual, de las cuales, en el 90% de estas se ejerció en su totalidad el presupuesto asignado. Sin embargo, en algunos casos expuestos en el cuadro 7, no se alcanzaron las metas inicialmente planteadas, por el contrario, se derogó el presupuesto aprobado sin poner de manifiesto el porqué o si en su defecto, estos recursos fueron canalizados a otro objetivo o incluso a otro programa que este considerado como prioritario en el Programa General de Desarrollo del Distrito Federal, lo cual podría verse reflejado en la disminución del presupuesto asignado para el siguiente año, y frenar actividades o acciones consideradas como básicas en la operación permanente de la infraestructura de drenaje y tratamiento de agua residual.

---

<sup>10</sup> Las cifras tomadas de la Cuenta Pública del periodo de 1999-2009, originalmente se encuentran expresadas en miles de pesos, en este trabajo se convirtieron a millones de pesos para el manejo de las cifras.

Como ya se mencionó anteriormente, las acciones se dividen en 2 vertientes; construcción y mantenimiento de la infraestructura para drenaje y tratamiento de agua residual, la primera representa el 25% en el presupuesto asignado, mientras que el 75% lo ocupa el mantenimiento, lo cual refleja que las plantas de tratamiento de aguas residuales en el Distrito Federal operan muy por debajo de su capacidad instalada, debido a la obsolescencia en algunos de los equipos inmersos en los procesos para el tratamiento, dando como resultado la disminución de la eficiencia a nivel general, baja en la productividad del proceso y el caudal tratado.

Según las acciones planteadas y ejecutadas por las autoridades de la Dirección de Drenaje y Tratamiento de Agua Residual del Sistema de Aguas de la Ciudad de México, en el año de 1999 se llevó a cabo la instalación de algunos equipos de automatización, mantenimiento de los ya existentes y medición en estaciones del sistema de drenaje, así como el trazo de proyectos para la realización de obras para el mismo. Cabe destacar que durante ese año, sólo se construyó una planta de bombeo y una planta de tratamiento de agua residual, así como la ampliación de líneas para la conducción del agua tratada, sin embargo, el avance mostrado en este año no cubre las expectativas de equipo e infraestructura para cubrir las necesidades diarias, ni tampoco para aumentar el nivel de caudal tratado.

En este sentido, la incorporación de terrenos al desarrollo de obras para la ampliación de la infraestructura para el tratamiento de aguas residuales, es una de las acciones que podría tener mayor impacto si se aumentara la capacidad instalada a través de la construcción de nuevas plantas equipadas con tecnologías de vanguardia y más eficientes (reducción de consumo energético), sin embargo, los resultados muestran un panorama totalmente diferente al deseado, porque mientras la población va en ascenso, la oferta en infraestructura está muy por debajo del volumen de agua residual que se genera anualmente y que requiere

tratamiento para su posterior reutilización en actividades secundarias. En 1999, se programó la construcción de una planta de tratamiento, de la cual se logró un avance del 96% únicamente en la construcción, restando la instalación de equipos y la puesta en operación.

En lo que respecta a la ampliación, mantenimiento y construcción de obras para el óptimo funcionamiento del sistema de drenaje, se llevó a cabo la ampliación de la red secundaria de drenaje, la conexión de descargas domiciliarias al drenaje y la rehabilitación del sistema de drenaje; obras que en años posteriores se les da seguimiento, por lo tanto, es indispensable formular programas de mantenimiento periódicamente que permitan la operación permanente de las instalaciones.

En el caso de las plantas de tratamiento, el mantenimiento de los equipos domina sobre la construcción de nuevas obras y adquisición de nuevas tecnologías, tal es el caso de la Planta de Texcoco a la que solo se le proporciona mantenimiento a sus equipos electromecánicos, cuestión que tarde o temprano lleva a la obsolescencia de las tecnologías. En esta meta, solo se reporta el presupuesto asignado, pero no el ejercido.

Particularizando, una de las acciones más importantes y llevadas a cabo, fue el inicio de las obras para la construcción y revestimiento del túnel del drenaje profundo con un presupuesto asignado de \$67.4 millones de pesos y ejercido de \$62.90 millones de pesos, con un subejercicio de \$4.40 millones de pesos; recursos que no fueron aprovechados y que disminuirán el siguiente año como resultado de una reducción en las metas programadas contra las alcanzadas, efecto que se reflejó en los trabajos de las acciones. Es importante destacar que el presupuesto que programe el SACM para cada una de sus direcciones y subdirecciones, debe ser igual al ejercido y que el número de metas que se reportan al inicio del año, se cumplan al 100%, con el propósito de aspirar a un

presupuesto superior para el siguiente año, ello permitiría cubrir necesidades inmediatas de tecnología e infraestructura.

Para el año 2000, el presupuesto original o asignado fue de **\$1,448.61 millones de pesos** y el ejercido de **\$1,359.84 millones de pesos**, con 65 actividades trazadas, dos menos que en 1999 y con el propósito de modernizar el sistema de drenaje, el Gobierno del Distrito Federal continuó con la instalación de equipos de automatización en el sistema de drenaje y amplió la oferta de servicios básicos a sectores de la sociedad en donde aún no contaban con una correcta red de drenaje.

Se le dio continuidad a la construcción y revestimiento del túnel del drenaje profundo por un total de \$36.70 millones de pesos de presupuesto asignado y \$29.70 millones de pesos de presupuesto ejercido, lo que significó una disminución del 19%, respecto al año anterior.

## Cuadro 7. Programa: Una Infraestructura y Servicios Urbanos de Calidad, 1999

PROGRAMA UNA INFRAESTRUCTURA Y SERVICIOS URBANOS DE CALIDAD					
OBJETIVO: INFRAESTRUCTURA PARA DRENAJE Y TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, 1999					
ACCIONES	METAS			PRESUPUESTO (MILLONES DE PESOS)	
	UNIDAD DE MEDIDA	PROGRAMADAS	ALCANZADAS	MODIFICADO	EJERCIDO
Construir colectores para el sistema de drenaje	Km	8.375	8.285	38.76	38.42
Realizar excavación del túnel para drenaje profundo	Km	2.14	2.061	50.98	50.67
Realizar revestimiento del túnel para el drenaje profundo	Km	4.08	4.039	16.44	12.30
Construir lumbrera del túnel de drenaje profundo	Lumbrera	2.6	2.6	22.68	22.36
Fabricar anillo dovelas para el túnel de drenaje profundo	Anillo	24	0	1.62	1.34
Disposición y acondicionamiento de material extraído, producto de desazolve	M <sup>3</sup>	601,629	652,346	7.21	7.16
Incorporar terrenos al desarrollo de obras para la ampliación de la infraestructura de drenaje	M <sup>2</sup>	0	0	0.61	0.10
Realizar acometidas de energía eléctrica para la ampliación de la infraestructura del drenaje	Acometida	8	11	0.80	0.44
Realizar estudios y proyectos en apoyo a la realización de obras para el sistema de drenaje	Estudio	153	153	46.63	45.75
Continuar con la instalación de equipos de automatización y medición en estaciones del sistema de drenaje	Estación	0.5	0.5	0.41	0.41
Construir plantas de bombeo para el agua residual	Planta	0.46	0.37	6.69	6.46
Incorporar terrenos al desarrollo de obras para la ampliación de la infraestructura de tratamiento y reúso de agua residual	M <sup>2</sup>	2,940	2,940	1.25	0.47
Realizar acometidas de energía eléctrica para la ampliación de la infraestructura del sistema de tratamiento y reúso de agua residual	Acometida	6	8	0.60	0.44
Elaborar estudios y proyectos en apoyo a la realización de obras	Estudio	8	8	1.64	1.64
Construir plantas de tratamiento de agua residual	Planta	5.05	4.86	74.55	73.21
Construir líneas de agua residual tratada	Km	8.785	10.027	7.75	7.07
Construir presas de gaviones para contener desechos sólidos	Presa	4.29	4.29	2.30	2.29
Construir presas de gaviones	Presa	4	4	0.06	0.06
Ampliar la red secundaria de drenaje	Km	105.688	91.029	100.53	96.67
Conectar descargas domiciliarias de drenaje	Acometida	2,322	1,528	17.33	17.32
Construir represas de cuneta	Km	2	2	0.01	0.01
Desazolver y rehabilitar: lagunas, lagos, cauces, ríos, canales y presas	M <sup>3</sup>	43,146	44,524	2.36	2.35
Realizar mantenimiento preventivo y correctivo a componentes electromecánicos para plantas de bombeo de agua residual, lumbreras y cárcamos	Equipo	250	340	28.71	27.51
Realizar mantenimiento de equipos de medición y automatización en estación	Equipo	163	163	0.85	0.84
Realizar mantenimiento de obra civil a plantas de bombeo de agua residual	Planta	9.2	8.2	38.26	32.32
Proporcionar mantenimiento de obra civil a instalaciones del sistema de drenaje	Estructura	38	37	16.44	14.61
Desazolver presas, lagunas lagos, cauces, ríos, canales y barrancas	M <sup>3</sup>	493,760	690,017.30	59.63	58.20
Realizar mantenimiento preventivo y correctivo a equipos adicionales de apoyo al sistema de drenaje	Servicio	6500	5,944	44.24	36.23
Realizar limpieza y reconstrucción de accesorios en el sistema de drenaje	Unidad	300,000	300,000	314.10	310.76
Realizar mantenimiento preventivo y correctivo a componentes electromecánicos del sistema de tratamiento y reúso	Equipo	55	28	5.85	5.85
Realizar mantenimiento de obra civil en instalaciones del sistema de tratamiento y reúso	Km	1	5.03	2.00	1.86
Realizar mantenimiento preventivo y correctivo a equipos adicionales de apoyo al sistema de tratamiento y reúso de agua residual	Servicio	592	599	4.16	3.93
Rehabilitar la red de drenaje	Km	5.295	3.395	4.23	2.34
Realizar estudios y proyectos en apoyo a la realización de obras de reforzamiento hidráulico para drenaje	Estudio	4	4	0.42	0.40
Conservar y mantener la red secundaria de drenaje	Km	4,994.99	4,842.28	148.03	146.56
Desazolver la red secundaria de drenaje	M <sup>3</sup>	26,502	24,628.80	41.57	39.24
Dar mantenimiento preventivo y correctivo al equipo de drenaje	Equipo	119	109	11.79	11.77
Realizar limpieza y desazolve de colectores, atarjeas y pozos de visita	M <sup>3</sup>	19,030.10	20,424.70	15.99	15.99
Dar mantenimiento preventivo y correctivo a atarjeas y pozos de visita	M	6,380	6,748	9.90	9.90
Rehabilitar de red secundaria de drenaje	Km	1	0.27	0.95	0.95
Construir la red primaria de drenaje para el reforzamiento hidráulico	Km	0.386	0.326	3.74	3.74
Realizar estudios y proyectos en apoyo a la construcción de obras de reforzamiento hidráulico para tratamiento y reúso de agua residual	Estudio	38	38	7.06	7.03
Desazolver y rectificar lagos y cauces en el perímetro del Lago de Texcoco	M <sup>3</sup>	172,661.72	138,143	5.53	5.46
Proporcionar mantenimiento a componentes electromecánicos de la planta de tratamiento Vaso de Texcoco	Unidad	1	1	0.10	0.00
Conectar a la red de drenaje a nuevos usuarios	Conexión	0	0	0.00	0.00
Construir captaciones para el sistema de drenaje profundo	Unidad	3.12	3.22	24.40	23.53
Construir canales de conducción de aguas residuales	Km	0.814	0.505	5.95	5.95
Realizar obras para eliminar encharcamientos en el sistema de drenaje	Sitio	15	11.276	23.57	22.50
Cubrir compromisos pendientes de acciones realizadas durante el ejercicio anterior	S/N	N/C	N/C	6.10	6.04
Construir resumideros	Pieza	36	11	1.38	1.33
Construir pozos de absorción de aguas residuales	Pozo	0.75	0.7	0.27	0.27
Ampliar la red secundaria de drenaje	Km	13.399	9.441	6.10	5.60
Conectar descargas domiciliarias de drenaje	Acometida	1,408	542	1.99	1.98
<b>Total</b>				<b>1,234.52</b>	<b>1,189.63</b>

**Fuente:** Elaboración propia, con datos de la Cuenta Pública. Resultados Programático-Presupuestales del Gobierno del D.F. (Avance de Programas), 1999.

Al igual que el año anterior, el mantenimiento de la infraestructura tiene mayor jerarquía en el destino del presupuesto, el cual representa el 90% sobre la construcción de nueva infraestructura que es del 10%, lo cual no deja de ser importante, pero mientras en un rubro se avanza, en el otro se tiene atraso en equipos hidráulicos y electromecánicos. Cuadro 9.

El 75% de las acciones programadas ejercieron en su totalidad el presupuesto asignado.

## Cuadro 8. Programa: Una Infraestructura y Servicios Urbanos de Calidad, 2000

PROGRAMA UNA INFRAESTRUCTURA Y SERVICIOS URBANOS DE CALIDAD					
OBJETIVO: INFRAESTRUCTURA PARA DRENAJE Y TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, 2000					
ACCIONES	METAS			PRESUPUESTO (MILLONES DE PESOS)	
	UNIDAD DE MEDIDA	PROGRAMADAS	ALCANZADAS	MODIFICADO	EJERCIDO
Construir colectores para el sistema de drenaje	Km	9.022	6.587	70.87	56.07
Realizar excavación del túnel para drenaje profundo	Km	0.78	0.56	15.55	9.16
Realizar revestimiento del túnel para el drenaje profundo	Km	2.89	2.896	21.20	20.60
Fabricar anillo dovelas para el túnel de drenaje profundo	Anillo	0	0	0.00	0.00
Incorporar terrenos al desarrollo de obras para la ampliación de la infraestructura de drenaje	M <sup>2</sup>	0	0	0.00	0.00
Realizar acometidas de energía eléctrica para la ampliación de la infraestructura del drenaje	Acometida	10	7	1.29	1.29
Realizar estudios y proyectos en apoyo a la realización de obras para el sistema de drenaje	Estudio	193	201	71.96	68.71
Continuar con la instalación de equipos de automatización y medición en estaciones del sistema de drenaje	Estación	0.0	0.0	0.00	0.00
Construir plantas de bombeo para el agua residual	Planta	0.53	0.63	12.50	12.26
Incorporar terrenos al desarrollo de obras para la ampliación de la infraestructura de tratamiento y reúso de agua residual	M <sup>2</sup>	0	0	0.00	0.00
Realizar acometidas de energía eléctrica para la ampliación de la infraestructura del sistema de tratamiento y reúso de agua residual	Acometida	5	6	0.59	0.59
Elaborar estudios y proyectos en apoyo a la realización de obras	Estudio	0	0	0.00	0.00
Construir plantas de tratamiento de agua residual	Planta	1.253	1.253	24.36	21.81
Construir líneas de agua residual tratada	Km	0	0	0.00	0.00
Construir presas de gaviones	Presa	4	8	0.07	0.00
Ampliar la red secundaria de drenaje	Km	40.9	39.9	72.27	67.29
Conectar descargas domiciliarias de drenaje	Acometida	2,273	1,229	29.27	28.56
Construir represas de cuneta	Km	2	2	0.01	0.01
Desazolver y rehabilitar: lagunas, lagos, cauces, ríos, canales y presas	M <sup>3</sup>	61,452	56,213.90	3.31	3.31
Realizar mantenimiento preventivo y correctivo a componentes electromecánicos para plantas de bombeo de agua residual, lumbreras y cárcamos	Equipo	350	318	30.57	25.55
Realizar mantenimiento de equipos de medición y automatización en estación	Equipo	150	150	1.52	0.67
Realizar mantenimiento de obra civil a plantas de bombeo de agua residual	Planta	1	1	33.70	33.60
Proporcionar mantenimiento de obra civil a instalaciones del sistema de drenaje	Estructura	22.5	135.28	23.35	16.44
Desazolver presas, lagunas, lagos, cauces, ríos, canales y barrancas	M <sup>3</sup>	534,106.33	372,238.50	69.07	64.93
Realizar mantenimiento preventivo y correctivo a equipos adicionales de apoyo al sistema de drenaje	Servicio	5,500	5,523.00	82.69	80.00
Realizar limpieza y reconstrucción de accesorios en el sistema de drenaje	Unidad	300,000	300,000	343.71	343.09
Realizar mantenimiento preventivo y correctivo a componentes electromecánicos del sistema de tratamiento y repuso	Equipo	200	120	16.22	14.33
Realizar mantenimiento de obra civil en instalaciones del sistema de tratamiento y reúso	Km	0.355	0.324	0.82	0.37
Realizar mantenimiento preventivo y correctivo a equipos adicionales de apoyo al sistema de tratamiento y reúso de agua residual	Servicio	700	1,210	6.16	6.16
Rehabilitar red de drenaje	Km	0.535	0.01	1.09	0.42
Realizar estudios y proyectos en apoyo a la realización de obras de reforzamiento hidráulico para drenaje	Estudio	5	3	0.31	0.31
Conservar y mantener la red secundaria de drenaje	km	5,425.20	6,933.10	141.23	137.73
Desazolver la red secundaria de drenaje	M <sup>3</sup>	25,305	28,802.80	56.52	53.40
Dar mantenimiento preventivo y correctivo al equipo de drenaje	Equipo	15,397	15,393	11.16	11.16
Realizar limpieza y desazolve de colectores, atarjeas y pozos de visita	M <sup>3</sup>	13,424.90	13,956.20	19.55	19.55
Dar mantenimiento preventivo y correctivo a atarjeas y pozos de visita	M	7,606	7,778	9.23	9.23
Apoyar la ejecución de obras para el saneamiento de la Cuenca del Valle de México	Acción	1	1	200.00	184.94
Construir red primaria de drenaje para el reforzamiento hidráulico	Km	1.235	0.22	1.30	0.60
Construir red secundaria de drenaje para el reforzamiento hidráulico	Km	0.21	0.146	0.26	0.20
Realizar estudios y proyectos en apoyo a la construcción de obras de reforzamiento hidráulico para el tratamiento de reúso del agua residual	Estudio	22	22	4.30	3.62
Desazolver y rectificar lagos y cauces en el perímetro del Lago de Texcoco	M <sup>3</sup>	253,516.00	286,793	12.69	12.68
Proporcionar mantenimiento a componentes electromecánicos de la planta de tratamiento Vaso de Texcoco	Unidad	16	12	0.02	0.02
Construir captaciones para el sistema de drenaje profundo	Unidad	1	0.2	5.85	5.84
Construir canales de conducción de aguas residuales	Km	0.82	0.567	16.42	14.44
Realizar obras para eliminar encharcamientos en el sistema de drenaje	Sitio	10.84	19.84	15.02	13.51
Cubrir compromisos pendientes de acciones realizadas durante el ejercicio anterior	S/N	0	0	3.26	3.26
Construir resumideros	Pieza	105	73	8.54	7.78
Construir pozos de absorción de aguas residuales	Pozo	11.3	6.329	4.41	3.09
Construir plantas de tratamiento de agua residual para el reforzamiento hidráulico	Planta	1	0	0.50	0.00
Pagar finiquitos de obras realizadas en ejercicios anteriores	S/N	0	0	1.17	0.74
Ampliar la red secundaria de drenaje	Km	504.2	1.3	4.72	2.52
<b>Total</b>				<b>1,448.61</b>	<b>1,359.84</b>

**Fuente:** Elaboración propia, con datos de la Cuenta Pública. Resultados Programático-Presupuestales del Gobierno del D. F. (Avance de Programas), 2000.

La participación de la Infraestructura para Drenaje y Tratamiento de Agua Residual, es del 3% en el presupuesto total asignado, dentro del Programa General de Desarrollo, este objetivo figura como no prioritario en la designación de los recursos, lo que se contradice con lo estipulado por el Gobierno Federal en el Programa Nacional Hídrico (2008), en el que se expone la importancia de los recursos hídricos para el desarrollo del país y como un asunto de seguridad nacional. Entre los objetivos de mayor jerarquía, se encuentra la seguridad pública con una participación del 14%.

**Cuadro 9.** Participación % en el Presupuesto Total Asignado, 2000

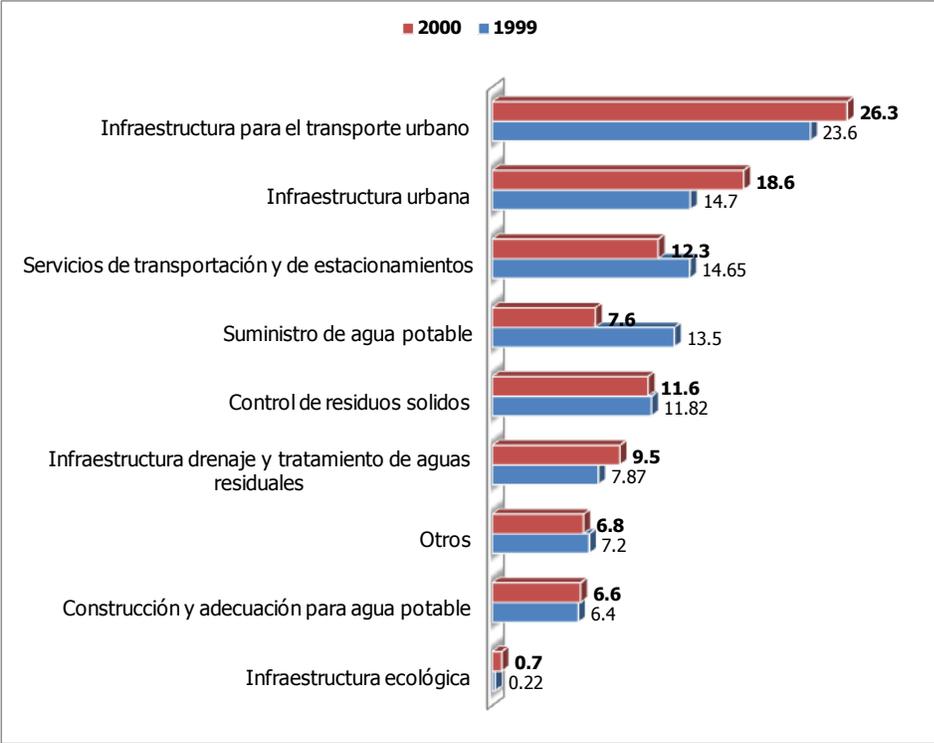
<b>Programa: Desarrollo Sustentable</b>					
<b>Objetivo: Infraestructura para Drenaje y Tratamiento de Agua Residual</b>					
<b>Participación % en el Presupuesto Total (Millones de Pesos)</b>					
Original	Ejercido	Original total	Ejercido total	%	%
1,448.81	1,360.05	53,989.16	57,220.70	0.03	0.02

**Fuente:** Elaboración propia, con datos de la Cuenta Pública. Orientación del Gasto conforme a los objetivos del Programa General de Desarrollo del D. F., 2000.

La divergencia en la asignación de recursos entre los diferentes programas-objetivos del Distrito Federal, muestra claramente la situación actual y el futuro inmediato del sector hídrico. Gran parte de la modernización de la infraestructura, depende de los recursos disponibles y el recurso humano calificado para su correcta operación. Ya es habitual que la operación de las plantas de tratamiento, dependa del conocimiento tácito de los trabajadores y de las habilidades que van generando a través de su estadía, la capacitación no es una cuestión relevante y que debería de recibir mayor atención por parte de las autoridades competentes si se tiene en cuenta que la formación de técnicos es fundamental para la operación y el mantenimiento de las instalaciones.

En la gráfica 1, se puede apreciar la participación del objetivo, así como su importancia con respecto al resto de los objetivos que conforman el Programa Infraestructura y Servicios Urbanos.

**Gráfica 1.** Participación: Infraestructura, Drenaje y TAR: PISU



**Fuente:** Elaboración propia con datos de Elaboración propia, con datos de la Cuenta Pública. Resultados Programático-Presupuestales del Gobierno del D. F. (Avance de Programas), 1999-2000.

Como se puede observar, en el periodo de 1999-2000 el objetivo IDTAR paso de una participación del 7.6% a 9.5%, cuestión que no lo hace más importante que el objetivo de Infraestructura para el Transporte Urbano con una participación del 23.6% y 26.3%, posicionándose como el objetivo más representativo, al igual que en el Plan General de Desarrollo.

### **3.2 Programa Desarrollo Sustentable 2001-2006**

En el año 2001, se dan cambios importantes en cuanto a la programación de acciones y metas. Las acciones se redujeron en un 50%, respecto a los años anteriores, el presupuesto asignado fue de **\$921.19 millones de pesos**, el cual disminuyó el 36%, respecto al año anterior, mientras que el ejercido fue de **\$908.30 millones de pesos**.

Del 88% de las acciones programadas que se realizaron, destacan como las más importantes en este año, la construcción de una planta de tratamiento con un avance del 100% de la meta programada, se continuó con la incorporación de terrenos para la realización de obras para la ampliación de la infraestructura para el tratamiento de aguas residuales, sin embargo, las acciones en este rubro aún no son insuficientes para lograr aumentar el volumen de agua tratada y ser destinada a otros usos que permitan reducir el consumo de agua potable, y sobre todo en el sector industrial.

Otro aspecto relevante, es la continuación en la construcción de líneas de agua residual y el mantenimiento realizado a componentes electromecánicos de la planta de tratamiento "Vaso de Texcoco", sin embargo, la compra de equipos recientes permitiría un mejor funcionamiento a nivel general y reducción de costos en el largo plazo.

Como ya se menciona anteriormente, el presupuesto asignado sufrió una disminución considerable del año 2000 al 2001 a consecuencia de la reestructuración en los programas, lo que obstaculizó el aumento de más hogares a una correcta conexión de drenaje.

En este orden de ideas, a partir del año 2001 y hasta 2006, el Programa de Infraestructura y Servicios de Calidad cambia su nombre a Programa de Desarrollo Sustentable, los recursos se empiezan a limitar en lo relativo a infraestructura hídrica, debido a recortes en el gasto público y la prioridad que se le ha dado al desarrollo de programas sociales.

**Cuadro 10.** Programa Desarrollo Sustentable, 2001

PROGRAMA DESARROLLO SUSTENTABLE					
OBJETIVO: INFRAESTRUCTURA PARA DRENAJE Y TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, 2001					
ACCIONES	METAS			PRESUPUESTO (MILLONES DE PESOS)	
	UNIDAD DE MEDIDA	PROGRAMADAS	ALCANZADAS	MODIFICADO	EJERCIDO
Construir colectores para el sistema de drenaje	Km	0.509	0.509	2.89	2.89
Incorporar terrenos al desarrollo de obras para la ampliación de la infraestructura de drenaje	M <sup>2</sup>	3,511	3,511	1.92	1.92
Realizar acometidas de energía eléctrica para la ampliación de la infraestructura del drenaje	Acometida	10	10	13.18	13.18
Realizar estudios y proyectos en apoyo a la realización de obras para el sistema de drenaje	Estudio	114	158	58.56	58.56
Continuar con la instalación de equipos de automatización y medición en estaciones del sistema de drenaje	Estación	0.0	0.0	0.00	0.00
Incorporar terrenos al desarrollo de obras para la ampliación de la infraestructura de tratamiento y reúso de agua residual	M <sup>2</sup>	384	384	0.68	0.68
Realizar acometidas de energía eléctrica para la ampliación de la infraestructura del sistema de tratamiento y reúso de agua residual	Acometida	2	1	0.02	0.02
Construir plantas de tratamiento de agua residual	Planta	0.4	0.4	30.26	30.20
Construir líneas de agua residual tratada	Km	7.815	7.815	2.61	1.87
Realizar mantenimiento preventivo y correctivo a componentes electromecánicos para plantas de bombeo de agua residual, lumbreras y cárcamos	Equipo	240	436	58.16	56.90
Realizar mantenimiento de equipos de medición y automatización en estación	Equipo	273	149	3.45	3.14
Proporcionar mantenimiento de obra civil a instalaciones del sistema de drenaje	Estructura	15	19.8	11.96	11.16
Desazolver presas, lagunas, cauces, ríos, canales y barrancas	M <sup>3</sup>	27,700	66,134.20	1.33	1.33
Realizar mantenimiento preventivo y correctivo a equipos adicionales de apoyo al sistema de drenaje	Servicio	7,500	8,303	39.88	39.88
Realizar limpieza y reconstrucción de accesorios en el sistema de drenaje	Unidad	300,000	300,000	404.84	404.05
Realizar mantenimiento preventivo y correctivo a componentes electromecánicos del sistema de tratamiento y reúso	Equipo	125	365	24.42	23.40
Realizar mantenimiento de obra civil en instalaciones del sistema de tratamiento y reúso	Km	4.324	4.324	5.34	5.34
Realizar mantenimiento preventivo y correctivo a equipos adicionales de apoyo al sistema de tratamiento y reúso de agua residual	Servicio	1,200	1,200	4.79	4.79
Apoyar la ejecución de las obras para el saneamiento de la Cuenca del Valle de México	Acción	0	0	0.00	0.00
Realizar estudios y proyectos en apoyo a la realización de obras de reforzamiento hidráulico para tratamiento y reúso del agua residual	Estudio	9	13	2.46	2.46
Proporcionar mantenimiento a componentes electromecánicos de la planta de tratamiento Vaso de Texcoco	Unidad	10	10	0.30	0.30
Realizar obras para eliminar encharcamientos en el sistema de drenaje	Sitio	0.69	0.69	1.97	1.97
Cubrir compromisos pendientes de acciones realizadas durante el ejercicio anterior	S/N	0	0	0.66	0.66
Construir pozos de absorción de aguas residuales	Pozo	0	0	0.00	0.00
Pagar finiquitos de obras realizadas en ejercicios anteriores	S/N	0	0	6.18	5.34
Construir colectores para el sistema de drenaje	Km	3.613	6.422	26.92	26.27
Deposición y acondicionamiento de material extraído producto de desazolve	M <sup>3</sup>	231,566.60	231,565	5.01	5.01
Realizar estudios y proyectos en apoyo a la realización de obras para el sistema de drenaje	Estudio	16	14	2.23	2.23
Construir plantas de bombeo para el agua residual	Planta	0.81	0.73	151.93	146.17
Construir líneas de agua residual tratada	Km	0.638	0.638	5.34	5.33
Proporcionar mantenimiento de obra civil a instalaciones del sistema de drenaje	Estructura	1	1	2.53	2.15
Desazolver presas, lagunas, cauces, ríos, canales y barrancas	M <sup>3</sup>	382,815.15	394,403.30	49.39	49.39
Desazolver y rectificar lagos y cauces en el perímetro del Lago de Texcoco	M <sup>3</sup>	0	0	0.00	0.00
Construir pozos de absorción de aguas residuales	Pozo	4.25	4.25	1.98	1.71
	<b>Total</b>			<b>921.19</b>	<b>908.30</b>

**Fuente:** Elaboración propia, con datos de la Cuenta Pública. Resultados Programático-Presupuestales del Gobierno del D. F. (Avance de Programas), 2001.

La participación en el presupuesto asignado total fue del 2%, respecto al objetivo "Infraestructura para el Transporte Urbano", perteneciente al mismo programa que fue del 8.5%. De 2000 al 2001, la participación en el presupuesto asignado total, se redujo en 1%, cuestión que merece especial atención si se considera que la demanda por servicios públicos supera a la oferta y va en aumento.

**Cuadro 11.** Participación % en el Presupuesto Total Asignado 2001

<b>Programa: Desarrollo Sustentable</b>					
<b>Objetivo: Infraestructura para drenaje y tratamiento de agua residual</b>					
<b>Participación % en el Presupuesto Total (Millones de Pesos)</b>					
Original	Ejercido	Original total	Ejercido total	%	%
921.35	908.41	44,860.52	45,950.52	0.02	0.02

**Fuente:** Elaboración propia, con datos de la Cuenta Pública. Orientación del Gasto conforme a los objetivos del Programa General de Desarrollo del D. F., 2001.

Continuando con el análisis, en el año 2002, se registró un presupuesto asignado de **\$644.44 millones de pesos** y ejercido de **\$634.17 millones de pesos**, como se puede observar de 1999 a 2002, hubo una disminución en el presupuesto como resultado de la austeridad en el gasto de las autoridades a nivel local y por consiguiente, un descenso en las acciones y metas programadas para ese año.

Ante tal situación, solo se programaron 21 acciones, de las cuales en el 91% se ejerció el presupuesto asignado. La construcción de nueva infraestructura representa el 42%, mientras que el mantenimiento es del 58%, destacando la realización de obras para la captación de agua pluvial, con la finalidad de emplearla en actividades secundarias que no requieran del uso de agua potable. Se continuó con la construcción de las líneas de conducción para agua tratada, así como de 4 plantas de tratamiento.

Al menos en lo publicado en la Cuenta Pública, en materia de aguas residuales, no se adquirió nuevo equipo para la operación de las plantas ya existentes. La información de adquisiciones de equipo y tecnologías se obtuvo a través de la oficina de información pública del SACM y solo para la planta Cerro de la Estrella, misma que se menciona en el cuarto capítulo.

La tendencia de mantenimiento, domina sobre la construcción de obras para dotar de instalaciones tanto al sistema de drenaje como al tratamiento de aguas residuales.

**Cuadro 12.** Programa: Desarrollo Sustentable, 2002

PROGRAMA DESARROLLO SUSTENTABLE					
OBJETIVO: INFRAESTRUCTURA PARA DRENAJE Y TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, 2002					
ACCIONES	UNIDAD DE MEDIDA	METAS		PRESUPUESTO (MILLONES DE PESOS)	
		PROGRAMADAS	ALCANZADAS	MODIFICADO	EJERCIDO
Construir infraestructura para el sistema de drenaje	Km	12.4	12.4	20.15	19.56
Realizar estudios y proyectos en apoyo a la realización de obras para el sistema de drenaje	Estudio	6	3	2.13	2.13
Construir plantas de tratamiento de agua residual	Planta	2	4	12.25	6.24
Construir líneas de agua residual tratada	Km	57.2	57.30	28.57	27.93
Realizar obras para la captación de agua pluvial	Obra	6	5.00	3.93	3.93
Ampliar la red secundaria de drenaje	Km	86.8	69.5	216.51	214.76
Conectar descargas domiciliarias de drenaje	Acometida	1,242	786	19.93	19.93
Desazolver y rehabilitar: lagunas, lagos, cauces, ríos, canales y presas	M <sup>3</sup>	100,816	42,664	12.93	12.93
Realizar estudios y proyectos en apoyo a la realización de obras de reforzamiento hidráulico para drenaje	Estudio	0	0	0.00	0.00
Rehabilitar bordos de cauces a cielo abierto	M <sup>3</sup>	9,000	12,380.40	2.18	2.18
Conservar y mantener la red secundaria de drenaje	Km	72,619.00	86,568.00	165.11	163.99
Desazolver la red secundaria de drenaje	M <sup>3</sup>	475,070,000	45,341,200.00	77.72	77.72
Dar mantenimiento preventivo y correctivo al equipo de drenaje	Equipo	21,925	23,513	11.45	11.45
Realizar limpieza y desazolve de colectores, atarjeas y pozos de visita	M <sup>3</sup>	20,382.20	21,825.30	41.77	41.77
Dar mantenimiento preventivo y correctivo a atarjeas y pozos de visita	M	4,310	4,082	1.27	1.27
Rehabilitar de red secundaria de drenaje	Km	4.5	4.5	8.35	8.35
Cubrir compromisos pendientes de acciones realizadas durante el ejercicio anterior	S/N	0	0	4.15	4.15
Construir resumideros	Pieza	52	45	13.22	13.22
Construir pozos de absorción de aguas residuales	Pozo	14	15	2.82	2.66
				<b>Total</b>	<b>644.44</b>
					<b>634.17</b>

**Fuente:** Elaboración propia, con datos de la Cuenta Pública. Resultados Programático-Presupuestales del Gobierno del D. F. (Avance de Programas), 2002.

La participación en el presupuesto asignado total fue del 1%, mientras que en Infraestructura para el Transporte Urbano del 6%, destacando como el objetivo con la participación más importante del Programa General de Desarrollo Sustentable.

**Cuadro 13.** Participación % en el Presupuesto Total Asignado 2002

<b>Programa: Desarrollo Sustentable</b>					
<b>Objetivo: Infraestructura para drenaje y tratamiento de agua residual</b>					
<b>Participación % en el Presupuesto Total (Millones de Pesos)</b>					
Original	Ejercido	Original total	Ejercido total	%	%
644.53	634.25	52,690.56	53,523.85	0.01	0.01

**Fuente: Fuente:** Elaboración propia, con datos de la Cuenta Pública. Orientación del Gasto conforme a los objetivos del Programa General de Desarrollo del D. F., 2002.

Por otro lado, en el año 2003 el presupuesto asignado fue de **\$1,187.43 millones de pesos** y el ejercido de **\$1,187.40 millones de pesos** con 11 acciones trazadas y con un cumplimiento del 99% de ellas, el Gobierno del Distrito Federal destinó el presupuesto más alto para la construcción de infraestructura para el sistema de drenaje por \$394.94 millones de pesos y el desazolve de presas, lagunas, lagos, cauces, ríos, canales y barrancas que fue de \$503.66 millones de pesos para evitar encharcamientos e inundaciones en temporada de lluvias.

Se continuó con las obras para agilizar en saneamiento de la Cuenca del Valle de México, así como con la realización de estudios y proyectos para apoyar las obras en beneficio del sistema de drenaje y el tratamiento de las aguas residuales, para lo cual se destinaron \$23,208.20 millones de pesos al mantenimiento de infraestructura de tipo electromecánica, auxiliar en el tratamiento y \$64,397.70 millones de pesos al mantenimiento de infraestructura del sistema de drenaje, ambos presupuestos se ejercieron en su totalidad.

Adicionalmente, se destinaron \$ 4,308.00 millones de pesos al cumplimiento de compromisos pendientes de ejercicios anteriores.

**Cuadro 14.** Programa: Desarrollo Sustentable, 2003

PROGRAMA DESARROLLO SUSTENTABLE					
OBJETIVO: INFRAESTRUCTURA PARA DRENAJE Y TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, 2003					
ACCIONES	METAS			PRESUPUESTO (MILLONES DE PESOS)	
	UNIDAD DE MEDIDA	PROGRAMADAS	ALCANZADAS	MODIFICADO	EJERCIDO
Construir infraestructura para el sistema de drenaje	Obra	39.24	40.456	394.94	394.94
Construir infraestructura para el tratamiento y reúso de agua residual	Obra	0	0	5.34	5.34
Realizar estudios y proyectos en apoyo a la realización de obras para el sistema de drenaje	Estudio	64	78	25.05	25.05
Construir planta de bombeo para agua residual	Planta	5.46	3.54	123.19	123.16
Realizar mantenimiento electromecánico a la infraestructura de tratamiento y reúso de agua residual	Equipo	22	22	23.20	23.20
Realizar mantenimiento electromecánico a la infraestructura del sistema de drenaje	Equipo	62	62	64.39	64.39
Proporcionar mantenimiento de obra civil a instalaciones del sistema de drenaje	Obra	1.56	1.638	10.81	10.81
Desazolver presas, lagunas, cauces, ríos, canales y barrancas	M <sup>3</sup>	2,952,910.5	809,447.08	503.66	503.66
Apoyar la ejecución de las obras para el saneamiento de la Cuenca del Valle de México	Acción	1	1	26.49	26.49
Realizar estudios y proyectos en apoyo a la realización de obras para el tratamiento de aguas residuales	Estudio	11	11	6.06	6.06
Cubrir compromisos pendientes de acciones realizadas durante el ejercicio anterior	S/N	N/C	0	4.30	4.30
<b>Total</b>				<b>1,187.43</b>	<b>1,187.40</b>

**Fuente:** Elaboración propia, con datos de la Cuenta Pública. Resultados Programático-Presupuestales del Gobierno del D. F. (Avance de Programas), 2003.

Asimismo, se llevó a cabo la construcción de una planta de bombeo de aguas residuales con 65% de avance en su construcción y con un 99% de presupuesto ejercido, también se le dio prioridad a la construcción de infraestructura para el tratamiento y reúso del agua residual; a esta acción se le conoce como actividad no cuantificable, debido a que no presenta metas programadas ni alcanzadas. Las acciones emprendidas continúan siendo insuficientes para cubrir las necesidades de infraestructura que la Ciudad de México requiere.

**Cuadro 15.** Participación % en el Presupuesto Total Asignado 2003

<b>Programa: Desarrollo Sustentable</b>					
<b>Objetivo: Infraestructura para drenaje y tratamiento de agua residual</b>					
<b>Participación % en el Presupuesto Total (Millones de Pesos)</b>					
Original	Ejercido	Original total	Ejercido total	%	%
1,187.50	1,187.47	51,528.78	51,234.89	0.02	0.02

**Fuente:** Fuente: Elaboración propia, con datos de la Cuenta Pública. Orientación del Gasto conforme a los objetivos del Programa General de Desarrollo del D. F., 2003.

La participación del objetivo en el presupuesto asignado total fue del 2%, frente a otros objetivos del mismo programa como por ejemplo "Infraestructura para el Transporte Urbano" que tuvo una participación del 8%, siendo el objetivo con mayor preponderancia, además de estar catalogado como prioritario en la designación de los recursos y el desarrollo de la Ciudad.

En el año 2004, se operó con un presupuesto asignado de **\$1,192.85 millones de pesos** y un ejercido de **\$1,168.50 millones de pesos**. De 2003-2004, el presupuesto mostró un ligero crecimiento de 0.4%, traducido en 15 acciones trazadas y cumplidas al 100% las siguientes: operación de las instalaciones del sistema de drenaje, construcción de plantas de bombeo y tratamiento de aguas residuales, construcción de captaciones para el sistema de drenaje profundo y la realización de estudios y proyectos para obras del sistema de drenaje. Por su parte, las que rebasaron las expectativas de avance fueron: construcción de infraestructura para el tratamiento y reúso del agua residual, mantenimiento electromecánico a la infraestructura del sistema de drenaje, construcción de pozos para la absorción de agua residual, el desazolve de ríos, presas y cauces, etc.

**Cuadro 16.** Programa: Desarrollo Sustentable, 2004

PROGRAMA DESARROLLO SUSTENTABLE					
OBJETIVO: DRENAJE Y TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, 2004					
ACCIONES	METAS			PRESUPUESTO (MILLONES DE PESOS)	
	UNIDAD DE MEDIDA	PROGRAMADAS	ALCANZADAS	MODIFICADO	EJERCIDO
Operar las instalaciones del sistema de drenaje	Sistema	1	1	241.68	239.86
Construir infraestructura para el tratamiento y reúso de agua residual	Obra	18.54	24	72.06	69.62
Realizar estudios y proyectos en apoyo a la realización de obras para el sistema de drenaje	Documento	41.50	64	28.46	27.89
Construir plantas de tratamiento y bombeo de agua residual	Planta	1	1	43.83	40.60
Realizar mantenimiento electromecánico a la infraestructura del sistema de drenaje	Equipo	400	640	131.39	131.39
Proporcionar mantenimiento de obra civil a instalaciones del sistema de drenaje	Obra	4	2.275	16.32	13.93
Apoyar la ejecución de las obras para el saneamiento de la Cuenca del Valle de México	Acción	0	0	0.00	0.00
Construir pozos de absorción de aguas residuales	Pozo	38	47.462	40.61	29.86
Realizar el control de la calidad del agua tratada	Muestra	8,750	3,882	0.96	0.96
Desazolver presas, lagunas, lagos, cauces, ríos, canales y barrancas	M	377,292.93	382,618.56	543.82	541.39
Construir captaciones para el sistema de drenaje profundo	Captación	1.00	1.00	4.17	4.17
Cubrir compromisos pendientes de acciones realizadas durante el ejercicio anterior	S/N	0	0	5.94	5.94
Construir infraestructura para el sistema de drenaje	Obra	6	6	62.32	61.60
Realizar estudios y proyectos para obras del sistema de drenaje	Documento	1	1	0.35	0.35
Construir línea de conducción del agua residual tratada	Km	0.45	0.461	0.94	0.94
			<b>Total</b>	<b>1,192.85</b>	<b>1,168.50</b>

**Fuente:** Elaboración propia, con datos de la Cuenta Pública. Resultados Programático-Presupuestales del Gobierno del D. F. (Avance de Programas), 2004.

El objetivo tuvo una participación del 2% en el presupuesto total asignado, misma que ha permanecido constante desde 1999, lo que significa que a pesar de que la problemática del agua en el Distrito Federal, se ha venido agudizando con el proseguir de los años, no se le ha destinado un mayor presupuesto al tratamiento y reúso de agua residual, aseveración que constata el personal de la planta más importante en infraestructura y caudal tratado, Planta de Tratamiento “Cerro de la Estrella” tema que será abordado en el cuarto capítulo de este trabajo.

**Cuadro 17.** Programa: Desarrollo Sustentable, 2004

<b>Programa: Desarrollo Sustentable</b>					
<b>Objetivo: Drenaje y tratamiento de aguas residuales</b>					
<b>Participación % en el Presupuesto Total (Millones de Pesos)</b>					
Original	Ejercido	Original total	Ejercido total	%	%
1,192.91	1,168.57	51,528.78	51,234.89	0.02	0.02

**Fuente:** Elaboración propia, con datos de la Cuenta Pública. Orientación del Gasto conforme a los objetivos del Programa General de Desarrollo del D. F., 2004.

Para el año 2005, el presupuesto asignado fue de **\$1,552.19 millones de pesos** del cual se ejercieron **\$1,550.27 millones de pesos** en 20 acciones trazadas, siendo prácticamente las mismas del año anterior: operación, construcción de infraestructura y realización de estudios para apoyar las obras del sistema de drenaje, con una participación del 90% y un 95% del presupuesto asignado.

A diferencia de los años anteriores, se adiciono la adquisición de bienes y servicios con un presupuesto de \$23.50 millones de pesos y con una participación de 1.5% del presupuesto original modificado, recursos que no cubren todas las metas trazadas, relacionadas a adquisiciones de materiales en todos los programas del Distrito Federal.

Se prosiguió con la medición de la calidad del agua tratada, la construcción de pozos para la absorción de aguas residuales. Las dos obras con mayor importancia económica fueron el apoyo a la ejecución de obras para el saneamiento de la Cuenca del Valle de México, el desazolve y rehabilitación de lagunas, lagos, cauces, ríos, canales, presas y barrancas con el objeto de evitar escenarios futuros de salud y pérdidas humanas en época de lluvia.

**Cuadro 18.** Programa: Desarrollo Sustentable, 2005

PROGRAMA DESARROLLO SUSTENTABLE					
OBJETIVO: DRENAJE Y TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, 2005					
ACCIONES	METAS			PRESUPUESTO (MILLONES DE PESOS)	
	UNIDAD DE MEDIDA	PROGRAMADAS	ALCANZADAS	MODIFICADO	EJERCIDO
Operar las instalaciones del sistema de drenaje	Sistema	1	1	275.55	274.83
Construir infraestructura para el sistema de drenaje	Obra	4.1	5.1	24.39	24.39
Realizar estudios y proyectos en apoyo a la realización de obras para el sistema de drenaje	Documento	38	37	19.35	19.35
Construir plantas de tratamiento y bombeo de agua residual	Planta	0.46	0.46	9.14	9.14
Construir líneas de agua residual tratada	Km	0.783	0.788	0.76	0.76
Realizar mantenimiento electromecánico a la infraestructura de sistema de drenaje	Equipo	571	446.5	133.72	133.60
Proporcionar mantenimiento de obra civil a instalaciones del sistema de drenaje	Estructura	24.07	24.09	14.18	14.18
Apoyar la ejecución de las obras para el saneamiento de la Cuenca del Valle de México	Acción	1	1	457.03	457.03
Construir y mantener la red primaria y secundaria de drenaje	Km	0	0	0.00	0.00
Construir pozos de absorción de aguas residuales	Pozo	15	15	7.31	7.31
Realizar el control de calidad del agua tratada	Muestra	8,750.0	3,524.0	1.05	1.05
Desazovar y rehabilitar lagunas, lagos, cauces, ríos, canales, presas y barrancas	M <sup>3</sup>	187,867.00	199,151.72	523.49	522.41
Construir y rehabilitar obras complementarias al sistema de drenaje	Acción	6.50	7	17.64	17.64
Construir captaciones para el sistema de drenaje profundo	Captación	1.40	2.00	26.07	26.07
Cubrir compromisos pendientes de acciones realizadas durante el ejercicio anterior	S/N	0	0	1.92	1.92
Construir infraestructura para el sistema de drenaje	Obra	1.00	2.00	12.10	12.10
Realizar estudios y proyectos para obras del sistema de drenaje	Documento	1.00	1	0.43	0.43
Adquirir y contratar de manera consolidada bienes y servicios	A/P	1	1	23.56	23.56
Construir infraestructura para el sistema de drenaje	Obra	2	2	2.71	2.71
Construir y rehabilitar obras complementarias al sistema de drenaje	Acción	1	1	1.79	1.79
	<b>Total</b>			<b>1,552.19</b>	<b>1,550.27</b>

**Fuente:** Elaboración propia, con datos de la Cuenta Pública. Resultados Programático-Presupuestales del Gobierno del D. F. (Avance de Programas), 2005.

En este caso, el objetivo "Drenaje y Tratamiento de Aguas Residuales", tuvo una participación del 3% en el presupuesto asignado total, manteniéndose dentro del promedio de las cifras de años anteriores y sin pasar del 10% de crecimiento anual, obstaculizando la eficiencia del equipo de las plantas de tratamiento y su capacidad instalada.

**Cuadro 19.** Participación % en el Presupuesto Total Asignado 2005

Programa: Desarrollo Sustentable					
Objetivo: Drenaje y tratamiento de agua residual					
Participación % en el Presupuesto Total (Millones de Pesos)					
Original	Ejercido	Original total	Ejercido total	%	%
1,552.30	1,550.38	56,151.47	60,527.74	0.03	0.03

**Fuente:** Fuente: Elaboración propia, con datos de la Cuenta Pública. Orientación del Gasto conforme a los objetivos del Programa General de Desarrollo del D. F., 2005.

Para el año 2006, se autorizó un presupuesto de **\$2,193.53 millones de pesos**, del que se ejercieron **\$2,191.33 millones de pesos** representando un crecimiento del 29% respecto al año anterior, para llevar a cabo 18 acciones de las cuales el 94% alcanzó las metas programadas y por lo tanto se ejerció en su totalidad el presupuesto programado.

La construcción de nueva infraestructura es del 7%, mientras al mantenimiento de instalaciones le corresponde el 93%, lo que una vez más confirma que los equipos son reemplazados mucho después del tiempo que recomienda el fabricante y no importando si la eficiencia de estos se redujo. Una de las alternativas para no realizar grandes inversiones en infraestructura hídrica, es el dar mantenimiento para descartar cualquier tipo de problema técnico, sin embargo, debido a que la mayor parte de los equipos están obsoletos, el mantenimiento no es una solución viable que asegure el correcto y permanente funcionamiento.

**Cuadro 20.** Programa: Desarrollo Sustentable, 2006

PROGRAMA DESARROLLO SUSTENTABLE					
OBJETIVO: DRENAJE Y TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, 2006					
ACCIONES	METAS			PRESUPUESTO (MILLONES DE PESOS)	
	UNIDAD DE MEDIDA	PROGRAMADAS	ALCANZADAS	MODIFICADO	EJERCIDO
Operar las instalaciones del sistema de drenaje	A/P	1	1	320.39	319.98
Construir infraestructura para el sistema de drenaje	Obra	14	10.29	138.89	138.86
Realizar estudios y proyectos en apoyo a la realización de obras para el sistema de drenaje	Documento	11	11	11.11	11.11
Construir plantas de tratamiento y bombeo de agua residual	Planta	0.12	0.12	1.45	1.45
Construir líneas de agua residual tratada	Km	2.67	5.14	3.71	3.71
Realizar mantenimiento electromecánico a la infraestructura de sistema de drenaje	Equipo	744	579.26	202.27	201.73
Proporcionar mantenimiento de obra civil a instalaciones del sistema de drenaje	Obra	13.00	20.00	11.00	11.00
Apoyar la ejecución de las obras para el saneamiento de la Cuenca del Valle de México	Acción	1	1	669.88	669.88
Desazolver y rehabilitar lagunas, lagos y cauces del perímetro del Lago de Texcoco	M <sup>3</sup>	88,650	290,430	15.95	15.95
Construir pozos de absorción de aguas residuales	Pozo	0	0	0.00	0.00
Realizar el control de calidad del agua tratada	Muestra	8,750.0	4,556.0	1.69	1.69
Desazolver y rehabilitar lagunas, lagos, cauces, ríos, canales, presas y barrancas	M <sup>3</sup>	184,080.00	179,423.70	502.03	500.87
Construir captaciones para el sistema de drenaje profundo	Captación	1.00	1.00	0.50	0.50
Instalar tomas domiciliarias de drenaje	Toma	293.00	191.00	1.36	1.36
Realizar obras para el rescate y saneamiento del Canal Nacional	Obra	1.00	11.00	179.83	179.83
Ampliar y rehabilitar plantas de tratamiento y bombeo de agua residual	Planta	1.00	0.29	38.29	38.29
Cubrir compromisos pendientes de acciones realizadas durante el ejercicio anterior	S/N	0	0	11.19	11.19
Operar las instalaciones del sistema de drenaje	Sistema	0	0	83.99	83.93
<b>Total</b>				<b>2,193.53</b>	<b>2,191.33</b>

**Fuente:** Elaboración propia, con datos de la Cuenta Pública. Resultados Programático-Presupuestales del Gobierno del D. F. (Avance de Programas), 2006.

Respecto al año anterior, la participación del objetivo fue del 4% y el crecimiento de la participación en el presupuesto total asignado fue del 1%.

**Cuadro 21.** Participación % en el Presupuesto Total Asignado 2006

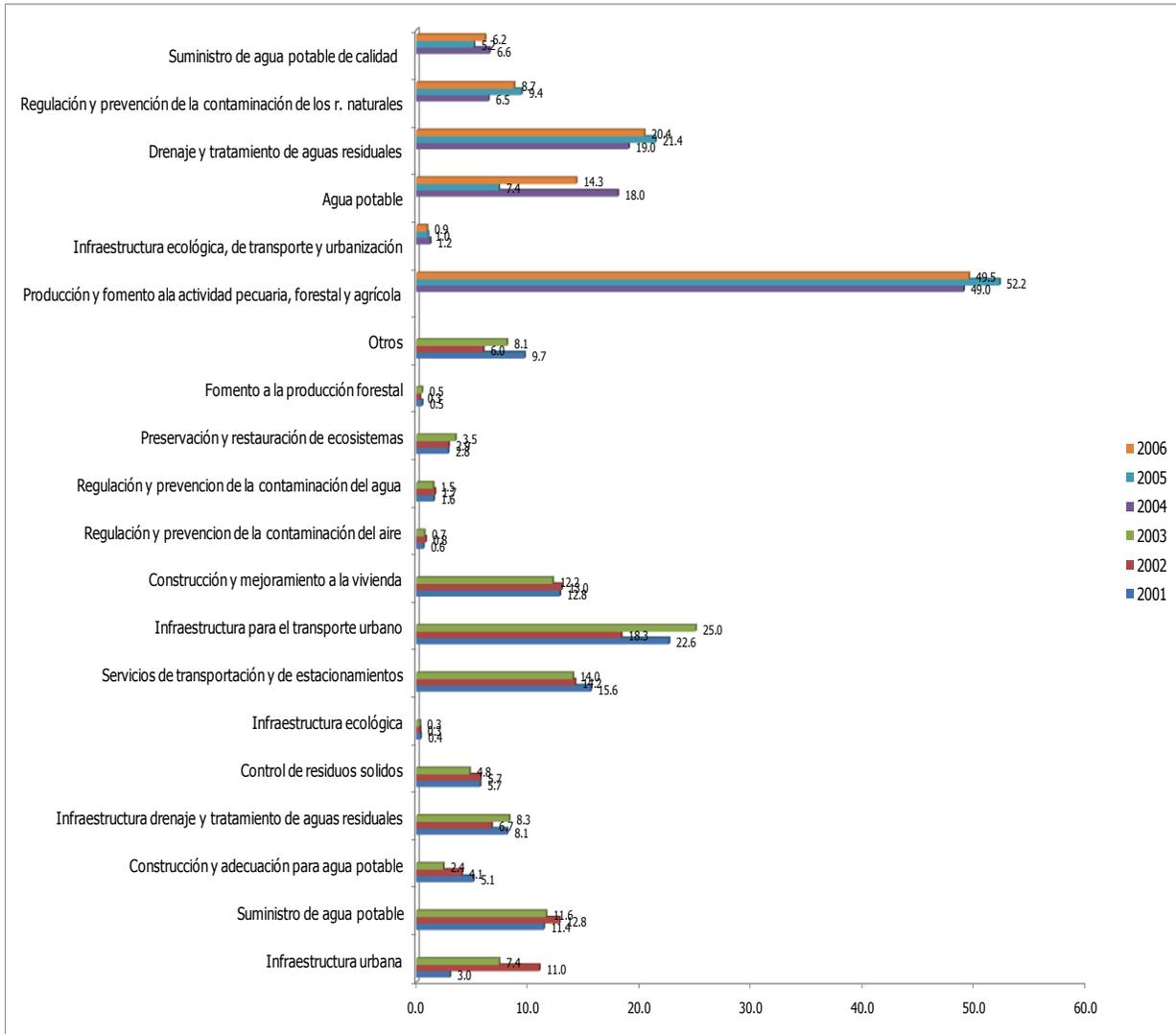
Programa: Desarrollo Sustentable					
Objetivo: Drenaje y tratamiento de agua residual					
Participación % en el Presupuesto Total (Millones de Pesos)					
Original	Ejercido	Original total	Ejercido total	%	%
2,193.60	2,191.39	56,922.52	67,034.28	0.04	0.03

**Fuente:** Fuente: Elaboración propia, con datos de la Cuenta Pública. Orientación del Gasto conforme a los objetivos del Programa General de Desarrollo del D. F., 2006.

El Programa de Desarrollo Sustentable, periodo 2001-2003, tuvo una baja en su participación del 8.1%, respecto al año anterior, continuando así para el siguiente año con 6.7%, y finalmente, en 2003 mostró una recuperación del 8.3%. A partir del año 2004, el objetivo cambia de nombre a solo Drenaje y Tratamiento de aguas residuales, y aparecen algunos más, encaminados al cuidado del medio ambiente, otros cambian de nombre con el objeto de incorporar parte de los que ya estaban en marcha. Entre los nuevos objetivos, destaca Producción y fomento a la actividad pecuaria, forestal y agrícola, la parte de infraestructura para el transporte, se fusiono a infraestructura ecológica.

Retomando la participación, en 2004 mostró un salto importante al pasar de 8.3% a 19%, en 2005 21.45% y finalmente en el 2006 tuvo nuevamente una disminución relativamente baja al tener una participación del 20.4%.

**Gráfica 2. Participación: Infraestructura, Drenaje y TAR:**  
PDS



**Fuente:** Elaboración propia con datos de Elaboración propia, con datos de la Cuenta Pública. Resultados Programático-Presupuestales del Gobierno del D. F. (Avance de Programas), 2001-2006.

### 3.3 Resultados de los Programas de 1999-2006 y expectativas del Programa "Desarrollo Sustentable y De Largo Plazo-Sistema de Saneamiento Eficiente 2007-2012"

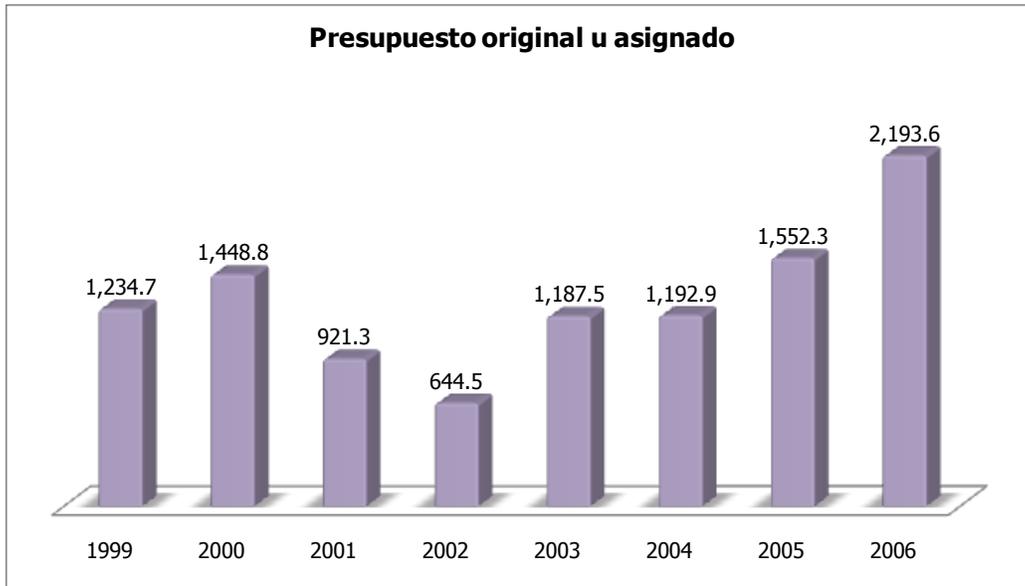
El principal objetivo del Plan General de Desarrollo 2000-2006, fue el atender de forma oportuna las demandas de la ciudadanía, a través del aumento de la capacidad de tratamiento y reúso de aguas residuales, dotar de infraestructura en zonas que aún carecen de ésta y desarrollar un eficiente sistema de drenaje, para disminuir el riesgo latente de inundaciones, el desazolve de presas, ríos, lagunas y limpieza de redes. Estas acciones son algunas de las que se encuentran trazadas en los programas "Infraestructura y Servicios Urbanos de Calidad" y "Desarrollo Sustentable" con un presupuesto que se detalla a continuación:

**Cuadro 22.** Presupuesto original o asignado 1999-2006

<b>Año</b>	<b>Presupuesto original o asignado (Millones de Pesos)</b>
1999	1,234.52
2000	1,448.61
2001	921.19
2002	644.44
2003	1,187.43
2004	1,192.85
2005	1,552.19
2006	2,193.53

**Fuente:** Elaboración propia, con datos de la Cuenta Pública. Resultados Programático-Presupuestales del Gobierno del D. F. (Avance de Programas), 1999-2006.

**Grafica 3.** Presupuesto original o asignado 1999-2006



**Fuente:** Elaboración propia, con datos de la Cuenta Pública. Resultados Programático-Presupuestales del Gobierno del D. F. (Avance de Programas), 1999-2006.

Como se puede observar en la gráfica 3, el presupuesto ha mostrado importantes fluctuaciones, debido a que las acciones que se consideraron como prioritarias en 1999 para el año 2000, desaparecieron, no se les dio seguimiento o simplemente, esa partida del presupuesto se tuvo que destinar a nuevas necesidades o incluso migrar hacia programas sociales.

Según lo establecido en la Gaceta del Distrito Federal (2001), el propósito de los programas es el darle seguimiento al proceso de recuperación de la infraestructura hídrica ante el deterioro de alguna de esta. Sin embargo los resultados muestran un avance poco significativo, debido a que las maniobras de mantenimiento son más comunes que la construcción de nuevas obras o compra de equipo, lo cual obstaculiza la eficiencia y correcto funcionamiento.

Con el cambio de administración, normalmente también se dan cambios en la estructura de los programas de Gobierno, de tal forma que de 2007-2012, el Programa de Desarrollo Sustentable, cambia a Desarrollo Sustentable y De Largo Plazo.

De 2007-2008, se disminuyeron las acciones de 17 a 10 y el presupuesto asignado pasó de **\$2,817.47 millones de pesos** a **\$3,713.75 millones de pesos**, lo cual se traduce en un aumento del 24%. De las acciones que ya no presentaron seguimiento fueron: construcción de infraestructura para el sistema de drenaje, mantenimiento electromecánico al sistema de drenaje, desazolve de ríos y cauces, construcción de pozos para la absorción de agua residual y conexión de hogares a la red de drenaje.

**Cuadro 23.** Programa: Desarrollo Sustentable y de LP, 2007

PROGRAMA DESARROLLO SUSTENTABLE Y DE LARGO PLAZO					
OBJETIVO: DRENAJE Y TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, 2007					
ACCIONES	UNIDAD DE MEDIDA	METAS		PRESUPUESTO (MILLONES DE PESOS)	
		PROGRAMADAS	ALCANZADAS	MODIFICADO	EJERCIDO
Operar las instalaciones del sistema de drenaje	A/P	1	1	452.38	452.38
Construir infraestructura para el sistema de drenaje	Obra	18	16.3	248.27	248.27
Realizar mantenimiento electromecánico a la infraestructura de sistema de drenaje	Equipo	611	615	568.99	568.99
Proporcionar mantenimiento de obra civil a instalaciones del sistema de drenaje	Obra	11.00	18.00	55.79	55.79
Apoyar la ejecución de las obras para el saneamiento de la Cuenca del Valle de México	Acción	1	1	418.38	418.38
Desazolver y rehabilitar lagunas, lagos y cauces del perímetro del Lago de Texcoco	M <sup>3</sup>	477,682	432,585	36.60	36.60
Construir pozos de absorción de aguas residuales	Pozo	2	2	1.86	1.86
Realizar el control de calidad del agua tratada	Muestra	4,500.0	4,103.0	1.03	1.03
Desazolver y rectificar lagunas, lagos cauces, ríos, canales, presas y barrancas	M <sup>3</sup>	538,927,100.00	216,583,500.00	541.18	541.18
Realizar obras complementarias al sistema de drenaje	Acción	18.00	50.00	81.15	67.56
Ampliar y rehabilitar plantas de tratamiento y bombeo de agua residual	Planta	7.00	6.50	201.95	201.95
Instalar equipos de automatización y medición de estaciones del sistema de drenaje	Equipo	110.00	102.00	21.36	21.36
Instalar tomas domiciliarias de drenaje	Toma de drenaje	500	233	2.71	2.71
Realizar y evaluar estudios, investigaciones y proyectos	Documento	40	42	28.17	28.17
Cubrir compromisos pendientes de acciones realizadas durante el ejercicio anterior	S/N	0.00	0.00	14.31	14.31
Construir infraestructura para el sistema de drenaje	Obra	9	\$1.60	43.52	43.52
Operar las instalaciones del sistema de drenaje	A/P	0	\$0.00	99.82	99.82
			<b>Total</b>	<b>2,817.47</b>	<b>2,803.88</b>

**Fuente:** Elaboración propia, con datos de la Cuenta Pública. Resultados Programático-Presupuestales del Gobierno del D. F. (Avance de Programas), 2007.

El 95% de las acciones emprendidas de 2007-2008, ejercieron el presupuesto asignado. En 2008, destacan el avance de la ampliación y construcción del sistema de drenaje con un 29% de avance extra y el mantenimiento del sistema de tratamiento y reúso de agua residual con un avance extra del 90%, pero como se mencionó a lo largo de este análisis, no es suficiente la construcción de nueva infraestructura si los equipos de las plantas de tratamiento no son reemplazados por unos mejores que permitan incrementar la eficiencia en los procesos que recibe el agua.

**Cuadro 24.** Programa: Desarrollo Sustentable y de LP, 2008

PROGRAMA DESARROLLO SUSTENTABLE Y DE LARGO PLAZO					
OBJETIVO: DRENAJE Y TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, 2008					
ACCIONES	METAS			PRESUPUESTO (MILLONES DE PESOS)	
	UNIDAD DE MEDIDA	PROGRAMADAS	ALCANZADAS	MODIFICADO	EJERCIDO
Operar las instalaciones del sistema de drenaje	Acción	1	1	637.76	637.76
Ampliar y construir del sistema de drenaje	Obra	15.2	21.3	374.39	374.39
Mantener la infraestructura del sistema de drenaje	Obra	59	107	1,374.04	1,374.04
Apoyar la ejecución de las obras para el saneamiento de la Cuenca del Valle de México	Acción	1	1	848.51	848.51
Operar el sistema de tratamiento de aguas residuales	Acción	1	1	229.06	229.06
Realizar obras complementarias al sistema de drenaje	Acción	3.00	0.20	4.88	0.34
Ampliar y construir infraestructura para tratamiento de agua residual	Obra	2.40	1.90	111.53	111.53
Mantener el sistema de tratamiento de agua residual	Acción	1.20	12.60	64.97	64.97
Realizar acciones de drenaje para apoyar el sistema comercial	Acción	1.00	1.00	48.75	48.75
Cubrir compromisos pendientes de acciones realizadas durante el ejercicio anterior	S/N	0.00	0.00	19.82	19.82
<b>Total</b>				<b>3,713.71</b>	<b>3,709.17</b>

**Fuente:** Elaboración propia, con datos de la Cuenta Pública. Resultados Programático-Presupuestales del Gobierno del D. F. (Avance de Programas), 2008.

Finalmente, el año 2009 muestra un avance no significativo de las acciones trazadas, ya que estas aún se encuentran en categoría de proyectos, aunque se haya asignado el presupuesto correspondiente.

El presupuesto asignado en 2009 fue de **\$3,363.00 millones de pesos** mientras que el ejercido asciende a **\$3,363.00 millones de pesos**, en este periodo hubo un decremento en el presupuesto de 9.4%, como resultado de una disminución considerable en la planeación de acciones o actividades.

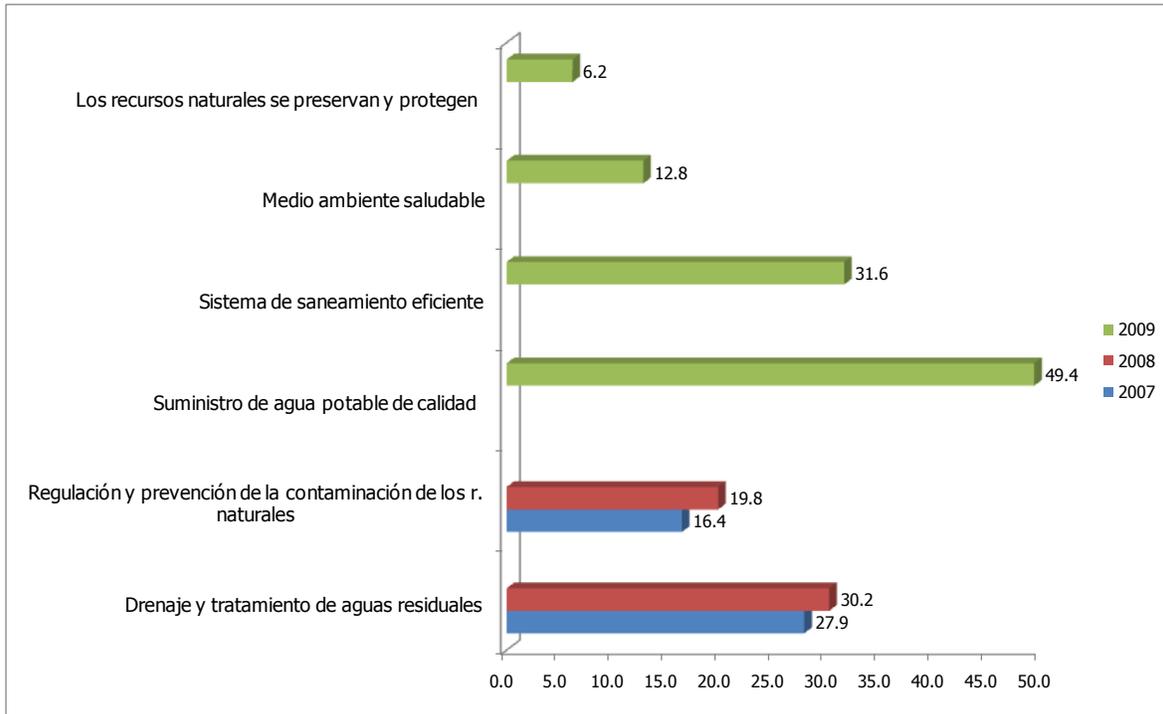
**Cuadro 25.** Programa: Desarrollo Sustentable y de LP, 2009

PROGRAMA DESARROLLO SUSTENTABLE Y DE LARGO PLAZO					
OBJETIVO: EL SISTEMA DE SANEAMIENTO, FUNCIONA EFICIENTEMENTE 2009					
ACCIONES	METAS			PRESUPUESTO (MILLONES DE PESOS)	
	UNIDAD DE MEDIDA	PROGRAMADAS	ALCANZADAS	MODIFICADO	EJERCIDO
Operación del sistema de drenaje	Servicio	1	1	643.98	643.98
Desazolve	M <sup>3</sup>	141,038.20	175,362.50	245.17	245.17
Apoyar la ejecución de las obras para el saneamiento de la Cuenca del Valle de México	Proyecto	1	1	733.82	733.82
Operación del sistema de tratamiento de aguas residuales	Servicio	1	1	221.72	221.72
Ampliación del sistema de drenaje	Proyecto	35	30	327.48	327.48
Mantenimiento del sistema de drenaje	Proyecto	31.00	35.00	1,015.48	1,015.48
Ampliación del sistema de tratamiento y reúso de agua residual	Proyecto	7	4	47.17	47.17
Mantenimiento del sistema de tratamiento y reúso de agua residual	Proyecto	6	12	128.18	128.18
<b>Total</b>				<b>3,363.00</b>	<b>3,363.00</b>

**Fuente:** Elaboración propia, con datos de la Cuenta Pública. Resultados Programático-Presupuestales del Gobierno del D. F. (Avance de Programas), 2009.

En el periodo de 2007-2009, el objetivo propio de este análisis, tuvo una participación porcentual del 27.9 con un incremento notable en 2008 del 30.2, debido a que solo se contemplaron 6 objetivos en el Programa Desarrollo Sustentable. En el año 2007, el Programa se amplió a Desarrollo sustentable y de largo Plazo, en 2009 el objetivo cambia nuevamente de nombre "Sistema de Saneamiento Eficiente" (SSE) con la participación más alta desde 1999 del 31.6 %. El resto de los objetivos están orientados únicamente al cuidado y preservación del medio ambiente.

**Grafica 4.** Participación: Drenaje y TAR- SSE: PDS y de LP



**Fuente:** Elaboración propia con datos de la Cuenta Pública. Resultados Programático-Presupuestales del Gobierno del D. F. (Avance de Programas), 2007-2009.

El objetivo Drenaje y Tratamiento de Aguas Residuales, contempla una inversión total de \$2,955.40 millones de pesos a partir del año 2007 y hasta el año 2012 en acciones consideradas como prioritarias para el correcto funcionamiento del sistema de drenaje y el desarrollo y creación de infraestructura para el tratamiento de agua residual. El cuadro 26, muestra las acciones que se consideran como prioritarias.

**Cuadro 26.** Inversión-Drenaje, Tratamiento y Reusó de las PTAR ´s (millones de pesos)

Acción	Año					
	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Rehabilitación del Emisor Central e Interceptores			1,100.0			
Construcción de Plantas de Bombeo			600.0			
Líneas de conducción y distribución			45.0			
Mantenimiento general a PTAR ´s			12.0			
Actualización tecnológica y sustitución de equipo mayor			1,080.0			
Modificación y ampliación			18.0			
Programas de vigilancia de la calidad del agua			18.0			
Controles de calidad, participación y capacitación del agua			2.4			
Experimentación y aplicación de la recarga del acuífero			80.0			

**Fuente:** SMA, 2007.

Como se puede observar, la rehabilitación del emisor central, la actualización tecnológica y sustitución de equipo en las plantas de tratamiento, tienen mayor relevancia. Sin embargo, en 2007 y 2008, la planta Cerro de la Estrella, solo realizó una modificación a la tecnología de lodos activados que consistió en la eliminación de nutrientes para favorecer el desarrollo de especies de microorganismos con mejores cualidades de sedimentación y se instalaron bioselectores anóxicos. Durante el año 2008, no se adquirieron equipos para las 24 plantas de tratamiento, sin embargo la información que proporcionó en entrevista el jefe de operación, el Ing. Martin Victoria, en 2008 fueron instalados dos sopladores centrífugos, de tal forma que hay incongruencia entre la información proporcionada por la oficina de información pública del SACM y las autoridades de la planta de tratamiento en cuestión (SMA y SACM, 2010).

Otro de los programas de esta administración, es el Programa de Recarga del Acuífero con agua residual, misma que se tratará en una planta piloto para tratamiento avanzado, de la que se darán más detalles en el cuarto capítulo. La inversión requerida para este programa, se desglosa en el cuadro 27.

**Cuadro 27.** Inversión recarga con Agua Tratada (millones de pesos)

Acción	Año					
	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Estudio para recargar agua zona poniente			0.35			
Diseño de planta de tratamiento			1.00			
Construcción de la planta de tratamiento piloto			250.00			
Perforación de 10 pozos de infiltración en el poniente			80.00			
Ampliación planta Cerro de la Estrella			100.00			
Construcción de 7 pozos Cerro de la Estrella			70.00			
Construcción de pozos de observación			51.00			
Desarrollo de modelos del acuífero			2.00			

**Fuente:** SMA, 2007.

La construcción de la planta para tratamiento avanzado, se debió de hacer en forma paralela a la construcción de los pozos, ello implicó la realización de estudios de aplicación de la norma de reinyección del acuífero. Para el 2012, se estima que se habrá inyectado un volumen de 2,500lps de agua con tratamiento avanzado.

Es importante destacar, que la construcción de la planta piloto, es la acción que requirió de una mayor inversión a diferencia de la construcción de los pozos de infiltración.

De la evidencia presentada se puede desprender que la política hídrica del Distrito Federal, ha seguido la tendencia nacional, y se ha enfocado al proceso, y aumentar su eficiencia. Por otra parte, del análisis de presupuestos se puede deducir la falta de inversión en tecnologías para la recuperación de aguas residuales, que no es lo mismo que crear más plantas.

Es importante destacar este punto, porque sí bien es cierto que la inversión en infraestructura para abrir una planta enfocada a la recuperación de agua residual es significativa en un principio, y que el tiempo de vida de las tecnologías de infraestructura, dada su naturaleza no registran cambios en el corto plazo, también los datos muestran que no sólo es que la tecnología tarde en cambiar, no se ha invertido en ella, no obstante, en el Distrito Federal tal como indican los datos, el mantenimiento si se ha aplicado de forma regular.

Este último punto se estudiará a más detalle en el caso de la Planta "Cerro de la Estrella", en virtud de que es una de las plantas más importantes, como se señaló en este capítulo.

## **CAPÍTULO 4. Cambio Tecnológico en la Infraestructura para el TAR en el D.F.: PTAR “Cerro de la Estrella”.**

En este cuarto y último apartado, se desarrollara la evidencia empírica de las tecnologías que se emplean en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “Cerro de la Estrella”, ubicada en la Delegación Iztapalapa, Distrito Federal, así como la trayectoria tecnológica de estas (patentes) y los objetivos-metas de la política hídrica, con el propósito de analizar si la política pública incide en el cambio tecnológico de la infraestructura para el tratamiento de las aguas residuales.

Como ya se mencionó en el segundo capítulo, las 24 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales que existen en el Distrito Federal, son administradas por el Sistema de Aguas de la Ciudad de México, a través de la Dirección de Operación, la cual tiene a su cargo la gestión del drenaje (drenaje profundo, desazolve y tratamiento de aguas residuales) y agua potable (plantas potabilizadoras y manejo de redes).

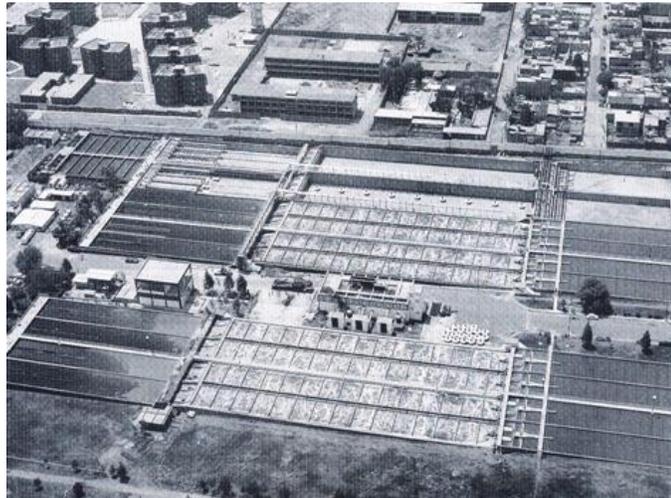
Para efectos de este trabajo, nos abocaremos al análisis de la planta de tratamiento más representativa del Distrito Federal “Cerro de la Estrella” tomando como base tres criterios: la capacidad de diseño que es de 4.0 m<sup>3</sup>s, la capacidad real diaria que es de 3.0 m<sup>3</sup>s, la capacidad promedio anual que es de 2.5 m<sup>3</sup>s, el flujo continuo de 24 hrs, el nivel de tratamiento que se lleva a cabo, la infraestructura que más adelante se detalla y el tamaño e importancia, respecto a las 23 plantas restantes.

La información contenida en este capítulo, tiene dos fuentes: la primera es una fuente primaria: proviene de la investigación de campo que se realizó durante la visita a la planta Cerro de Estrella. La segunda es una fuente documental: patentes. En ambos casos se requirió abordar el periodo de 1970-2010.

#### **4.1 Tecnologías y equipos empleados en la PTAR “Cerro de la Estrella”**

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “Cerro de la Estrella”, fue construida en 1969 y puesta en operación en 1971, inicialmente solo se realizaba tratamiento secundario. Entre 1984 y 1993, se amplía el nivel de tratamiento a terciario, siendo su principal insumo el agua combinada (domestica, lluvia y de servicios), misma que es conducida por el colector Río Churubusco. El agua que recibe proviene de la Planta de Bombeo Aculco, a través de una línea de conducción de 183cm de diámetro y una longitud aproximada de 6.55km.

**Imagen 1.** Planta Cerro de la Estrella



**Fuente:** SACM, 2010.

Una vez que ha ingresado el agua residual a la planta, empieza el proceso de tratamiento en el que se emplea la tecnología convencional de lodos activados con bioselector, desarrollada en Inglaterra en 1914, actualmente es la tecnología estándar para el tratamiento de aguas residuales en países desarrollados (Méndez, Miyashiro, Rojas, Cotrado y Carrasco, 2004).

El proceso de tratamiento de aguas residuales principia en la recepción, conducción y regulación del agua a tratar, en esta fase se emplea tanto equipo hidráulico, electromecánico y obra civil, por ejemplo: bombas centrífugas, tubería, válvulas, motores, estaciones de botones, protectores térmicos, arrancadores, cableado y cárcamos. Es importante contar con varias unidades de bombeo con capacidad suficiente para bombear el caudal máximo previsto para realizar los programas de mantenimiento preventivo y correctivo.

Posteriormente, se pasa al tratamiento preliminar, su objetivo es acondicionar las aguas residuales para evitar averías en los equipos de bombeo, inhibir la incrustación y obstrucción de basura en las líneas de conducción, además de la separación de material flotante. El equipo que se emplea es tubería, bombas (en algunos casos), tubería de conducción de aire, difusores, cabezales de distribución, motores, arrancadores, cableado, sopladores o compresores.

En el tratamiento primario, se realiza la separación de sólidos sedimentables, separación de grasas, aceites y materia flotante, la sedimentación primaria se hace por gravedad y los equipos que intervienen son, tubería, drenaje, motoreductores, arrancadores, tanques de sedimentación, rastras, vertedores y canaletas de recolección (SOS, 1986).

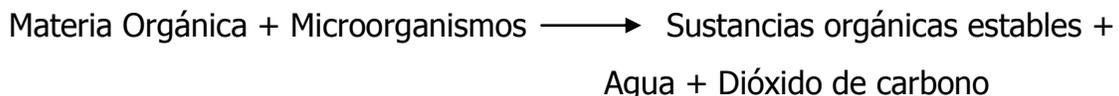
**Imagen 2.** Sistema de rastreo en tanque. Sedimentador primario



**Fuente:** SACM, 2010.

En el nivel secundario de tratamiento con lodos activados, se provee de los requerimientos de nutrientes y oxígeno necesarios para la degradación de la materia orgánica, mantener la suspensión de la biomasa y romper la espuma ocasionada por el movimiento del licor mezclado por el aire comprimido.

El proceso de lodos activados, consiste en la biodegradación de una parte de la materia orgánica contenida en el agua residual, llevada a cabo por microorganismos que la utilizan como medio de subsistencia y que producen a partir de ella compuestos estables, dando como resultado la siguiente ecuación:



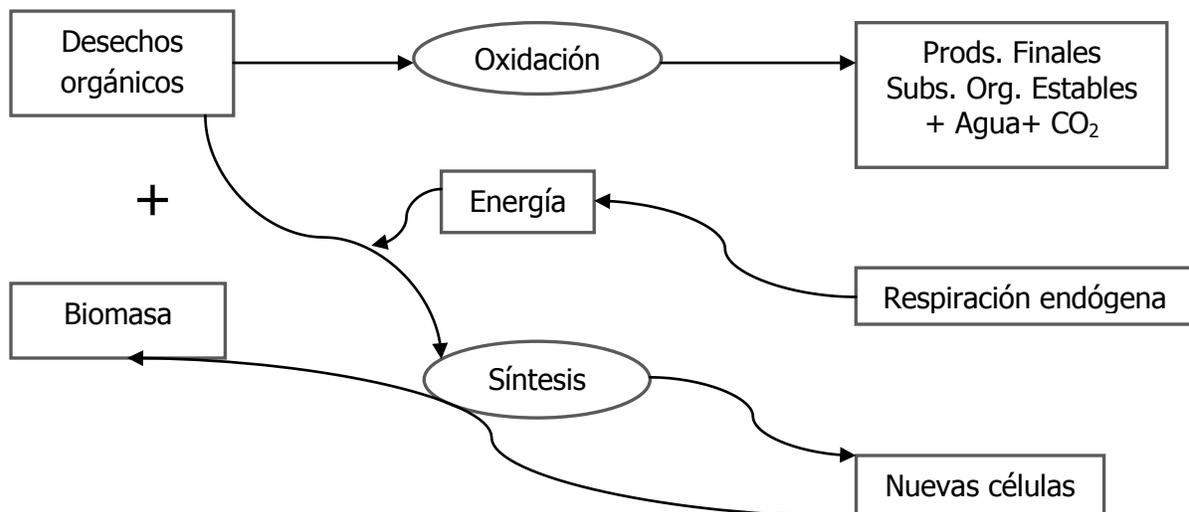
Los microorganismos (biomasa) degradan la materia orgánica a través de la oxidación produciendo en esta etapa agua, bióxido de carbono, sustancias orgánicas estables y energía; siendo esta última aprovechada por los microorganismos para la producción de nuevas células por síntesis. Cuando ya no hay materia orgánica disponible, se da la muerte de algunos microorganismos que

son aprovechados como materia orgánica muerta por los que aún permanecen vivos. La oxidación biológica para degradar y finalmente estabilizar la materia orgánica, depende de la estructura de los compuestos. La figura 6, ilustra el proceso de biodegradación de la materia orgánica, durante del proceso de lodos activados, cuya labor es acelerar los procesos biológicos naturales de purificación del agua, disminuyendo el espacio necesario y controlando las variables que intervienen (Secretaria de Obras y Servicios, 1986).

Durante la sedimentación secundaria, se recolectan los lodos activados en tolvas para recircularlos al tanque de aeración y volver a comenzar el proceso.

Los equipos que se emplean en el nivel secundario de tratamiento son: tubería, compresores o sopladores (incluyendo filtros de aire), motores para bombas de recirculación, arrancadores, cableado, aereadores, tanque de sedimentación, rastras y drenaje.

**Figura 6.** Biodegradación de materia orgánica



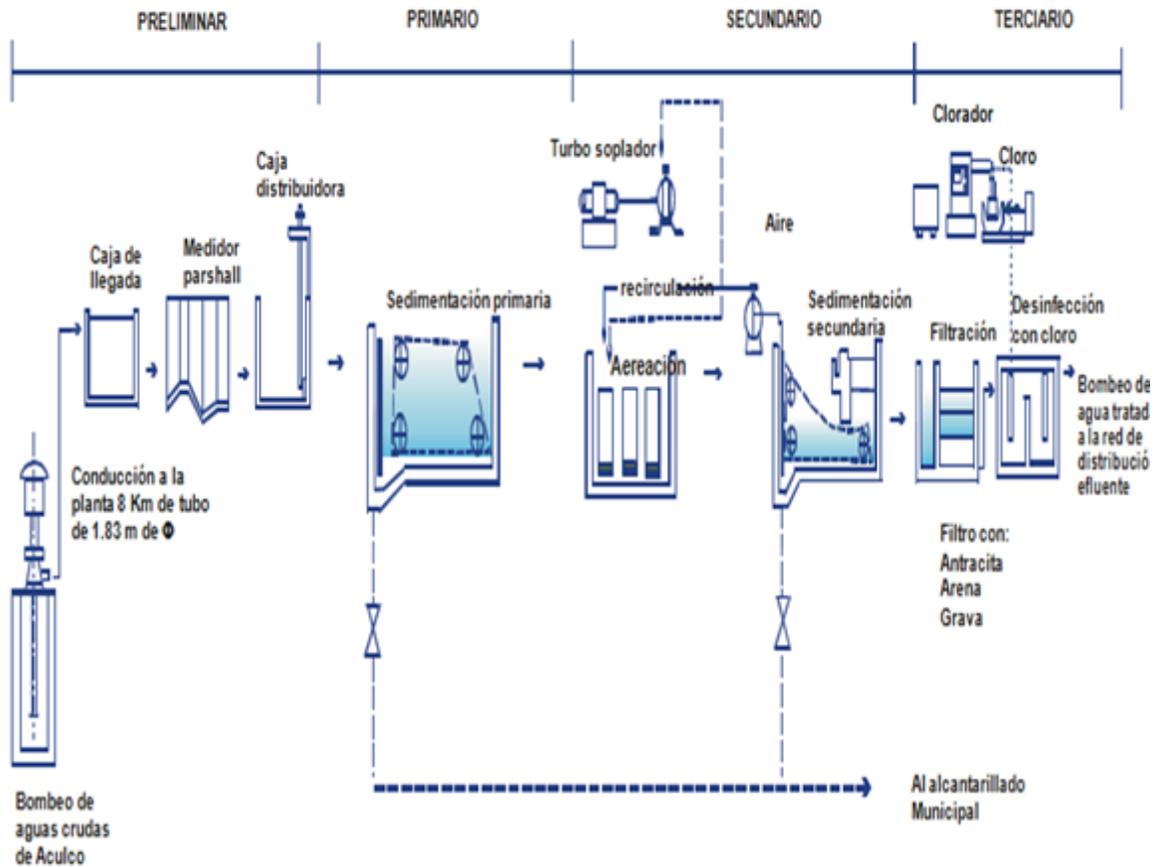
**Fuente:** Secretaría de Obras y Servicios (SOS), 1986:8.

Los lodos activados, es un proceso que se ha empleado desde los inicios de la planta Cerro de la Estrella hasta la actualidad, durante este tiempo, ha sido operado mediante reglas no documentadas y basadas en el conocimiento tácito del personal más antiguo, sin embargo, el aumento en cantidad y variedad de las descargas industriales al drenaje de la ciudad, de donde se suministra el caudal de alimentación a las plantas de tratamiento ha rebasado la capacidad de la infraestructura disponible, instalaciones y recursos humanos en esta área. Desde los años 80's, ya se vislumbraba la necesidad de formar operadores que estuvieran familiarizados con el proceso y el manejo correcto de las principales técnicas de control del proceso, con el propósito de mejorar y mantener la calidad requerida en el efluente de la planta, sin darle demasiada importancia a las variaciones en el caudal o contaminantes que el afluente pueda traer consigo (SOS, 1986:75).

Definitivamente, el aumento de la población y falta de un presupuesto acorde a las necesidades del sector, son cuestiones que hacen más precario el estado de las distintas plantas de tratamiento de la Ciudad de México.

Finalmente, en el nivel terciario se pretende mejorar el efluente, resultado del tratamiento biológico secundario, a través de la filtración con antracita, arena y grava, con el objeto de eliminar la mayor cantidad de bacterias patógenas y nutrientes en suspensión, posteriormente se pasa al área de desinfección con cloro. Los equipos participantes en esta última etapa son: tubería, bombas dosificadoras de cloro, motoreductores, cableado y tanques de almacenamiento de cloro.

**Diagrama 1.** Diagrama del Proceso de TAR de la Planta Cerro de la Estrella



**Fuente:** Sistema de Aguas de la Ciudad de México, 2010.

Una vez que ha concluido el proceso, el agua residual tratada, es bombeada a la red de distribución de efluente para su posterior reutilización en servicios al público con contacto directo, como son el llenado de lagos y canales artificiales, remo, canotaje, fuentes de ornato, lavado de vehículos, riego de parques y jardines. En servicios al público con contacto indirecto, el riego de jardines y camellones en autopistas-avenidas, campos de golf, y panteones (SACM, 2010).

Su infraestructura consta de lo siguiente:

- 4 unidades de proceso.
- 14 trenes de tratamiento.
- 8km de conducción de agua residual en tubería de 72.
- 93km de línea de conducción de agua residual tratada: diversos diámetros.
- 4 Rebombeos de agua residual tratada.

Cabe señalar que no todas las plantas de tratamiento del SACM, cuentan con la misma infraestructura, la homologación del equipo depende en gran medida del nivel de tratamiento y la tecnología que se emplea en el proceso.

El cuadro 28, detalla los equipos que intervienen en el proceso, así como el tiempo de vida aproximado, cuantos están instalados y operando.

En su mayoría, el equipo que interviene durante el proceso es electromecánico, este se compone de bombas verticales y sumergibles que operan a través de un motor, compresores, sopladores centrífugos y turbocompresores.

Hay equipos que han sido reemplazados, tal es el caso de los dispersores, encargados de homogenizar la cantidad de aire, con el objeto de expandir el oxígeno en el bioreactor. En un principio fueron de piedra, con un tiempo de vida de 24 años, para pasar a los de cerámica, con un tiempo de vida 16 años y posteriormente a los de membrana que tienen 8 años de haber sido sustituidos.

**Cuadro 28.** Inventario de equipo involucrado en el proceso

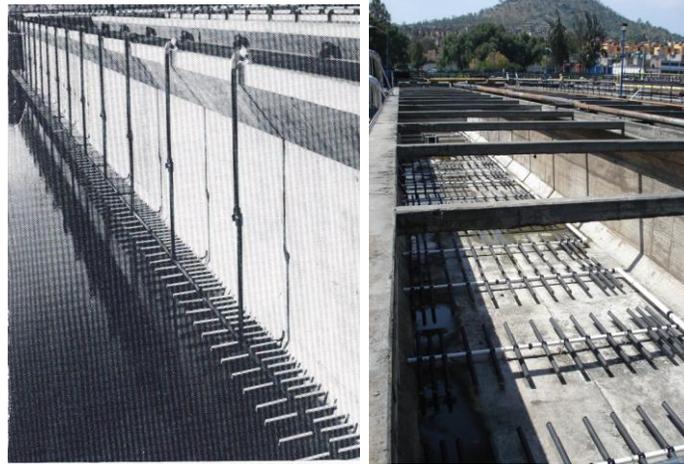
Infraestructura	Equipo	Marca	Tiempo de vida	Instalado	Operación
Cisterna de agua potable	2 Bombas sumergibles 15 hp		2 años	2	2
Cuarto de control de motores	40 Arrancadores de 60 hz 20 Arrancadores de 60 hz	Squared Siemens General pacific General electric	2 años 15 años	60	50
Edificio de cloración	1 Polipasto 10hp		20 años	1	1
Tanque de cloración	2 Dosificadores de cloro de 900kg día			2	2
Planta Piloto de Tratamiento Avanzado					
Zona de filtros	2 Bombas 2 Motores 60 hp 4 Unidades de potencia 4 Motores horizontales 2 Compresores 2 Motores 5hp	Us  Siemens	2 años 20 años 4 años	2 4 1	2 4 1
Subestación eléctrica	3 Transformadores 1200 kva 2 Transformadores 1500 kva 2 Transformadores 1000 kva	Voltran y Telsa	12 a 15 años	7	5
Tanque de recuperación	4 Equipos de bombeo 2 Motores 60 hp, 125 hp 1 Motor 75 hp 1 Motor 150 hp	Ocelco Us Siemens IEM	15 años	4	Fuera de operación
Sedimentación secundaria norte	8 Motores 0,5 hp 10 Motores 40 hp	IEM y Siemens	2 años	8 10	8 5
Sedimentación secundaria sur	4 Motores 7 Motores 40 hp 17 Bombas	Siemens Emerson Us Fairban, Morse, Gorman Rup		4 7 17	4 4 9
Aereación Norte	6,500 Difusores piedra Difusores ceramica Difusores membrana		24 años 14 años 8 años	6500	6500
Edificio sopladores	SALA 1 Sopladores 3 Sopladores 1 Soplador 1 Soplador 1 Soplador 6 Motores SALA 2 Sopladores 3 Sopladores 1 Soplador 2 Motores 1 Motor 1 Motor	Turblex Turblex Roots K  Hoffman Hoffman Toshiba Vsmetters Relance	20 años 2 años 9 años 24 años  20 años 2 años 10 años 10 años 10 años	6     4 4	5     2 2
Torre de enfriamiento	1 Motor del ventilador vertical 15 hp 2 Bombas 4p hp horizontal 2 Bombas 10 hp sumergibles	Siemens	2 años 2 años	1 4	1 4
Selector anoxico (Bioselector)	14 motores (2) 15 hp y (12) 7.5hp	Flender	2 años	14	14
Sedimentación primaria	8 Motores 0.5hp 4 Motores 0.5hp	Siemens Siemens	2 años 2 años	8 4	8 4
Caja distribuidora lado sur	1 Criba 1 Motor 5hp	Hedworks Baldor	2 años 2 años	1	1
Carcamo de salida	7 Equipos de bombeo 1 Motor 300 hp 2 Motores 300hp 1 Motor 300hp 1 Motor 200hp 1 Motor 150hp 1 Motor 200hp	Westinghouse IEM Us IEM IEM General electric	5 a 6 años 5 a 6 años	7	7

11

**Fuente:** Elaboración propia, con datos proporcionados en investigación de campo, 2010.

<sup>11</sup> Unidades de medida. Hp: caballos de fuerza, Hz: Hertz, kva: Kilovatios.

**Imagen 3.** Sustitución del sistema de difusión de aire



**Fuente:** SACM, 2010.

El tiempo de vida de los equipos es aproximado, debido a que la planta no cuenta con un inventario bien elaborado y el SACM, solo proporciona información de un periodo no mayor a cinco años por disposición oficial. En otros casos, hay equipos que están instalados, pero solo se opera con el 50% de lo disponible, debido a que parte del equipo o ya no sirve o se tiene de reserva, situación que disminuye el tiempo de vida del equipo, además de su eficiencia.

Así pues, se puede observar, que los equipos no son de origen nacional y que el tiempo de vida y de uso revelan obsolescencia más que cambio lento en la tecnología: como se recordará la planta inició funciones en 1970 y a la fecha no se han adquirido más que dos equipos, es decir, tal como muestra el cuadro 28 si el tiempo de vida más largo era de 24 años, entonces desde 1994 esos equipos debieron ser renovados, no obstante, esto no sucedió.

Es importante enfatizar en la magnitud de la planta, respecto a las demás y resaltar el hecho de que no cuenta con una alternativa para el suministro de energía eléctrica en caso de que falle la fuente convencional por tiempos prolongados, lo que obstaculiza el proseguir de los procesos y su productividad, no

cuentan con acceso a internet, y la comunicación que mantienen con el SACM es a través de correspondencia, misma que es entregada diariamente.

Existen equipos que no han sido reemplazados por más de 20 años, lo cual se traduce en obsolescencia de la infraestructura, vulnerabilidad en la operación, disminución de la eficiencia y el rendimiento de los equipos, además de desventajas frente a otros países que se encuentran desarrollando nuevos procesos y tecnologías para el óptimo tratamiento de las aguas residuales como Estados Unidos y Alemania; países de donde provienen la mayoría de los equipos empleados en la Planta Cerro de la Estrella y a la lista se une Japón que también ha puesto especial atención en desarrollar tecnología de punta en este sector. Por recomendación de los proveedores, los equipos deben ser reemplazados en un periodo no mayor a 5 años.

Particularizando en los equipos que se consideran como estratégicos en el desarrollo del proceso, se encuentran los sopladores que operan a través un motor que debe de cumplir con las especificaciones del primero al ser equipos complementarios. Su función es proveer de oxígeno para el óptimo funcionamiento del bioreactor, a través de la inyección de aire, lo cual facilita el proceso metabólico de los microorganismos y su continuo movimiento, dando como resultado un ambiente favorable para que absorban los contaminantes que posee el agua residual.

El tratamiento de aguas residuales requiere de grandes volúmenes de baja presión (5 a 20 psig) de aire, por ello la selección de ventiladores de aireación es vital, puesto que requieren más del 65% de la energía empleada en una planta de tratamiento de aguas residuales (Turblex, 2010). Los equipos que se emplean en Cerro de la Estrella y que cubren con estas características son los sopladores centrífugos Roots de la empresa Dresser, sopladores Hoffman de Gardner Denver

y Turblex de Turblex; empresa que recientemente adquirió Siemens. Todas las empresas son de origen estadounidense, excepto Siemens que es alemana.

Por otro lado, la adquisición y reemplazo de infraestructura, según el Ing. Martín, Jefe de Operación de la planta en cuestión, los criterios que se toman en cuenta para reemplazar un equipo son: precio, calidad, financiamiento y oportunidad, sin embargo el precio no necesariamente asegura la eficiencia de una tecnología o equipo. El factor que a menudo tiene alta incidencia en la realización de una compra, es la disponibilidad de recursos financieros, situación que en los últimos 15 años se ha agudizado con la continua austeridad en el presupuesto local. Dichos criterios deben cumplirse, tal y como lo establece la Ley de las Adquisiciones del Distrito Federal (1998), en su capítulo III, concerniente a licitaciones.

Otro factor que impacta, es la falta de disponibilidad de recursos humanos calificados para operar la infraestructura adquirida, así como para la realización de mantenimiento preventivo y correctivo que se realiza de acuerdo a la jerarquía de las necesidades que existen en la planta.

Actualmente, el agua tratada no es apta para el consumo humano, sin embargo, según el Ing. José Galván, quien es Subdirector de Drenaje y Tratamiento del SACM, declaró que el Distrito Federal, es la única entidad a nivel nacional que está realizando tratamiento para la recuperación de agua para uso humano, a través de una planta piloto que se encuentra en las instalaciones de la Planta Cerro de la Estrella, administrada por la Dirección de Planeación y Construcción, quien se encarga de la gestión de proyectos a nivel piloto. Sin embargo, no proporciono detalles sobre las tecnologías aplicadas. Hoy en día, el volumen de agua con tratamiento avanzado, (Cuadro 5) es de 25 lps al día, en un futuro inmediato se pretende escalar a 1,000 lps por día, lo cual permitiría infiltrarla al acuífero para su recarga, ello depende de los resultados del ensayo

biológico en peces que se está realizando para medir la calidad del agua y del cumplimiento de la normatividad, la cual establece que para poder llevar a cabo la infiltración, se debe hacer a más de 200 metros de profundidad. Por razones sanitarias y de cultura, no es posible que en el corto plazo, el agua con tratamiento llegue en forma directa a los hogares de la Ciudad de México, al menos así lo afirman autoridades encargadas de la administración y operación de la planta Cerro de la Estrella. **No obstante, a la fecha aún es un prototipo.**

Como ya se menciono, en la Planta Cerro de la Estrella, los sopladores son equipos estratégicos para el funcionamiento de la misma e impactan directamente en la productividad y eficiencia del agua recuperada para uso secundario, por una parte. Por otra parte, en esta planta en el proceso de renovación de equipos, los sopladores son el equipo que se ha sustituido por otro mejor o superior (cambio tecnológico, conforme a lo definido en el primer capítulo). Por tal razón, al hablar de cambio tecnológico el estudio se enfocará a este equipo.

#### **4.2 Cambio Tecnológico en Equipos Estratégicos en el Proceso de Lodos Activados: estudio a través de patentes.**

Tal como se explicó en el primer capítulo, una trayectoria tecnológica describe el cambio tecnológico en una determinada tecnología, puesto que indica la evolución en forma discreta del surgimiento de nuevos desarrollos tecnológicos que responden de forma más adecuada al problema en cuestión, es decir, de las tecnologías que sustituyen a las anteriores. Asimismo, se señaló que la trayectoria se puede construir a partir del análisis de patentes.

En el análisis de patentes que se realizó, en torno a los equipos (bombas, turbocompresores, compresores y sopladores centrífugos) que se consideran como estratégicos durante el proseguir del proceso de tratamiento de aguas residuales

que lleva a cabo en la planta "Cerro de la Estrella", previamente explicado, se tomo como muestra las patentes publicadas de las siguientes clasificaciones:

- ✚ F04D1/00.- Bombas de flujo radial, p. ej. bombas centrífugas; bombas helicocentrífugas ( adaptadas para bombear líquidos particulares)
- ✚ F04D1/06.- Bombas de etapas múltiples
- ✚ F04D17/00.- Bombas de flujo radial especialmente adaptadas para fluidos compresibles, p. ej. bombas centrífugas ; Bombas helicocentrífugas especialmente adaptadas para fluidos compresibles
- ✚ F04D17/12.- Bombas de etapas múltiples
- ✚ F04D17/16.- Para desplazamiento sin compresión notable

A nivel general, la clasificación internacional F04D, se refiere a bombas y aparatos de desplazamiento no positivo.

La muestra fue tomada de la oficina de patentes de México, Sistema de Información de la Gaceta de la Propiedad Industrial (SIGA), Europa (EUROPAT) y Estados Unidos, (USPTO), debido a que las dos últimas son consideradas como los mercados tecnológicos más importantes para la protección industrial, y México se considera porque el objeto de estudio está ubicado justo en ese país.

En EUROPAT, la muestra está constituida por patentes publicadas. Es importante señalar que la solicitud de patente se publica a los 18 meses, siempre y cuando haya cumplido con los requisitos de forma, para posteriormente otorgar la patente a los inventos que cubran con los requisitos de fondo (invento, utilidad industrial y que sea novedoso). Por lo que, no todas las solicitudes se publican, y no todas las solicitudes de patente publicadas se otorgan. En esta oficina no está disponible la opción de hacer la búsqueda por patentes otorgadas, únicamente por patentes publicadas. En el caso de la USPTO Y SIGA, la búsqueda se realizo a partir de las patentes otorgadas.

La base de patentes comprende el periodo de 1970 al 2010, debido a que en 1971 la planta en cuestión inicio operaciones y por consiguiente puso en marcha parte de la infraestructura con la que actualmente desempeña sus funciones.

Cabe destacar que la información de patentes, no es homogénea en las tres oficinas de las que recopiló la información, en el caso de México solo se encontraron patentes del año 1970, 2002, 2007 y 2008, en la oficina Europea no se encontraron patentes del periodo de 1971 a 1979, 1984, 1985 y 1988, y en la Oficina de Marcas y Patentes de Estados Unidos, USPTO se omitieron varios años por tratarse de aparatos distintos a los que interesan en este trabajo, dichos años son: 1977, 1982, 1986-1987, 1990 y 2006-2009. En esos se considera que el número de patentes es "0".

Otro aspecto que resulta importante mencionar, es el hecho de no haber tomado todas las patentes arrojadas en las búsquedas por campo tecnológico, debido a la presencia de patentes de aparatos de desplazamiento no positivo, pero no de aplicación industrial.

Por otro lado, los datos que se extrajeron de los documentos de patentes son: la fecha de publicación, título de la patente, fecha de solicitud, fecha de otorgamiento, fecha de prioridad, la clasificación internacional y para Estados Unidos, la clasificación interna, descripción de la patente, nacionalidad del inventor, nacionalidad del titular y si se trata de un producto; proceso o ambos, esto con el objeto de identificar que empresas son las que han venido desarrollando equipos que son empleados para el tratamiento de aguas residuales, identificar desarrollos previos, la predominancia de empresas titulares sobre inventores titulares y la tendencia de patentamiento sobre campo tecnológico, adicionalmente se cálculo el índice de dependencia tecnológica para el caso de México.

Se realizó el análisis de temáticas centrales (tendencias de desarrollo tecnológico) tomando como referencia las palabras que conforman los títulos de las patentes, mediante Redes 2005; software con características avanzadas de Sistemas de Conocimiento, el cual permite el trazo de redes tecno-científicas a partir de palabras, co-autorías y co-citas (Universidad de Granada, 2010). Se analizó la frecuencia de las palabras, los indicadores de centralidad y densidad para determinar la relación con otras temáticas, y si se trata de un tema desarrollado y con alto grado de especialización para cada oficina. Sin embargo para el caso de México, debido al número de patentes no fue posible construir la red (base extremadamente pequeña).

Finalmente, se construyó la trayectoria tecnológica, a partir de los cambios discretos que han tenido las tecnologías en EUROPAT (1980-2010), USPTO (1976-2004) Y SIGA (2008). Con el fin de analizar la incidencia de la política hídrica en el desarrollo de tecnológico y la modernización de la infraestructura para el tratamiento de aguas residuales en el Distrito Federal, específicamente en el caso de los sopladores, se comparó de forma cualitativa la trayectoria tecnológica con la evolución de la política hídrica, en el tiempo, a fin de detectar si hubo o no algún efecto.

#### **4.2.1 Evidencia empírica**

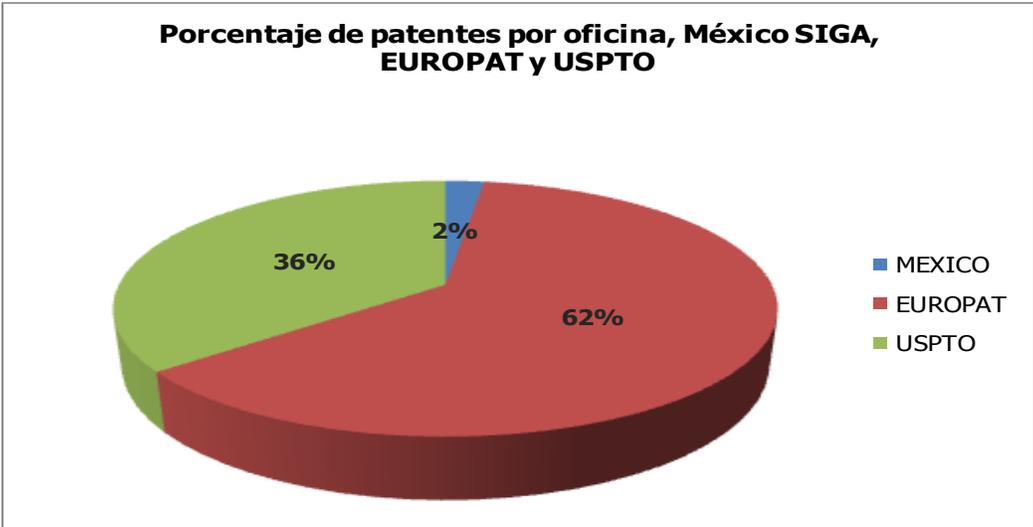
##### **4.2.1.1 Análisis de la tecnología**

La dinámica de patentamiento, (distribución de patentes registradas en los diferentes mercados tecnológicos, en este caso: Estados Unidos, Europa y México) en México en equipos de desplazamiento no positivo, pertenecientes a las clases F04D1/00, F04D1/06, F04D17/00, F04D17/12 y F04D17/16, entre los que se encuentran los sopladores centrífugos, turbocompresores, bombas sumergibles y bombas verticales, apenas alcanza el 2%, mientras que en Europa es del 62% y

Estados Unidos del 36%. Este comportamiento, obedece a factores como debilidad en la legislación mexicana en materia de protección industrial y al tiempo de respuesta para el otorgamiento de una patente.

La gráfica 5, muestra el porcentaje de patentes que otorgo México, en el periodo de 1970-2010 en comparación a los dos mercados más importantes a nivel mundial: Europa y Estados Unidos.

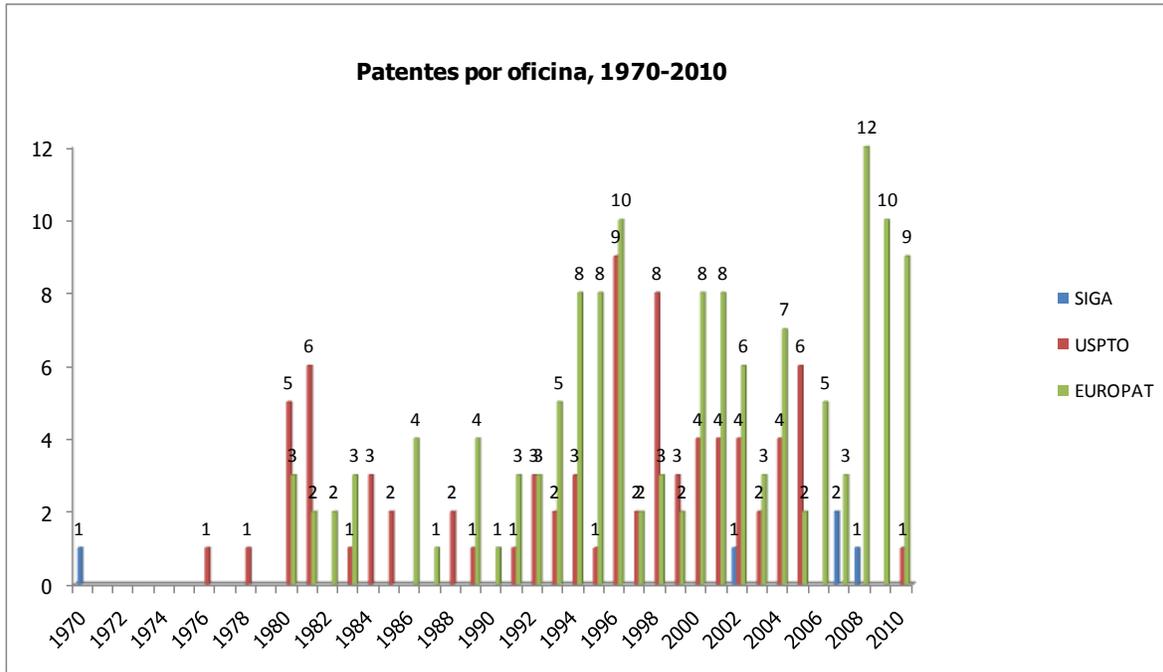
**Gráfica 5.** Porcentaje de patentes por oficina: SIGA, EUROPAT y USPTO



**Fuente:** Elaboración propia con datos de SIGA, EUROPAT Y USPTO (1970-2010).

Como se puede observar, México es el país con menos patentes otorgadas a diferencia de las otras dos oficinas, solo ha otorgado cinco patentes de este tipo de equipos a lo largo de 30 años, por su parte Estados Unidos ha otorgado 79 patentes relacionadas con sopladores, bombas y compresores, pero su comportamiento ha sido inestable, de 1996-1998, fue el periodo con mayor número de patentes otorgadas. Europa, cuenta con 137 patentes de equipos de desplazamiento no positivo, presenta una tendencia más continua, respecto a Estados Unidos y por supuesto México.

**Gráfica 6. Número de patentes por oficina**

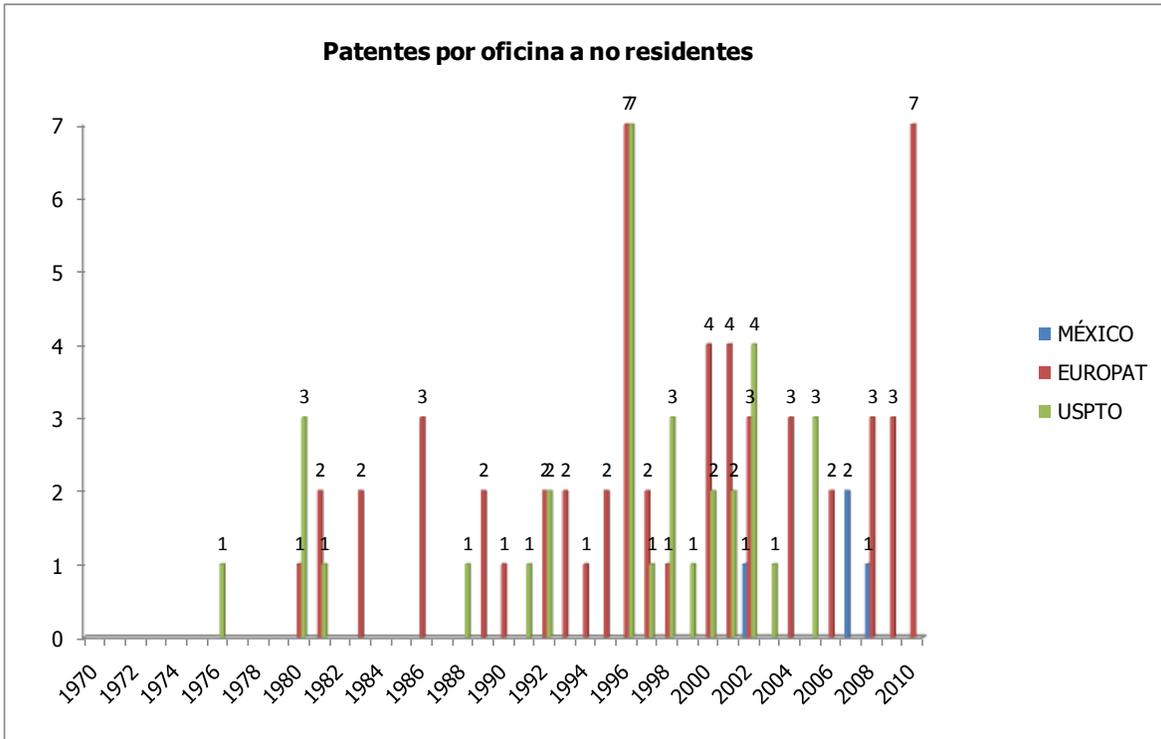


**Fuente:** Elaboración propia con datos de SIGA, EUROPAT Y USPTO (1970-2010).

En lo que respecta a la Oficina Europea, se han publicado 137 patentes, lo que la sitúa como la oficina más importante dentro de este análisis, al poseer más del 50% de las patentes publicadas, relacionadas a los aparatos de desplazamiento no positivo o también llamados dinámicos.

En materia de patentes otorgadas por oficina a no residentes, México tiene un papel más activo al otorgar el 80% de las patentes a inventores o empresas extranjeras, sin embargo, hay que tener presente que la muestra tomada de la oficina de México no es equiparable a la de Estados Unidos, que tiene un comportamiento muy similar al de Europa al otorgar el 42% de las patentes a extranjeros.

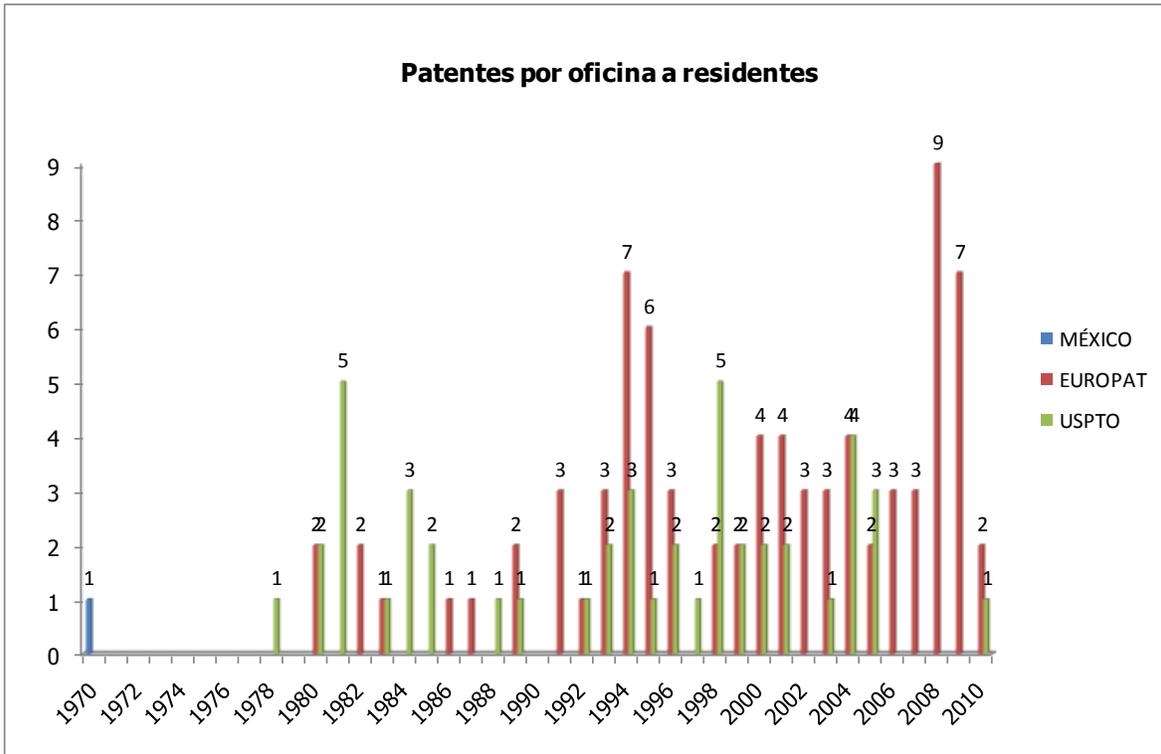
**Gráfica 7.** Número de patentes por oficina a no residentes



**Fuente:** Elaboración propia con datos de SIGA, EUROPAT Y USPTO (1970-2010).

Contrastando, el otorgamiento a residentes en México es del 20%, Estados Unidos y Europa continúan con un comportamiento de concesión al otorgar el 58% de las patentes por lo que se puede decir que le da preferencia más a sus nacionales.

**Gráfica 8.** Número de patentes por oficina a residentes



**Fuente:** Elaboración propia con datos de SIGA, EUROPAT Y USPTO (1970-2010).

La gráfica 9, muestra las patentes otorgadas de las tres principales nacionalidades por año: estadounidense, japonés y alemán.

En México, la concesión de patentes en las clasificaciones antes mencionadas, tanto a estadounidense como alemanes, representa el 20% del total de estas, los japoneses no figuran. El 60% restante, corresponde a patentes de nacionalidad mexicana, francés y danesa.

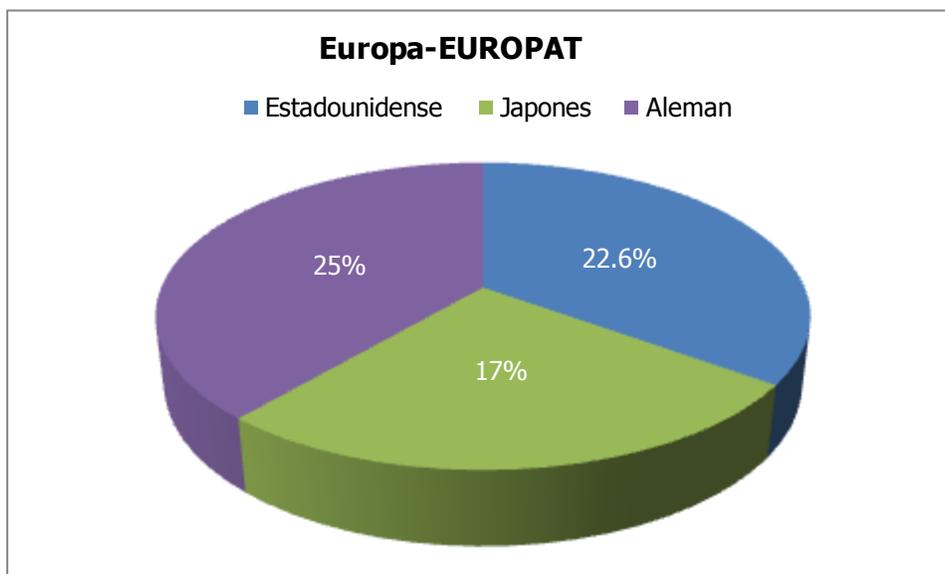
**Gráfica 9.** Porcentaje de patentes por nacionalidad del titular y oficina



**Fuente:** Elaboración propia con datos de SIGA, 1970-2008.

En Europa, el 25% lo ocupan los alemanes, seguido por los estadounidenses con el 23% y el 17% les corresponde a los japoneses.

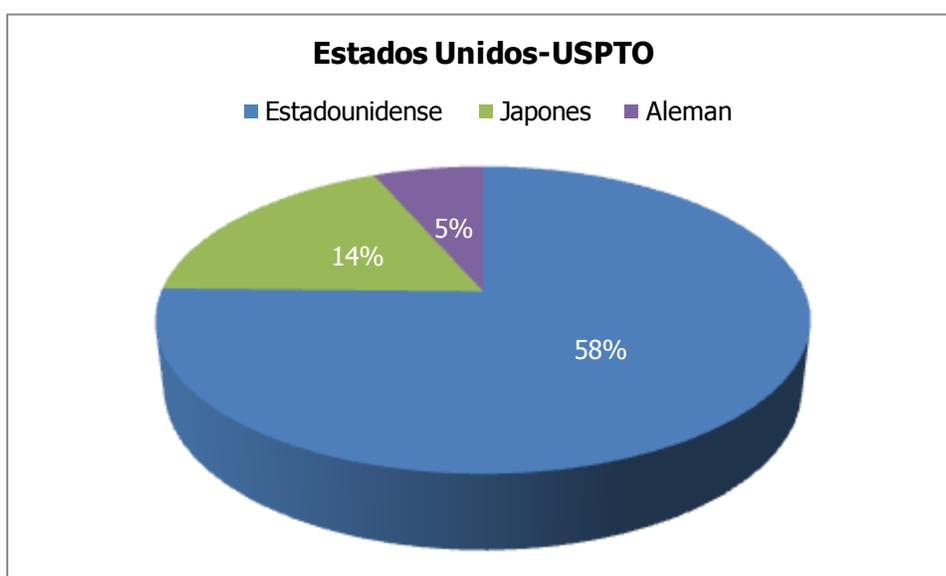
**Gráfica 10.** Porcentaje de patentes por nacionalidad del titular y oficina



**Fuente:** Elaboración propia con datos de EUROPAT, 1980-2010.

Es importante destacar que actualmente, los sopladores y turbocompresores provienen justamente de Estados Unidos y Alemania, países líderes en la producción de turbo-maquinaria (Anexo II) con aplicaciones industriales, aunque como ya se había mencionado, Japón ya está haciendo lo propio, recientemente llevaron a cabo una visita a la planta “Cerro de la Estrella” para conocer el proceso que realizan y ofrecerles la tecnología que se encuentran desarrollando.

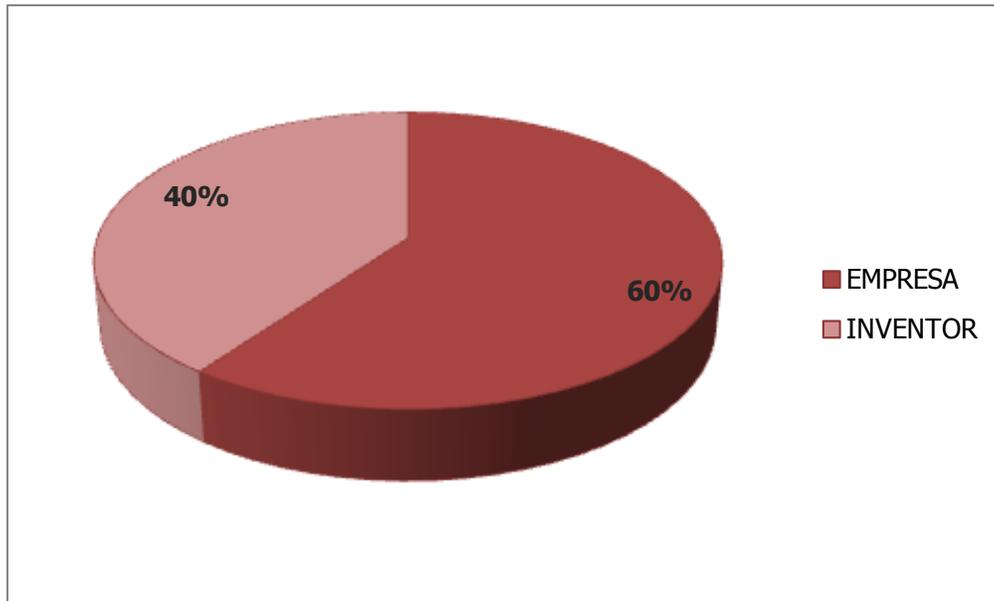
**Gráfica 11.** Porcentaje de patentes por nacionalidad del titular y oficina



**Fuente:** Elaboración propia con datos de USPTO (1976-2010).

Ya se expusieron las tres principales nacionalidades de los titulares, sin embargo, es necesario también hacer énfasis en el tipo de titular, en este caso se trata de inventores y empresas.

**Gráfica 12.** Porcentaje de patentes por tipo de titular SIGA

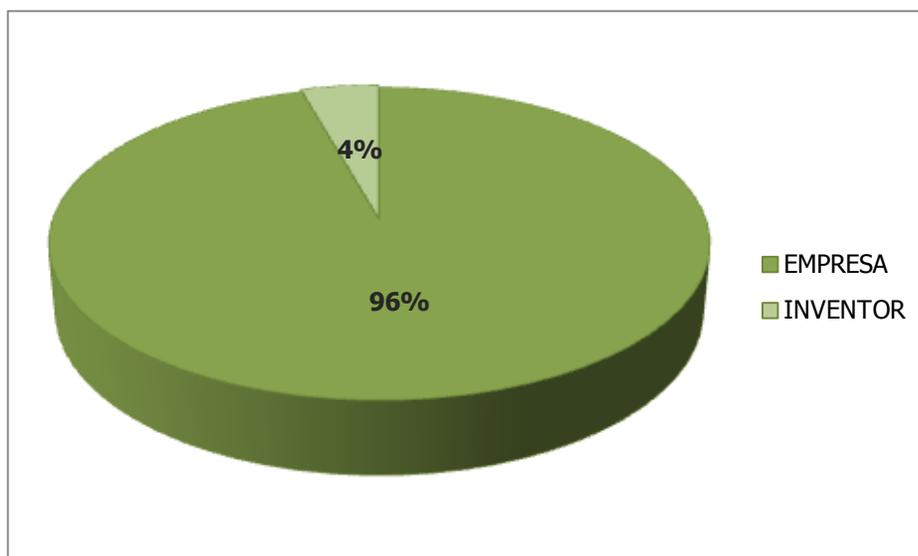


**Fuente:** Elaboración propia con datos de SIGA, 1970-2008.

El resultado evidencia el dominio de las empresas, debido a que en ocasiones solo estas poseen tanto los recursos financieros como la infraestructura que se requiere para producir y hacer pruebas técnicas al prototipo desarrollado por el inventor, además si se trata de alguna mejora al producto, por estrategia es mejor adquirirla y anticiparse al mercado, con el objeto de continuar explotando la tecnología y tener los derechos sobre esta. En la gráfica 12, se puede apreciar que en México, el 60% de los titulares, son empresas y el 40% restante son inventores independientes, en la composición de ese porcentaje, un inventor mexicano tiene participación del 20%, siendo también el titular de la patente llamada "Mejoras a la bomba centrífuga". Los inventores son de origen estadounidense, danés, francés y alemán y las empresas son Corporación AK Steel, Danfoss A/S y Siemens.

En Europa, la composición de empresas titulares es del 96%, caso que es más parecido al de Estados Unidos y el 4% corresponde a inventores de origen Estadounidense, Francés, Italiano, Alemán, Británico, Suizo, Japonés, Israelita, Español, Finlandés, Coreano, Danés, y Países Bajos. La contribución de inventores nacionales es del 58%, destacan los inventores de origen Alemán, entre las empresas nacionales más importantes se encuentran Siemens y Sulzer AG. De no residentes, Corporación Ebara (Japonesa) Pedrollo S.P.A, General Electric (Estadounidense) y Gardner Denver.

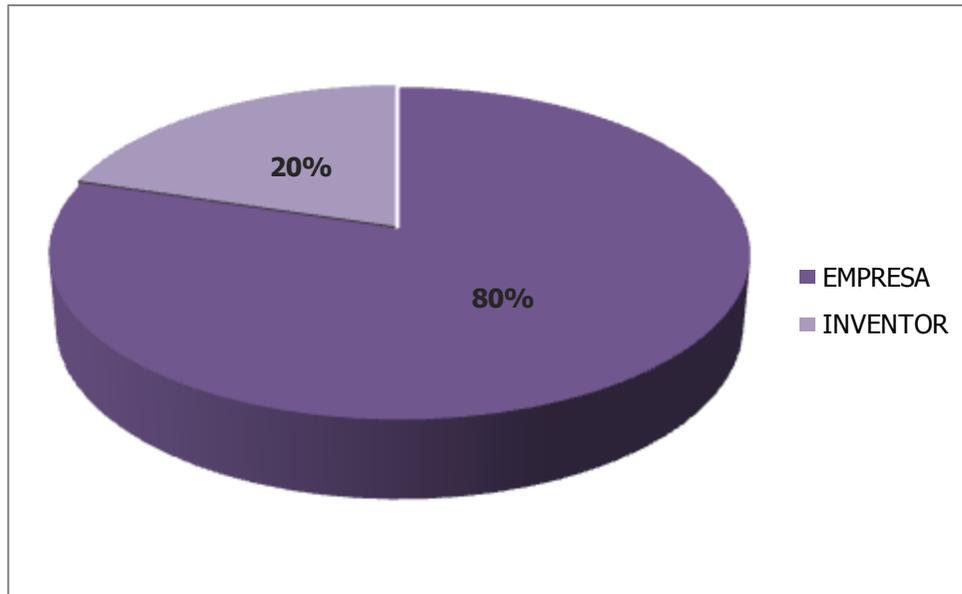
**Gráfica 13.** Porcentaje de patentes por tipo de titular EUROPAT



**Fuente:** Elaboración propia con datos de EUROPAT, 1980-2010.

En el caso de Estados Unidos, el 60% de los titulares también son empresas, y el 40% corresponde a inventores, tanto de nacionalidad estadounidense como de origen ruso, taiwanés, británico, y japonés. En cuanto a la explotación de capital humano nacional, los inventores estadounidenses tienen un porcentaje de participación del 54%, lo que significa que las empresas explotan al máximo su capital humano disponible. Las empresas más importantes son Bomba Worthington, Caterpillar Tractor, Turbo Concepts, y Gardner Denver.

**Gráfica 14.** Porcentaje de patentes por tipo de titular UPSTO



**Fuente:** Elaboración propia con datos de USPTO, 1976-2010.

Una vez expuesto lo anterior y con base en los resultados obtenidos, es evidente que las patentes que ha otorgado la oficina de México a empresas no residentes representa el 80%, cuyo origen es Estados Unidos, Alemania, Francia y Dinamarca, en lo que respecta a las clases estudiadas y relacionadas con aparatos de desplazamiento no positivo o dinámico. México no se caracteriza por ser desarrollador de turbo-maquinaria, normalmente todas las adquisiciones de equipo que hace el SACM para las 24 plantas de tratamiento, son equipos de importación o adquiridas a través de las empresas establecidas en el país; distribuidoras o sucursales de la matriz.

El cálculo del índice de dependencia tecnológica proporciona un resultado que sitúa a México como dependiente tecnológico del extranjero y como difusor magro.

Patentes otorgadas en México a no residentes en las clases F04D1/00, F04D1/06, F04D17/00, F04D17/12 Y F04D17/16 (4)

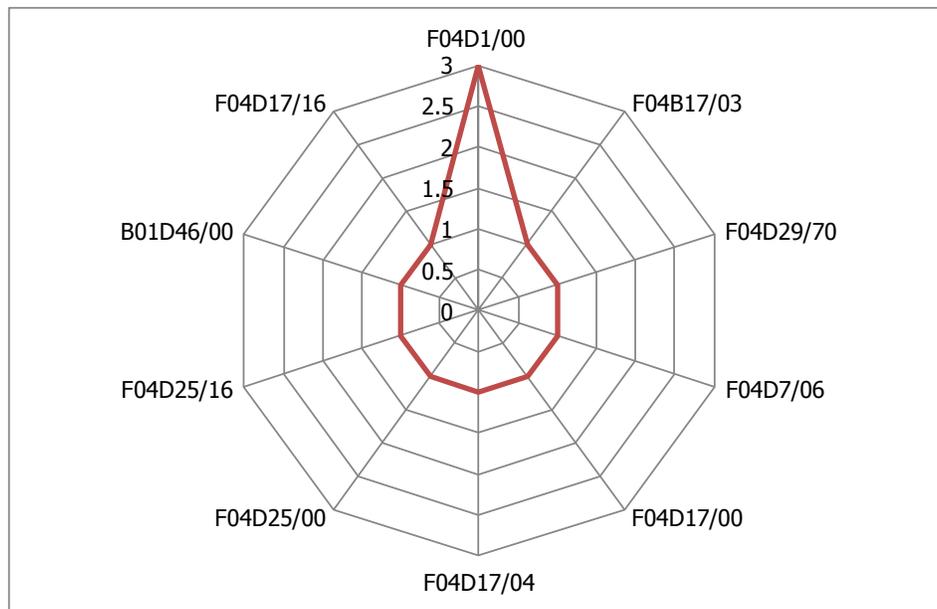
= 4

Total de Patentes otorgadas a residentes en las clases F04D1/00, F04D1/06, F04D17/00, F04D17/12 Y F04D17/16 (1)

Por lo tanto, México depende en una relación de 4 a 1, lo que confirma un magro desempeño nacional en esta tecnología, sin embargo, es importante notar que la tecnología por sí misma representa un bajo número de patentes.

En cuanto a la evolución de la tecnología, es importante señalar que si bien la clase F04D1/\* es la principal área de conocimiento, la distribución en entre los diferentes campos involucrados, medida por la frecuencia en clases relacionadas, nos permite analizar la relación entre la tecnología en estudio y otras tecnologías. Los resultados muestran que este tipo de tecnologías es sumamente especializada, puesto que las clases que se refieren todas corresponden a la clase general F04D1, específicamente la de mayor frecuencia es la F04D1/00 (ver gráfica 15, 16 y 17).

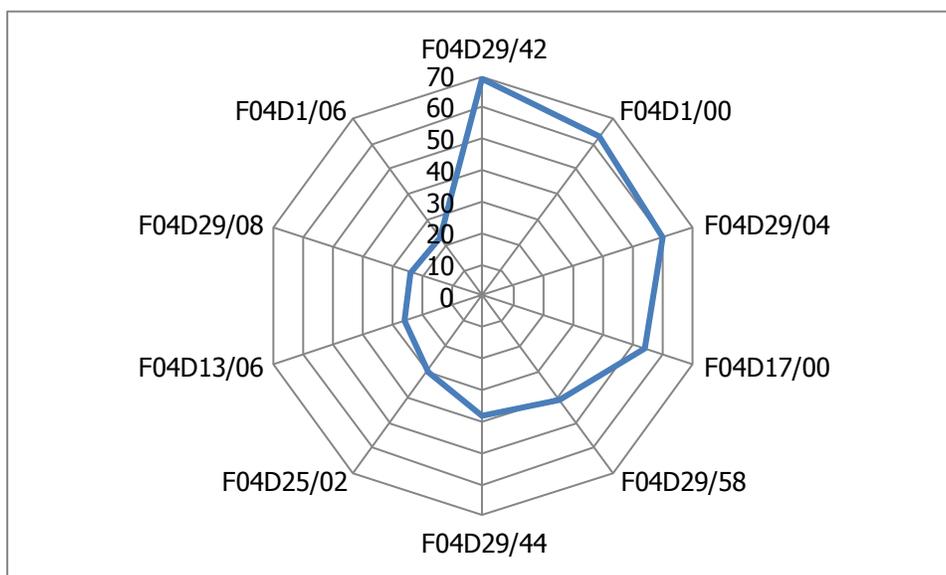
**Gráfica 15.** Campos involucrados en SIGA



**Fuente:** Elaboración propia con datos de la SIGA, 1970-2008.

Como se puede apreciar, las empresas o inventores que patentan en la oficina de México, se han especializado en el campo del conocimiento F04D1/00, que corresponde a bombas de flujo radial, bombas centrífugas; bombas helicentrífugas (adaptadas para bombear líquidos particulares), sin embargo, el resto de los campos son importantes en el desarrollo de ese tipo de tecnología por lo que se puede decir que es una especialización del conocimiento especialización del conocimiento. Gráfica 15.

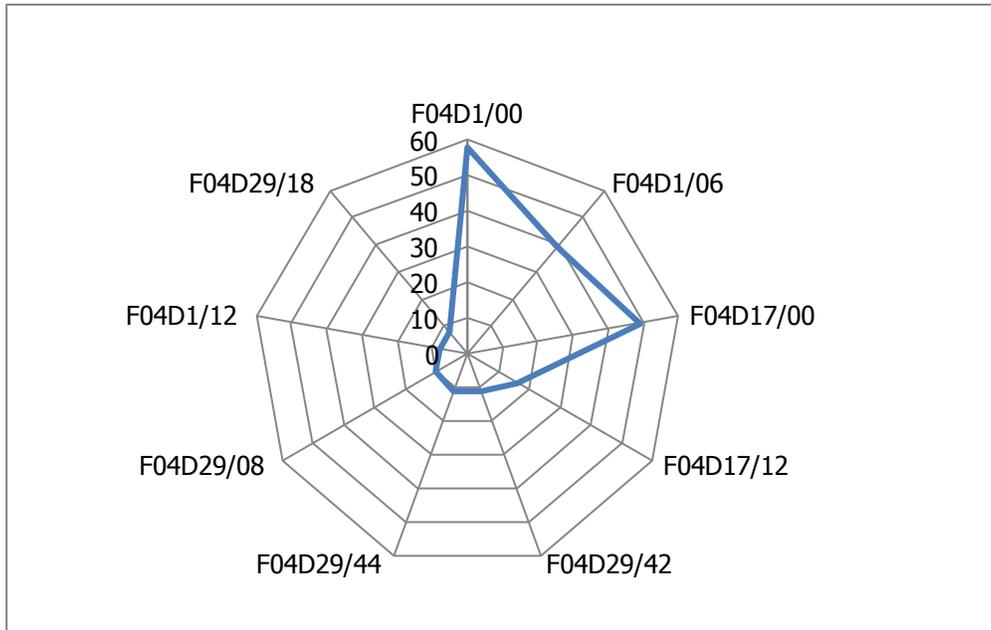
**Gráfica 16.** Campos involucrados en EUROPAT



**Fuente:** Elaboración propia con datos de la EUROPAT, 1980-2010.

En Europa, el campo que más predomina es el F04D29/42, el cual se refiere a los accesorios y complementos de los equipos de compresión de aire, seguido por los campos F04D1/00, F04D29/04 Y F04D17/00 (bombas de flujo radial especialmente adaptadas para fluidos compresibles, bombas centrífugas y bombas helicentrífugas especialmente adaptadas para fluidos compresibles) siendo los campos considerados como más relevantes en las patentes Europeas. Gráfica 16.

**Gráfica 17.** Campos involucrados en la USPTO

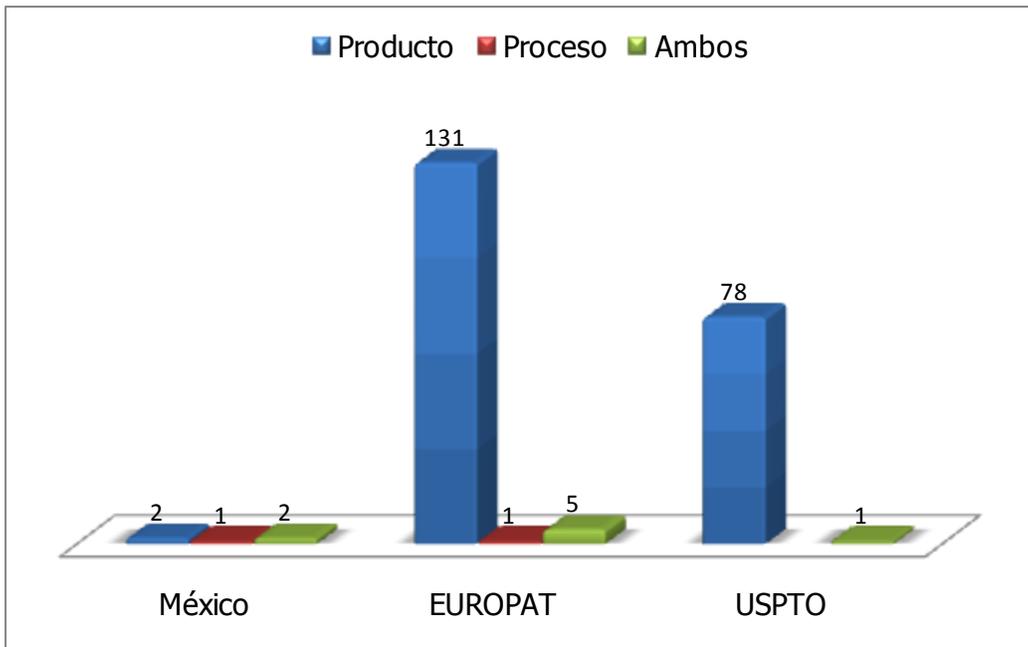


**Fuente:** Elaboración propia con datos de la USPTO, 1976-2010.

Al igual que en México y Europa, en Estados Unidos destaca la especialización en algunos de los campos tecnológicos más frecuentes: F04D1/00, F04D1/06, F04D17/00 y F04D17/12, por lo que se puede afirmar que las patentes otorgadas y las que se encuentran en el proceso de solicitud tienden a inclinarse hacia estos cuatro campos tecnológicos.

Por otro lado, las patentes se pueden dividir en tres categorías: producto, proceso o ambos, la gráfica 18 muestra el tipo de patente por oficina.

**Grafica 18.** Tipo de patente



**Fuente:** Elaboración propia con datos de la SIGA, 1970-2008., EUROPAT, 1980-2010., y USPTO, 1976-2010.

En el caso de la oficina de México, el 40% de las patentes corresponde a producto, 20% a ambas categorías y el 40% restante a proceso, en Europa el 95% de las patentes corresponden a productos, seguido por el 4% que es tanto de producto como de proceso y finalmente, en Estados Unidos, el 99% lo ocupan las invenciones enfocadas a producto y tan solo el 1% a ambos.

Con el objeto de identificar las tecnologías desarrolladas en torno al área de conocimiento previamente mencionada, se realizó un análisis bibliométrico a partir de los títulos de las patentes para Europa y Estados Unidos. Desafortunadamente, para México no fue posible realizar el análisis, debido a que solo son 5 patentes y aunque pertenecen al mismo campo tecnológico, la frecuencia de las palabras de los títulos es muy baja, por lo tanto el software Redes, 2005 no tiene la capacidad de calcular los indicadores de centralidad y densidad.

Los resultados de Europa se muestran en el cuadro 29, en el cual se proporcionan los principales tópicos en patentes publicadas, obtenido a partir de Redes 2005; software con características avanzadas de Sistemas de Conocimiento; basadas en algoritmos, el cual permite llevar a cabo estudios para la construcción y trazo de redes tecno científicas, fundamentadas en las palabras de los títulos de las patentes o incluso coautorías etc. (Universidad de Granada, 2010).

Los principales tópicos de las patentes publicadas en Europa, están orientados a bomba centrífuga multietapas, compresor centrífugo de múltiples etapas, turbocompresor, unidades de funcionamiento de los equipos, así como sus principales compontes y el método de uso o en su caso de fabricación.

**Cuadro 29.** Principales tópicos en patentes en EUROPAT

Patentes dirigidas principalmente a:			
Frecuencia	Dirigida a :	Frecuencia	Dirigida a :
73	Bomba	1	Anti-desgaste
35	Multietapas	1	Componentes
27	Centrífuga	1	Enfriamiento
35	Compresor	1	Equilibrio
16	Centrífugo	1	Estructura
8	Turbocompresor	1	Acoplamiento
8	Unidad	1	Filamento
7	Método	1	Flotante
4	Eléctrica	1	Adaptador
4	Fluido	1	Cartucho
4	Motor	1	Compresores
4	Alta presión	1	Funcionamiento
3	Carcasa	1	Generador
3	Compresión	1	Compensador
3	Dispositivo	1	Control
3	Dos etapas	1	Internos
3	Fabricación	1	Limpieza

3	Flujo	1	Agua
3	Gas	1	Magnético
3	Líquido	1	Controladores
3	Material	1	Maquinaria
3	Radial	1	Aire
3	Sistema	1	Materiales
3	Mejoras	1	Medios radiales
2	Cojinete	1	Montaje
2	Construcción	1	Aumentar
2	Eléctrico	1	Motor turbo
2	Aparato	1	Multicelular
2	Fluidos	1	Agregado
2	Conjunto	1	Ambivalente
2	Turbo maquinaria	1	Palas
1	Modulo	1	Paso
1	Paletas	1	Pistón
1	Pequeño	1	Presión
1	Pleno circunferencial	1	Reflujo
1	Cilíndrica	1	Regenerativa
1	Refrigeración	1	Rotación
1	Rodetes	1	Desmontable
1	Derivación	1	Ruedas
1	Difusor	1	Bombeo
1	Sellado	1	Circulación
1	Silencioso	1	Soplador
1	Sobrecalentamiento	1	Succión axial
1	Sudarios	1	Doble succión
1	Divergentes	1	Supersónico
1	Tanque	1	Transmisión
1	Transferencia	1	Turbo bomba
1	Tratamiento	1	Turbo expansor
1	Alimentación	1	Bloqueo
1	Turbo maquina	1	Unidades
1	Caja	1	Variación
1	Vacío	1	Vertical

1	Velocidades	1	Válvula
1	Ventilador		

**Fuente:** Elaboración con datos de EUROPAT 1980-2010 y Redes, 2005.

Por otra parte, Redes (2005), también proporciona dos indicadores; centralidad y densidad. El indicador de centralidad, revela la cohesión externa que existe entre las palabras. Un tema con alta centralidad se encuentra situado al centro de la red y por consiguiente tiene relación con el resto de los términos. En el periodo de 1980 a 2010, se puede apreciar que los títulos se encuentran centrados en la temática multietapas, la cual está relacionada a bomba centrífuga y suministro de materiales semisólidos, con menor grado método, compresor, construcción e inmersión. Imagen 4.

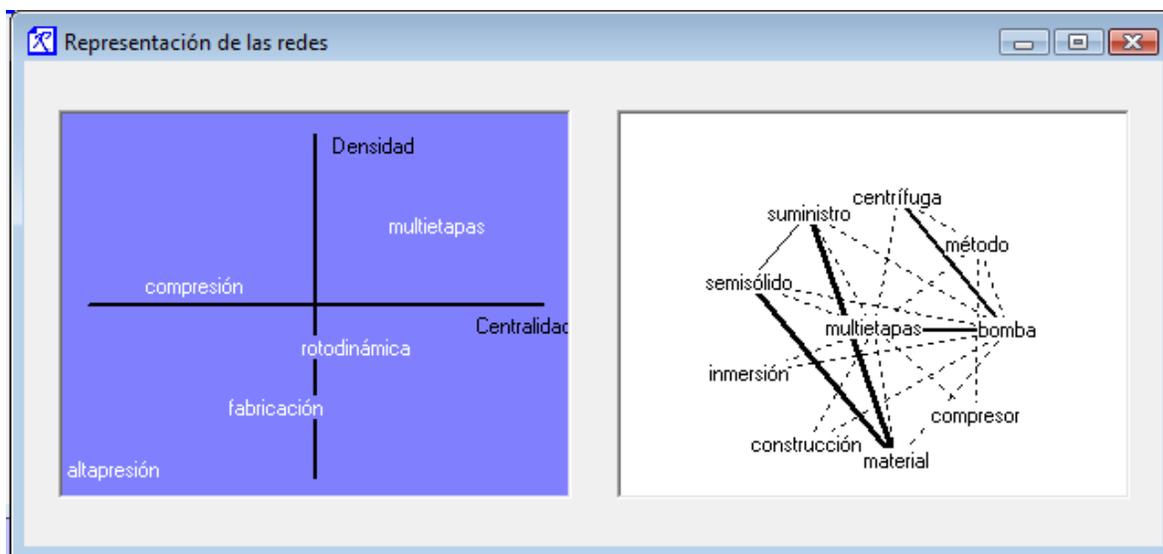
**Cuadro 30.** Construcción de redes EUROPAT

Redes	
Indicador	Interpretación
Red:	Multietapas
Número de nodos	10
Centralidad	21.560
Densidad	37.020
Identificación de nodos	129
Nodos que superan el umbral	41
Nodos descartados	88

**Fuente:** Elaboración con datos de EUROPAT, 2000-2010 y Redes, 2005.

La densidad, es un indicador de cohesión interna, el cual refleja la intensidad de las relaciones internas de un tema y el grado de desarrollo que posee. Cuando el resultado arroja valores altos, se trata de temas sumamente desarrollados y especializados (Universidad de Granada, 2009).

**Imagen 4.** Diagrama estratégico de Red EUROPAT



**Fuente:** Elaboración con datos de EUROPAT, 2000-2010 y Redes, 2005.

Adicionalmente, se puede observar que el diagrama estratégico de la red es de categoría 1, es decir es una red altamente desarrollada y centralizada, en la que el tema motor es multietapas, por lo tanto, los indicadores de centralidad y densidad, demuestran que en Europa, el tema de bombas multietapas está altamente relacionado con un conjunto de temáticas y un alto nivel de especialización y desarrollo.

Realizando el mismo procedimiento para Estados Unidos (USPTO), se observa que en el periodo de 1976 a 2010, las patentes están dirigidas a bomba centrífuga, compresor centrífugo multietapas de alta presión, turbo compresor y

componentes o accesorios que conforman los equipos de desplazamiento no positivo.

**Cuadro 31.** Principales tópicos en patentes en USPTO

Patentes dirigidas principalmente a:			
Frecuencia	Dirigida a :	Frecuencia	Dirigida a :
44	Bomba	2	Bombeo
22	Centrífuga	2	Circunferencial
15	Multietapas	2	Compensador
12	Compresor	2	Empuje
11	Centrífugo	2	Equilibrio
5	Flujo	2	Fluido-multifásico
4	Turbocompresor	2	Impulsor
3	Alta-presión	2	Juntas
3	Difusor	2	Alta-eficiencia
3	Impulsores	2	Motor
3	Montaje	2	Pluralidad
3	Ventilador	2	Sumergible
2	Resistente	2	Turbo-bomba
2	Sistema	1	Compresión
2	tratamiento	1	Accionamientos
2	Rotatoria	1	Conductos
1	Concentración	1	Construcción
1	Conjunto	1	Cruce
1	Conversión	1	Deformación
1	Cuchillas	1	Diferentes
1	Diagonal	1	Dispositivo
1	Aire-motorizado	1	Dispositivo-bombeo
1	Dispositivo-hidráulico	1	Doble-succión
1	Doble-entrada	1	eje
1	Dos-etapas	1	Apoyo
1	ejes	1	Energía
1	Empuje-axial	1	Equipo hidráulico
1	Abrasión	1	Fases
1	Escenario	1	Fluidos

1	Fijación	1	Flujos
1	Aguas residuales	1	Alta velocidad
1	Helicoidales	1	Integral
1	Alta capacidad	1	Bujes
1	Inter ensamblas	1	Lateral
1	Laminar	1	Mecanismo
1	Maquinas	1	Mejora
1	Medios	1	Monolítico
1	Modificación	1	Accionar
1	Canal	1	Múltiples
1	Método	1	Centrífugas
1	Paletas	1	Radial
1	Portátil	1	Reluctancia
1	Recirculación	1	Adaptador
1	Rendimiento		
1	Rueda	1	Rotor
1	Sello	1	Sellado
1	Separación	1	Cilindro
1	Soplador	1	Solución
1	Anillo	1	Supersónico
1	Cojinete	1	Trabajo
1	Tubo pitot	1	Turbina
1	Aire	1	Aparato
1	Aire axial	1	Turbo expansor
1	Unidad	1	Venturi
1	Volumétricos	1	Vertical

**Fuente:** Elaboración con datos de USPTO, 1976-2010 y Redes, 2005.

A diferencia de Europa, en Estados Unidos los títulos de las patentes se centran en la temática de bomba, que a su vez se relaciona con bombeo, compensador y resistencia, con menor intensidad con centrífuga, multietapas y

empuje, con menor relación pluralidad, alta eficiencia, flujo circunferencial y sumergible.

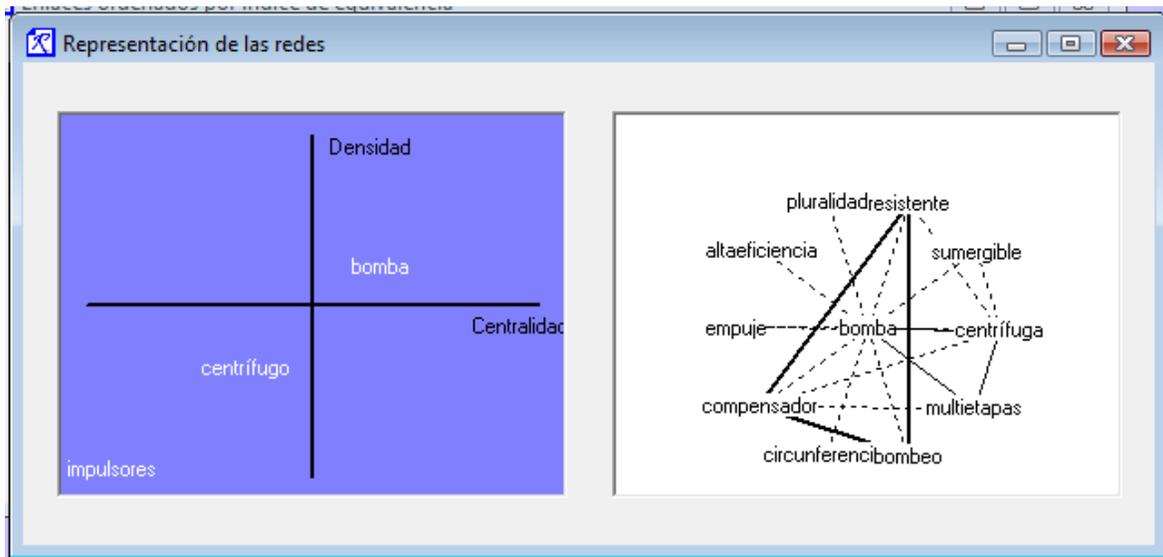
**Cuadro 32.** Construcción de redes USPTO

Redes	
Indicador	Interpretación
Red:	Bomba
Número de nodos	11
Centralidad	23.520
Densidad	18.909
Identificación de nodos	113
Nodos que superan el umbral	28
Nodos descartados	85

**Fuente:** Elaboración con datos de USPTO 1976-2010 y Redes, 2005

Es importante hacer notar que para el caso de Estados Unidos, Redes (2005), genero una red de categoría 1, cuyo tema motor es bomba, pero orientado a otros temas especializados y puente porque no es una temática que se desarrolle de forma aislada, cuestión que corrobora el indicador de centralidad al arrojar un resultado que lo proyecta como un tema bien relacionado, pero poco desarrollado.

**Imagen 5.** Diagrama estratégico de Red USPTO



**Fuente:** Elaboración con datos de USPTO, 1976-2010., y Redes, 2005.

Del análisis anterior, se desprende que el cambio tecnológico lo han marcado los mercados tecnológicos de Estados Unidos y de Europa, es decir, las patentes en ambas bases, coinciden en señalar que los titulares de las tecnologías son de esos países, así como los inventores. Pero, la evolución de la tecnología no es paralela, cada país tiene temáticas diferentes, entonces, la pregunta es ¿Cómo se ha dado la trayectoria tecnológica? ¿Qué cambios tecnológicos han marcado esa trayectoria tecnológica?

#### **4.2.1.2 Cambio Tecnológico: Trayectoria Tecnológica de Equipos Estratégicos**

Como ya se estableció en el primer capítulo, una trayectoria tecnológica refleja la evolución de las tecnologías en el tiempo, así como los cambios discretos que se han originado, en este caso es de particular importancia la trayectoria que han tenido los equipos de desplazamiento no positivo; compresores, turbocompresores, y sopladores. Las bombas centrífugas, también son equipos que se consideran como aparatos de desplazamiento no positivo o dinámico, pero dado que lo que interesa es la etapa de aireación en el proceso de tratamiento de aguas residuales y que los equipos que se encargan de proveer el oxígeno son los turbocompresores, compresores y sopladores centrífugos, se optó por solo considerarlas en el análisis de patentes, pero no para el trazo de la trayectoria tecnológica.

La construcción del cuadro 33, se hizo a partir de los periodos en los que se encontraron los documentos de patentes en cada oficina, mismos que se agruparon por cada cinco años con el objeto de facilitar el análisis y el manejo de la información recopilada concerniente a las innovaciones que fueron presentando las invenciones de producto, proceso o ambos casos.

Como ya se dijo anteriormente, la trayectoria solo se realizó a partir de los equipos más importantes para el proseguir del proceso. Sin embargo, también es relevante hacer énfasis en el resto de la infraestructura y su tiempo de vida. Con el objeto de analizar y verificar si la política hídrica tiene el mismo comportamiento en el resto del inventario, se elaboró el cuadro 34, mismo que contiene la descripción del aparato, tiempo de vida y número de ejemplares instalados y operando. Como se puede observar, los equipos ya han superado su tiempo de vida útil. Es decir, la política hídrica no promovió la sustitución de los equipos y

técnicas existentes, por nuevos o mejorados procesos, equipos o técnicas. En efecto, la política hídrica no generó incentivos al cambio tecnológico.

A continuación, se detalla la evolución de las tecnologías en México y en los países considerados como desarrolladores tecnológicos de compresores, sopladores y demás equipos electromecánicos; Estados Unidos y Alemania.

En Estados Unidos, los cambios discretos que se dieron en los equipos previamente mencionados, están relacionados con mejoras en los componentes, la fabricación de equipos de bajo costo y de eficiencia energética, así como cambios en la estructura para evitar problemas asociados al espacio para su instalación.

En Europa, la evolución o cambios discretos que han experimentado estos equipos, se ha dado principalmente en mejoras a los componentes con la intención de incrementar el rendimiento en la presión como en el caudal, disminución del número de partes en la fabricación, así como el costo de las mismas. Definitivamente, la innovación que revoluciona a la industria fue la aparición de equipos pequeños; minimizando de esta manera los problemas de espacio y de ruido, además la aparición de nuevos aparatos con características mejoradas en torno a la eficiencia, de bajo costo, alto rendimiento y el tiempo de vida, pueden beneficiar la productividad del proceso al reducir los tiempos de tratamiento y el uso de energía eléctrica, puesto que entre el 65% y 80% de la energía que se consume durante todo el proceso se da en la fase de aireación.

La durabilidad y tiempo de vida de un compresor es fundamental si se tiene en cuenta que las plantas de tratamiento trabajan los 365 días del año, las 24 horas del día, por lo cual resulta vital que el SACM opte por la adquisición de equipos que no exigen mantenimiento constante, otros dos criterios que el organismo toma en cuenta en una adquisición, es el precio y en última instancia la calidad de los equipos.

En este sentido, Ricardo Álzate (2010), Ingeniero en ventas de Turblex para Latinoamérica afirmó que los sopladores que esta empresa fabrica son los únicos en el mercado que no requieren de ningún tipo de mantenimiento, de los cuales el SACM adquirió un equipo con estas características en 2008 para la operación de la planta Cerro de la Estrella, el cual sustituyó a otro de marca Roots de aproximadamente 20 años de tiempo de vida por motivos de desgaste en la estructura y la necesidad de incrementar el rendimiento y automatizar el funcionamiento del turbocompresor, a través de un sistema de control sofisticado. Cuadro 33.

En ese mismo año, se adquirió otro equipo; un soplador multietapas de dimensiones reducidas marca Hoffman, en esa ocasión no se sustituyó ningún soplador, su adquisición fue debido a los requerimientos del proceso de aireación y al estado del resto de los aparatos.

En un futuro inmediato, la tendencia en la fabricación de aparatos electromecánicos, es el uso de software de última generación que permite realizar dinámica de fluidos computacional, modelado en 3D, comprensión inmediata de los efectos de los cambios de diseño en toda la maquina, reducción de los tiempos del ciclo de diseño y análisis de elementos finitos (Industrias de Servicios de Houston, 2010).

Ahora bien, el criterio para emplear las patentes como un indicador para medir el cambio tecnológico en esta investigación, radica en el hecho de ser consideradas como un indicador de cambio tecnológico de un país, por lo tanto la comparación de las tecnologías desarrolladas en México con la trayectoria tecnológica de los compresores a nivel mundial, corroboro el rezago o alcance tecnológico del país, pero también brindo un panorama acerca de las tecnologías que se están desarrollando en países como Estados Unidos y Alemania, y las que actualmente se están usando en el Distrito Federal para el tratamiento de aguas

residuales. Cuadro 29, lo cual demuestra que la política hídrica no ha generado los incentivos necesarios para el desarrollo de tecnologías domésticas que el sector hídrico requiere para el tratamiento del 100% de las aguas residuales que se generan a diario en el Distrito Federal, pero además tampoco se ha motivado la adquisición de infraestructura más moderna, tal como se verá en el siguiente apartado (4.3), ello obedece principalmente a tres factores:

- La tendencia de la política hídrica ha sido incrementar la oferta de agua ante una demanda que va en ascenso, a través de diversos programas sectoriales; abordados en el tercer capítulo y emprendidos por las diferentes administraciones que ha tenido el Distrito Federal.
- La importancia que tiene el tratamiento en la asignación de recursos financieros, respecto a otros programas propicia la obsolescencia de las tecnologías inmersas en el proceso y por consiguiente el nivel de productividad de las plantas tiende a disminuir, y
- La falta de incentivos para el desarrollo de tecnologías domésticas acorde con las necesidades del sector, posiciona al país y al Distrito Federal como dependiente tecnológico.

**Cuadro 33.** Trayectoria tecnológica de equipos de desplazamiento no positivo o dinámico

Trayectoria Tecnológica de compresores, sopladores centrífugos, y turbocompresores							
	A 1976-1980	B 1980-1985	C 1985-1990	D 1990-1995	E 1995-2000	F 2000-2005	G 2005-2010
Estados Unidos USPTO	Mejora al diseño un compresor centrífugo para emplearse en cualquier rango de presión y de bajo costo. Los equipos que se patentaron en este periodo, son compresores centrífugos, los cuales operan a través de dos o más impulsores para el manejo de bajas y medias presiones.	Turbocompresores. Durante su fabricación intervienen diversos accesorios mejorados con el objeto de optimizar el proceso de compresión, los materiales de los impulsores, proporcionan mayor eficiencia a la operación.	Mejoras a los componentes de los sopladores o también llamados "blowers" y compresores, con el objeto de minimizar las variaciones en la velocidad axial.	Se introducen nuevos accesorios con el objeto de maximizar el rendimiento de los compresores centrífugos.	Se introducen mejoras a los compresores de flujo radial para el manejo de grandes Volúmenes de gas, además de comenzar a fabricar compresores de bajo costo y de eficiencia energética.  Se realizan mejoras a los compresores de pistón, para minimizar los incidentes durante el proceso de compresión.  Se dan cambios en la composición de los compresores para poder incorporar las etapas que sean necesarias o requeridas, mediante mejoras en el rotor	Se empiezan a dar cambios importantes en la estructura de los equipos al reducir el tamaño y mantener su eficiencia.  Se continúa con las mejoras en los componentes de los equipos.	
Europa EUROPAT		En este periodo se realizaron mejoras a los componentes de los sopladores, con el objeto de hacer mas eficientes las etapas del proceso de compresión, asimismo, se llevo a cabo la incorporación de nuevos aditamentos a los equipos para minimizar el ruido durante la operación.	Surgen aditamentos mejorados y se reducen los accesorios para la cubierta de los equipos, lo cual tiene impacto en las características del flujo.	Se reduce el costo de los accesorios para la fabricación de los compresores centrífugos, así como mejoras en sus componentes	Mejoras en la eficiencia de los compresores centrífugos en el enfriamiento del gas comprimido.	Debido a los problemas aunados al espacio para la fijación de los equipos, se patenta un turbocompresor de pequeñas dimensiones.  Se patenta un dispositivo, el cual tiene por propósito disminuir las vibraciones de un compresor	Surgen los compresores de alta eficiencia, bajo en costo, de larga vida, de alto rendimiento en términos de presión y caudal.  Se prosiguió con las mejoras en los componentes para aumentar en rendimiento ,eficiencia y durabilidad de los compresores centrífugos
México SIGA							Se dan los procedimientos para optimizar la operación de varias unidades de compresión de forma simultánea.
<p>Como muestra la trayectoria tecnológica, la evolución de este tipo de maquinaria ha sido principalmente en el diseño, mejora y disminución de los componentes, con el propósito de reducir los costos de fabricación, la durabilidad y acortar los tiempos de montaje en los talleres. Actualmente, el diseño de los sopladores, compresores y turbocompresores se ha a través de software sofisticado considerado como de última generación que permite realizar dinámica de fluidos, modelado en 3D, y análisis de elementos.</p>							

**Fuente:** Elaboración propia con datos de SIGA, 2007., EUROPAT, 1980-2010., y USPTO, 1976-2004 (Anexo 1).

**Cuadro 34.** Inventario de equipo Cerro de la Estrella

Equipos	Tiempo de vida	Instalado	Operación
2 Bombas sumergibles 15 hp	2008	2	2
40 Arrancadores de 60 hz	2008	60	50
20 Arrancadores de 60 hz	1995		
1 Polipasto 10hp	1990	1	1
2 Dosificadores de cloro de 900kg día		2	2
2 Bombas	2008	2	2
2 Motores 60 hp			
4 Unidades de potencia	1990	4	4
4 Motores horizontales			
2 Compresores	2006	1	1
2 Motores 5hp			
3 Transformadores 1200 kva	1995	7	5
2 Transformadores 1500 kva			
2 Transformadores 1000 kva			
4 Equipos de bombeo	1995	4	
2 Motores 60 hp, 125 hp			Fuera de operación
1 Motor 75 hp			
1 Motor 150 hp			
8 Motores 0.5 hp	2008	8	8
10 Motores 40 hp		10	5
4 Motores		4	4
7 Motores 40 hp		7	4
17 Bombas		17	9
6,500 Difusores piedra	1986	6500	6500
Difusores ceramica	1996		
Difusores membrana	2002		
SALA 1 Sopladores			
3 Sopladores	1990	6	5
1 Soplador	2008		
1 Soplador	2001		
1 Soplador	1986		Fuera de servicio
6 Motores			
SALA 2 Sopladores			
3 Sopladores	1990		
1 Soplador	2008	4	2
2 Motores	2000	4	2
1 Motor	2000		
1 Motor	2008		
1 Motor del ventilador vertical 15 hp	sin dato	1	1
2 Bombas 4p hp horizontal	2008	4	4
2 Bombas 10 hp sumergibles	2008		
14 motores (2) 15 hp y (12) 7.5hp	2008	14	14
8 Motores 0.5hp	2008	8	8
4 Motores 0.5hp	2008	4	4
1 Criba	2008	1	1
1 Motor 5hp	2008		
7 Equipos de bombeo	2004	7	7

**Fuente:** Elaboración propia, con datos proporcionados en investigación de campo, 2010.

### **4.3 Cambio Tecnológico y Política Hídrica: Planta "Cerro de la Estrella"**

El cambio tecnológico en sopladores se modela a través de la trayectoria tecnológica descrita en el cuadro 33 y expresada gráficamente en la gráfica 19, esta muestra en su eje vertical los cambios tecnológicos (cambio discreto en el tiempo que refleja la sustitución de técnicas y equipos por otros mejorados o radicalmente diferentes con mayor eficiencia), en tanto que en su eje horizontal muestra el periodo en el que se integró cada uno de esos cambios en la dinámica de Estados Unidos, Europa, México y la planta tratadora "Cerro de la Estrella". En este mismo cuadro, en el eje horizontal se presenta la evolución de la política hídrica nacional y en el Distrito Federal por periodo, misma que se construyó a partir de lo presentado en el segundo y tercer capítulo. La gráfica 19 presenta el cambio tecnológico versus la política hídrica.

Como se puede observar, las principales mejoras tecnológicas en turbocompresores, compresores y sopladores provienen de las patentes de EUROPAT y la USPTO, México figura con una patente de una empresa alemana; Siemens, la cual hace referencia al proceso para el uso de varias unidades compresoras, pero no es una innovación radical con respecto a los desarrollos tecnológicos ya existentes.

En efecto, la gráfica 19 muestra las tendencias en el desarrollo tecnológico, se puede observar gráficamente que originalmente el desarrollo de esta tecnología estuvo dominado por Estados Unidos (1976 a 1985), sin embargo, las patentes analizadas muestran que los esfuerzos tecnológicos se han concentrado justamente en la mejora de componentes (patentes registradas en esa temática durante 1985 a 2005).

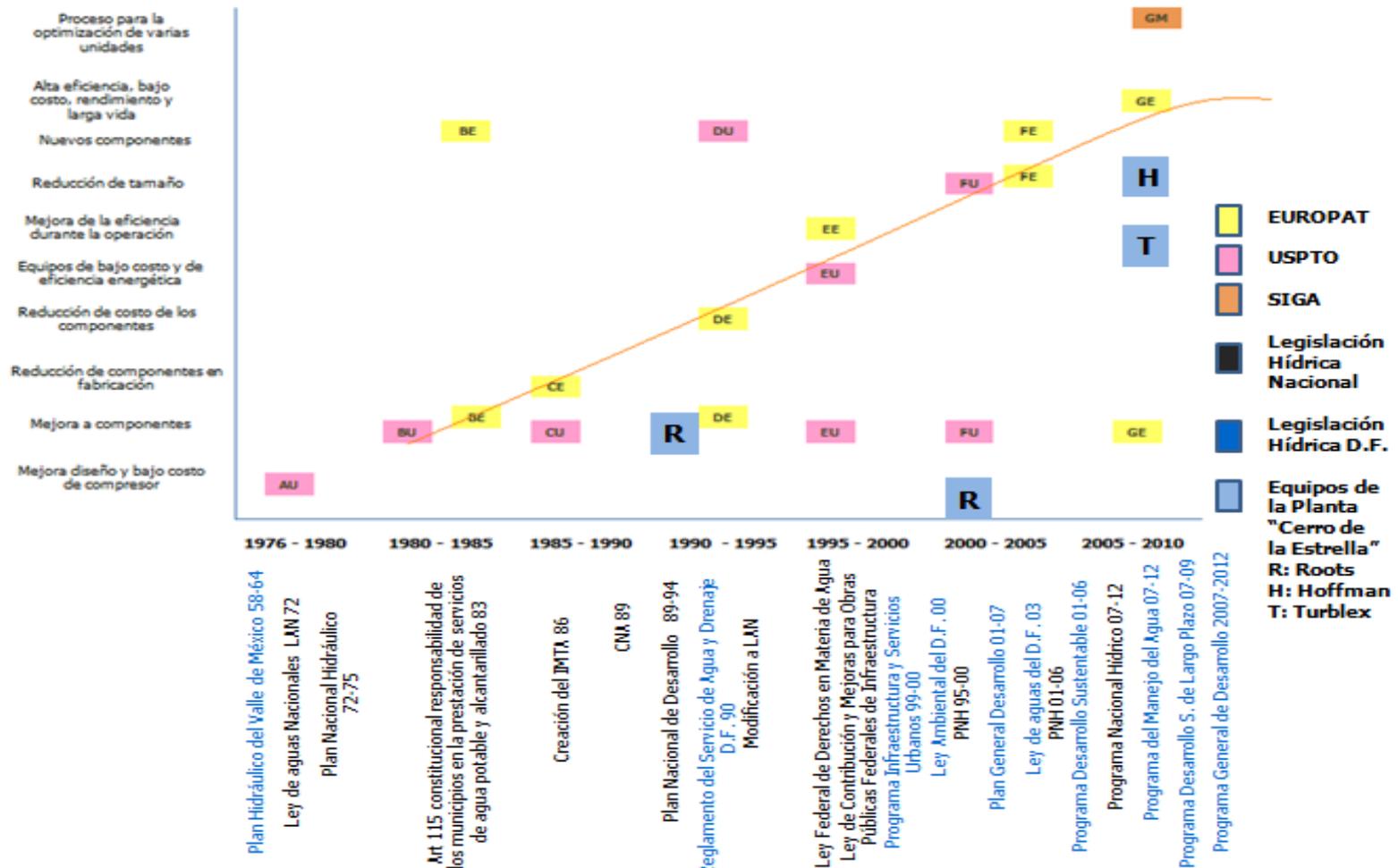
En tanto, que Europa aunque se integra a la carrera tecnológica al final del periodo de 1985, además de mejorar componentes generó nuevos componentes, así mismo, destaca que mientras que a finales de 1985 en Europa ya se trabajaba sobre nuevos componentes, en Estados Unidos se incursionó en estos desarrollos hasta 1990 (5 años después). También, es importante notar que los últimos desarrollos tecnológicos en Estados Unidos se registraron en el periodo de 2000 a 2005 (reducción de tamaño y mejoras), en tanto, que en Europa de 2005 a 2010 aún se tienen desarrollos que incrementan la eficiencia, el rendimiento y el costo respecto a los anteriores (cambio tecnológico).

Así pues, conforme al contenido de patentes, es evidente que en Europa se han registrado mayores cambios tecnológicos que en Estados Unidos. Es decir, el líder en esta trayectoria está en el mercado Europeo. Finalmente, es interesante observar que en el caso de México, éste se integró a estos cambios tecnológicos en el último periodo, con una tecnología ubicada en el último eslabón (procesos de optimización), pero es una sola patente, registrada por una empresa extranjera, SIEMENS.

Tal como se mostró en el apartado 4.2.1 la dependencia tecnológica de México es franca, es decir, a nivel nacional no se ha generado cambio tecnológico (en efecto, el tercer capítulo delata esfuerzos por incrementar la infraestructura, no desarrollo tecnológico de origen nacional). Así pues, si bien es cierto que el tiempo de vida de este tipo de tecnología es amplio, y por lo tanto, la sustitución de los mismos es lenta, esto no justifica la falta de desarrollo tecnológico nacional.

Este rezago nacional se ratifica con el caso de Estudio. En la gráfica 19 se puede observar que los equipos utilizados en la planta "Cerro de la Estrella" (cuadros azules) durante el periodo de 1990 a 1995 refiere a tecnologías que ya se habían desarrollados en Estados Unidos y Europa desde los años ochenta. En tanto, que los equipos del periodo 1995 a 2000, refiere a tecnología ya desarrolladas en Estados Unidos desde 1976. Estos datos muestran un enorme rezago tecnológico. Es hasta finales del periodo de 2005 a 2010 que se da un salto de equipos con componentes mejorados a equipos con mayor eficiencia y reducción de tamaño, pero nuevamente, son tecnologías que ya se tenían en Estados Unidos y Europa desde principios del 2000.

**Gráfica 19.** Cambio Tecnológico y Política Hídrica



**Fuente:** Elaboración propia con datos de SIGA, 2007; EUROPAT, 1980-2010; USPTO, 1976-2004 y diversos documentos oficiales.

En la gráfica 19 además de mostrar la evolución de la tecnología objeto de estudio (trayectoria tecnológica), se muestra a las políticas hídricas nacional y en el Distrito Federal en el eje horizontal. En el primer capítulo se señaló que el supuesto básico de esta tesis es que **la regulación debe generar efectos positivos en el cambio tecnológico y favorecer la innovación en este campo, en este sentido, se espera que esquemas estrictos de política pública impulsen a las empresas a tomar decisiones a favor del cambio tecnológico.** Al observar la gráfica 19, se puede ver un esquema de regulación sumamente amplio, con presencia todo el periodo (1976 a 2010), pero con un efecto nulo en el desarrollo de tecnologías nacionales. Así pues, visualmente, se puede verificar que la política hídrica en este caso no generó efectos positivos en el cambio tecnológico.

Sí se quisiera representar en términos cuantitativos la relación expuesta en el párrafo anterior, se podría proponer una medida de correlación de la siguiente forma: la presencia de políticas públicas de puede representar como una variable dicotómica, en la que 1 refleje que sí se generó política hídrica y 2 su ausencia. Esta variable dicotómica se contrasta contra el número de desarrollos tecnológicos (cambio tecnológico) de origen nacional. Lamentablemente conforme el análisis cualitativo de la gráfica 19, en tanto que en todos los periodos la presencia de regulación pública se tendría un valor de 1, en desarrollos tecnológicos el resultado es 0. Es decir, la respuesta de la variable de cambio tecnológico a los cambios en política hídrica es perfectamente inelástica, el efecto es nulo, no existe correlación entre estas variables.

Es decir, el efecto de la política pública sobre el cambio tecnológico no es inmediato, la discusión teórica en torno al tema no es suficiente para lograr resultados, en este caso específico tiene mucho que ver con el diseño de la política hídrica que desde su origen se ha enfocado a aumentar la productividad y no el desarrollo de tecnologías propias (segundo y tercer capítulo).

Es importante, notar que la gráfica 19 refiere a una tecnología estratégica específica no a toda la infraestructura. A fin de completar este análisis en el cuadro 35 se muestra la evolución en el resto de las tecnologías de la Planta "Cerro de la estrella". De 1980 a 1996, se optó por emplear difusores de cerámica, los cuales sustituyeron a los difusores de piedra con el objeto de hacer más eficiente el proceso de oxigenación, en este mismo periodo se reemplazaron tres sopladores y sus respectivos motores de la sala 1 y tres de la sala 2, los cuales llevan 20 años operando, se cambiaron 7 transformadores, de los cuales solo 5 se encuentran operando, el resto se tiene de reserva para hacer frente a las contingencias que pudieran presentarse, 4 equipos de bombeo con 15 años de servicio, mismos que actualmente se encuentran fuera de operación y 20 arrancadores; solo 10 diez operan a su máxima capacidad.

En el segundo periodo 1997-2007, se reemplazaron 3 motores, 1 soplador y su unidad de funcionamiento, de difusores de cerámica se pasa a difusores de membrana, puesto que la composición de materiales supera a los anteriores, 2 compresores con sus respectivos motores y se incorporaron 7 equipos de bombeo.

Finalmente, el tercer periodo de 2008-2010 se caracterizó por el reemplazo de equipo menor; bombas, motores y arrancadores y el reemplazo de algunos equipos mayores (turbocompresores, compresores y sopladores centrífugos) y de los cuales ya se hizo referencia. Si se tiene en cuenta que los proveedores de este tipo de maquinaria recomiendan realizar el cambio de los equipos en un periodo de 3 a 5 años y que algunos de los equipos presentados en el cuadro 35 tienen más de 20 años operando, entonces se puede confirmar la obsolescencia tecnológica del sector hídrico en el Distrito Federal y por lo tanto baja en la productividad del proceso.

Si se contrasta el estado de la infraestructura hídrica, el avance en la política mexicana en materia hídrica, y las mejoras tecnológicas a nivel

internacional, se puede decir que la política hídrica no ha incidido en el proseguir del desarrollo tecnológico de México en comparación con Estados Unidos y Alemania, lo cual les dota de un mercado seguro para seguir introduciendo mejoras a la industria de las turbomáquinas y mantener su liderato.

**Cuadro 35.** Inventario de la Planta Cerro de la Estrella y Política Hídrica

<b>Periodo</b>	<b>Número de equipos reemplazados</b>	<b>Política Hídrica del D.F.</b>
<b>1976-1986</b>	6,500 difusores piedra	1
<b>1987-1996</b>	6,500 difusores cerámica 4 unidades de potencia 4 motores horizontales 1 polipasto hp 20 arrancadores 60hz Sala 1. 3 sopladores 3 motores Sala 2. 3 sopladores 7 Transformadores	1
<b>1997-2007</b>	3 motores 1 soplador 1 motor 6,500 difusores membrana 7 equipos de bombeo 7 motores 2 compresores 2 motores 5hp	5
<b>2008-2010</b>	2 bombas sumergibles 15hp 40 arrancadores 60hz 2 bombas 2 motores 60hp 8 motores 0.5hp 10 motores 40hp 4 motores 7 motores 40hp 17 bombas 2 sopladores 2 motores 2 bombas 4p hp horizontal 2 bombas 10hp sumergibles 14 motores de 15hp y 7.5hp 8 motores 0.5 hp	3

	4 motores 0.5hp 1 criba 1 motor 5hp	
--	---	--

Fuente: Elaboración propia, con datos proporcionados en investigación de campo, 2010 y varios documentos oficiales.

Es importante decir que se han tenido avances en la reglamentación del Distrito Federal, sin embargo, el impacto de la política hídrica en la infraestructura para el tratamiento de las aguas residuales no es el que la sociedad demanda, si se tiene en cuenta que la disponibilidad y abastecimiento es un problema actual y que requiere ser solucionado a la brevedad posible. Por lo tanto, es prioritario que la política hídrica no sólo se enfoque a la capacidad (productividad) sino al desarrollo tecnológico que promueva el cambio tecnológico de forma endógena al país, esto implica la necesidad de cambio en la trazo de la misma política pública.

El presente trabajo muestra evidencia empírica que sustenta dicha necesidad, no obstante, el análisis de cómo debe diseñarse la política hídrica supera el objetivo de la investigación, por lo que es un problema pendiente para una futura investigación. Asimismo, es importante reconocer los esfuerzos por tener un mejor desarrollo tecnológico, al menos en el tratamiento de las aguas residuales, así como, otras experiencias exitosas de otros países que debieran estudiarse con más detalle.

#### **4.4 Alternativas Tecnológicas para el TDAR**

En lo que se refiere a tecnologías para el tratamiento doméstico de agua residual (TDAR), el IMTA ha desarrollado un prototipo llamado biofiltro+humedal que permite llevar a cabo el tratamiento de aguas residuales en los hogares para un máximo de cuatro habitantes, este sistema está compuesto por un tanque de almacenamiento del agua residual, un biofiltro de material orgánico y un humedal de flujo subsuperficial, que por su tamaño la instalación y ubicación resulta ser sencilla (IMTA, 2008). Esta tecnología se perfila como una opción viable ante el desabasto de agua potable, pero también para el correcto tratamiento y posterior empleo de las aguas residuales, sobre todo en aquellas ciudades con graves problemas de suministro, por ejemplo, el Distrito Federal.

Otra de las innovaciones tecnológicas que se han realizado en el IMTA, es la planta de tratamiento móvil, la cual permite tratar el agua por varios procesos: tratamiento por coagulación química con gradientes tradicionales; remoción de arsénico con gradientes mayores a los utilizados por sistemas convencionales, y remoción de sílice por contacto en lecho de lodos (IMTA, 2008:23). Una de las ventajas de este prototipo, es que se puede mover de un lugar a otro sin mayor problema y que además se puede adaptar en los jardines de los hogares no viéndose afectada por los estragos del clima.

Del biofiltro + humedal, actualmente hay una patente en trámite, por lo cual no fue posible acceder a información más detallada y de carácter confidencial, sin embargo según la Dra. en Ingeniería Hidráulica, Petia Mijaelova; objetivo de la Subcoordinación de Tratamiento de Aguas Residuales del IMTA, este desarrollo tecnológico ya se está implementado en escuelas de Morelos y el parque Bicentenario, el costo del desarrollo depende del caudal que se pretenda tratar. En entrevista, la Dra. Mijaelova comentó que ya se encuentran en negociaciones con una empresa para su posterior transferencia, añadió que ya han tenido

acercamientos con las autoridades del Gobierno del Distrito Federal para mostrarles y ofrecerles las soluciones tecnológicas en materia de tratamiento y reutilización de aguas residuales que se han desarrollado en el IMTA, pero aun la comunicación entre autoridades locales y federales no se encuentra formalizada.

#### **4.4.1 SRAS: Caso de éxito en el TAR de Estados Unidos, California**

En el ámbito internacional, existe un innovador proyecto llamado "Sistema de Reabastecimiento de Aguas Subterráneas" (SRAS), desarrollado y controlado en el condado de Orange, Los Ángeles California, Estados Unidos. Según los pronósticos, la demanda de agua en el centro y norte del condado de Orange se incrementará cerca de un 20% en 2020.

Al igual que para todo el sur de California, el asegurar en un futuro el suministro de agua para todo el condado constituye un reto. Por decenios, el suministro ha provenido de la compra de agua fuera del sur de California, del río Colorado y del proyecto de agua estatal. Sin embargo, los pronósticos muestran que la asignación de agua de estas fuentes disminuirá.

La disminución en el volumen de agua importada, aunado a las sequias recurrentes y al continuo crecimiento de la población, demuestran que la demanda actual de agua terminará por agotar el suministro, a menos que se hallen nuevas fuentes de abastecimiento.

Ante esta situación, surge el proyecto más prometedor para la purificación del agua "El Sistema de Reabastecimiento de Aguas Subterráneas", empezando operaciones en 2007 y atendiendo las necesidades de 144 mil familias; este proyecto, es único en su tipo a nivel mundial por asegurar la autonomía del suministro de agua del condado, al proveer de un abastecimiento permanente y de

calidad, al exceder todos los estándares estatales y federales para el agua potable, al producir agua de una calidad similar o mejor a la del agua embotellada.

El proceso de purificación para aguas residuales previamente tratadas, consta de tres etapas, micro filtración, osmosis a la inversa, y desinfección con luz ultravioleta y peróxido de hidrógeno, empleando la misma tecnología que se utiliza para purificar los alimentos para bebés, jugos de frutas, fármacos y el agua embotellada. La tecnología que se emplea es de Siemens, una de las empresas más importantes a nivel mundial en la creación de tecnologías avanzadas para el tratamiento y recuperación de aguas residuales (Siemens, 2008).

Una vez concluido el proceso, aproximadamente la mitad del agua purificada por el SRAS se inyecta a la barrera contra la intrusión del agua marítima del condado de Orange. La barrera contra el agua marítima es un arrecife de agua subterráneo y de alta presión, conformado por pozos de inyección situados a lo largo de la costa del condado de Orange (Sistema de Reabastecimiento de Aguas Subterráneas, 2003).

El resto del agua es conducida hacia los lagos Anaheim y California, donde el agua se filtra en forma natural a través del suelo, arena y rocas hasta llegar a los acuíferos de la cuenca de agua subterránea.

Este proyecto ha sido financiado con recursos federales, estatales y locales, estimado en US\$487 millones, de los cuales se han asegurado US\$92.5 en fondos procedentes de concesiones, ha sido galardonado con varios premios, el más reciente en el año 2004 por el mejor "Programa de Educación al Público", otorgado por la Asociación Nacional para el Reciclaje del Agua.

Actualmente, es uno de los programas con mayor éxito y una de las alternativas para países con pocas reservas en agua como Singapur, el norte de China, Medio Oriente, incluso el suroeste de Estados Unidos. El reciclaje de agua puede constituir una solución a los problemas de escasez y al desarrollo de los países sin tener que recurrir a procesos altamente costosos como el proceso de desalinización. Naciones Unidas, ve al tratamiento y reúso de las aguas residuales como una necesidad de primer orden, pero que resulta incosteable para los países de la periferia (Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, 2010).

## Conclusiones y Recomendaciones

Esta investigación, es un trabajo interdisciplinario que da la pauta para destacar el nulo desarrollo tecnológico de México en turbo-maquinaria, por lo que da los cimientos para la construcción de políticas públicas que promuevan el cambio tecnológico en sectores que son estratégicos para el desarrollo del país.

Los resultados obtenidos a lo largo del desarrollo de este trabajo de investigación son relevantes para demostrar la importancia de los recursos hídricos para el proseguir de un país y en especial de una de las ciudades más importantes a nivel nacional: el Distrito Federal.

La tendencia de la política hídrica local en los últimos 30 años, ha sido el aumentar los servicios de agua potable y alcantarillado en sectores de la población donde aun no contaban con el servicio, mediante la construcción de obras hidráulicas relacionadas al sistema de drenaje e instalación de tomas de domiciliarias de agua potable. Sin embargo, y ante la disponibilidad del líquido, no se previeron escenarios futuros de escasez por lo que el tratamiento de las aguas residuales fue un asunto que se subsumió en la planeación de los recursos hídricos de la Ciudad.

La descarga de aguas residuales sin previo tratamiento ha dado como resultado la contaminación de las principales fuentes hídricas, comprometiendo aun más el suministro y escasez de agua en delegaciones con mayor población, como Iztapalapa, en la que los problemas de abastecimiento son permanentes durante todo el año.

Aunado a esta problemática, se encuentra el estado de la infraestructura de las plantas de tratamiento de aguas residuales del Distrito Federal, en específico de la planta Cerro de la Estrella, la cual opera por debajo de su capacidad de

diseño, debido a que algunos de los equipos que intervienen en el proceso no han sido reemplazados en más de 20 años, cuando en el mercado de Estados Unidos y Alemania; principales países en la fabricación de compresores, sopladores y turbocompresores ya existen equipos mejorados en el rendimiento y la eficiencia energética, cuestión en la que México figura como dependiente tecnológico, debido a que la política hídrica no ha generado los incentivos suficientes para desarrollar la infraestructura que el sector hídrico requiere.

Otro de los factores que incide es el presupuesto asignado a programas sectoriales, relacionados al desarrollo y construcción de obras hidráulicas, los cuales muestran claramente que las maniobras de mantenimiento son más comunes que la adquisición de nuevos equipos, lo cual demuestra que difícilmente y bajo estas condiciones se podría aumentar el nivel de caudal tratado.

Por lo tanto, se puede concluir que la política hídrica local poco ha contribuido a la adquisición de nuevos equipos para la operación de las plantas de tratamiento, y no ha incentivado el desarrollo tecnológico del sector. Sin embargo es importante decir que a nivel federal ha habido importantes avances en el desarrollo de tecnologías domesticas que permiten el tratamiento del agua residual en los hogares para su posterior reúso en actividades secundarias, lo cual constituye una solución viable ante el deterioro de la infraestructura y la falta de capacidad de las plantas para aumentar el caudal tratado.

Ante tal situación, se recomienda analizar la situación del sector hídrico local para definir cuáles son requerimientos inmediatos, realizar inventarios de forma periódica de la infraestructura que se encuentra operando y su tiempo de vida para identificar de manera oportuna posibles fallas que pudieran perjudicar la continuidad del proceso o disminuir su productividad. Al mismo tiempo, es necesario formular programas para el cambio paulatino de los equipos y fijarse metas concretas para la modernización total de la planta Cerro de la Estrella.

La modernización hídrica constituye una prioridad, pero también un reto para los operarios, adquirir y desarrollar nuevas habilidades no es tarea sencilla, se requiere de tiempo y capacitación continua, la operación no puede estar basada únicamente en el conocimiento tácito, esta requiere de técnicos preparados capaces de enfrentar las fallas que se presenten, pensando en ello el IMTA en conjunto con la UNAM han desarrollado un programa en Ingeniería Hidráulica acorde a las necesidades y con el objeto de formar especialistas en el tema del agua y su tratamiento. La formación del factor humano, es decisivo para el correcto funcionamiento de las plantas, sin duda ello requiere de tiempo y recursos que lo permitan.

El impulso del desarrollo tecnológico local depende de los recursos financieros disponibles, pero también de los esfuerzos que se realicen entorno a ello, por lo que es indispensable la comunicación y vinculación entre las instituciones relacionadas a la política hídrica, así como el fortalecimiento de la misma en el ámbito local y federal; SACM-ICyT y CONAGUA-IMTA, dando como resultado equipos de menor costo, respecto a los que se fabrican en Estados Unidos y Alemania, mayor presencia de inventores y empresas nacionales en el extranjero, y una derrama de beneficios al ámbito social, ambiental y otros sectores inmersos.

Finalmente, es importante trazar nuevos lineamientos de política pública acordes a las necesidades que el sector hídrico local demanda, mismos que coadyuven el desarrollo sustentable de la Ciudad.

## **Futuras líneas de Investigación**

Es evidente que todos los trabajos de investigación tienen su grado de aportación a la grandeza del conocimiento, y a la aclaración de incógnitas sobre el tema tratado pero, de forma simultánea surgen nuevas interrogantes, ideas, contribuciones y/o abre nuevas investigaciones al respecto. En este apartado se presentan algunas de las nuevas líneas de investigación que pueden ser tratadas en un futuro inmediato.

En relación a política pública, puede llevarse a cabo un análisis que incluya no solo a la política hídrica sino también el desempeño de la política tecnológica que puede estar influyendo en el atraso tecnológico de la infraestructura para el tratamiento de las aguas residuales en el Distrito federal.

Otra posible oportunidad de investigación es verificar si el problema de retraso tecnológico en materia de tratamiento de aguas residuales en el D. F. puede tener origen desde el diseño y formulación de la política hídrica.

Realizar un análisis más minucioso acerca del presupuesto asignado y ejercido, pero a nivel de direcciones con el objeto de proyectar la tendencia del gasto público en adquisiciones de nuevas tecnologías para cada planta de tratamiento.

La investigación de campo que se presentó en este trabajo, puede servir de base para futuras entrevistas a cada una de las plantas de tratamiento del Distrito Federal, para adentrarse mas en el tipo y nivel de tratamiento que llevan a cabo, asimismo realizar análisis de comparación de las tecnologías para el tratamiento y purificación de las aguas residuales que emplean las principales ciudades a nivel mundial.

La base de patentes que se construyó puede ampliarse para analizar el comportamiento y el papel que desempeña Japón en el desarrollo de turbomaquinaria para la aireación de las aguas residuales, con respecto a Estados Unidos y Europa.

Y finalmente, puede resultar útil agregar a la base de patentes los equipos de desplazamiento positivo (equipos para el tratamiento de bajo caudal), puesto que son los que se emplean en el resto de las 23 plantas de tratamiento. Ello permitiría corroborar si los países planteados en el análisis de patentes como desarrolladores de tecnologías de desplazamiento no positivo mantienen el liderazgo en sopladores de lóbulos.

## Bibliografía

- Aguilar, L. (2003). *La hechura de las Políticas. Estudio introductorio*, Ed. Miguel Ángel Porrúa, 3a edición, México.
- Amable, B. y R. Barré y R. Boyer (1997). *Les Systèmes d'innovation à l'ère de la globalisation*, Económica, París.
- Ávila, P. (2002). "Escasez y contaminación del agua en la cuenca del lago de Cuitzeo: el caso de Morelia y su entorno rural" en Brigitte Boehm, et al. *Los estudios del agua en la Cuenca Lerma-Chapala-Santiago* pp. 351-386. El Colegio de Michoacán-Universidad de Guadalajara.
- Bardach, E. (2008). *Los ocho pasos para el análisis de Políticas Públicas. Un Manual para la práctica*, Ed. Miguel Ángel Porrúa, 4a edición, México.
- Cardozo, M. (1993). "La Evaluación de la Políticas Públicas: problemas, metodologías, aportes y limitaciones" en: *Administración Pública*, pp. 167. Universidad Autónoma de México. México. Recuperado el 07 de abril 2009 de: <http://www.juridicas.unam.mx/publica/librev/rev/rap/cont/84/pr/pr3.pdf>
- Cifuentes, E. y Sandra, R. (2005). "Urban Sprawl, Water Insecurity, and Enteric Diseases in Children from Mexico City" en: *EcoHealth*, vol.2 num. 1, pp.70-75.
- Cifuentes, E., Magali, H. y Luis, J. (2000). "Health Impact From a Water and Land Reclamation System Xochimilco, Mexico" en: *Epidemiology*, vol. 11 num. 4, pp.118.
- Cimoli, M. (2000), *Developing Innovation Systems. Mexico in a Global Context*, Londres, Continuum.

Cirelli, C. (2000). "Aguas negras, agricultura periurbana y organización de regantes", en: Viqueira J. y Tomas Martínez Saldaña (coordinadores), *Antología sobre pequeño riego. Organizaciones autogestivas*. Ed. Plaza y Valdés y Colegio de Posgraduados, México.

Corona, L. (1999). *Teorías económicas de la tecnología*, Jus, México.

Cuenta Pública (1999). *Resultado Programático-Presupuestal del Gobierno del Distrito Federal (Avance de Programas). Una Infraestructura y Servicios Urbanos de Calidad*. Recuperado el 20 de junio de 2010 de: <http://www.finanzas.df.gob.mx/egresos/cp1999/h44.pdf>.

Cuenta Pública (2000). *Orientación del Gasto conforme a los Objetivos del Programa General de Desarrollo del Distrito Federal. Una Infraestructura y Servicios Urbanos de Calidad*. Recuperado el 20 de junio de 2010 de: <http://www.finanzas.df.gob.mx/egresos/cp2000/cap3.pdf>

Cuenta Pública (2000). *Resultado Programático-Presupuestal del Gobierno del Distrito Federal (Avance de Programas). Una Infraestructura y Servicios Urbanos de Calidad*. Recuperado el 20 de junio de 2010 de: <http://www.finanzas.df.gob.mx/egresos/cp2000/cap3.pdf>.

Cuenta Pública (2001). *Orientación del Gasto conforme a los Objetivos del Programa General de Desarrollo del Distrito Federal. Desarrollo Sustentable*. Recuperado el 20 de junio de 2010 de: <http://www.finanzas.df.gob.mx/egresos/cp2001/iii.pdf>

Cuenta Pública (2001). *Resultado Programático-Presupuestal del Gobierno del Distrito Federal (Avance de Programas). Desarrollo Sustentable*. Recuperado el 20 de junio de 2010 de:  
<http://www.finanzas.df.gob.mx/egresos/cp2001/iv.pdf>

Cuenta Pública (2002). *Orientación del Gasto conforme a los Objetivos del Programa General de Desarrollo del Distrito Federal. Desarrollo Sustentable*. Recuperado el 20 de junio de 2010 de:  
<http://www.finanzas.df.gob.mx/egresos/cp2002/iii.pdf>.

Cuenta Pública (2002). *Resultado Programático-Presupuestal del Gobierno del Distrito Federal (Avance de Programas). Desarrollo Sustentable*. Recuperado el 20 de junio de 2010 de:  
<http://www.finanzas.df.gob.mx/egresos/cp2002/iv.pdf>

Cuenta Pública (2003). *Orientación del Gasto conforme a los Objetivos del Programa General de Desarrollo del Distrito Federal. Desarrollo Sustentable*. Recuperado el 20 de junio de 2010 de:  
<http://www.finanzas.df.gob.mx/egresos/cp2003/rg31.pdf>.

Cuenta Pública (2003). *Resultado Programático-Presupuestal del Gobierno del Distrito Federal (Avance de Programas). Desarrollo Sustentable*. Recuperado el 20 de junio de 2010 de:  
<http://www.finanzas.df.gob.mx/egresos/cp2003/rg74.pdf>

Cuenta Pública (2004). *Orientación del Gasto conforme a los Objetivos del Programa General de Desarrollo del Distrito Federal. Desarrollo Sustentable*. Recuperado el 20 de junio de 2010 de:  
<http://www.finanzas.df.gob.mx/egresos/cp2004/rg5.pdf>

Cuenta Pública (2004). *Resultado Programático-Presupuestal del Gobierno del Distrito Federal (Avance de Programas). Desarrollo Sustentable*. Recuperado el 20 de junio de 2010 de:

<http://www.finanzas.df.gob.mx/egresos/cp2004/d.pdf>.

Cuenta Pública (2005). *Orientación del Gasto conforme a los Objetivos del Programa General de Desarrollo del Distrito Federal. Desarrollo Sustentable*. Recuperado el 20 de junio de 2010.

<http://www.finanzas.df.gob.mx/egresos/cp2005/rg/r4.pdf>

Cuenta Pública (2005). *Resultado Programático-Presupuestal del Gobierno del Distrito Federal (Avance de Programas). Desarrollo Sustentable*. Recuperado el 20 de junio de 2010 de:

<http://www.finanzas.df.gob.mx/egresos/cp2005/bi/d4.pdf>.

Cuenta Pública (2006). *Orientación del Gasto conforme a los Objetivos del Programa General de Desarrollo del Distrito Federal. Desarrollo Sustentable*. Recuperado el 20 de junio de 2010 de:

<http://www.finanzas.df.gob.mx/egresos/cp2006/rg/r4.pdf>.

Cuenta Pública (2006). *Resultado Programático-Presupuestal del Gobierno del Distrito Federal (Avance de Programas). Desarrollo Sustentable*. Recuperado el 20 de junio de 2010 de:

<http://www.finanzas.df.gob.mx/egresos/cp2006/bi/d4.pdf>

Cuenta Pública (2007). *Resultado Programático-Presupuestal del Gobierno del Distrito Federal (Avance de Programas). Desarrollo Sustentable y de Largo Plazo*. Recuperado el 20 de junio de 2010 de:

<http://www.finanzas.df.gob.mx/egresos/cp2007/pdf/a32.pdf>.

Cuenta Pública (2008). *Resultado Programático-Presupuestal del Gobierno del Distrito Federal (Avance de Programas). Desarrollo Sustentable y de Largo Plazo*. Recuperado el 20 de junio de 2010 de:

<http://www.finanzas.df.gob.mx/egresos/cp2008/pdf/a32.pdf>.

Cuenta Pública (2009). *Resultado Programático-Presupuestal del Gobierno del Distrito Federal (Avance de Programas). Desarrollo Sustentable y de Largo Plazo*. Recuperado el 20 de junio de 2010 de:

<http://www.finanzas.df.gob.mx/egresos/cp2009/pdf/a30.pdf>

Domínguez, L. (2006). *México empresa e innovación ambiental*, Ed. Porrúa, México.

Escolano, C. (2000). "La Política Monetaria", en: Sevilla, Martín (coordinador), *Política Económica. Políticas instrumentales y sectoriales*. pp. 19. Ed. Universidad de Alicante. San Vicente del Raspeig.

*EUROPAT* (2010), [base patentes]. Europa. Recuperado el 23 de octubre de 2010 de: [http://ep.espacenet.com/advancedSearch?locale=en\\_EP](http://ep.espacenet.com/advancedSearch?locale=en_EP)

Fonfría, A. (2002). "Análisis de las políticas públicas de fomento de la nueva innovación tecnológica en las regiones españolas", pp.1-39. Instituto de Estudios Fiscales. Madrid.

Golf, E. (2000). "La Política Comercial Exterior", en: Sevilla, Martín (coordinador), *Política Económica. Políticas instrumentales y sectoriales*, pp. 59. Ed. Universidad de Alicante. San Vicente del Raspeig.

Gomulka, S. (1990). *The theory of technological change and economic growth*, Routledge, Nueva York.

Guerrero, O. (1993). "Políticas Públicas: Interrogantes" en: *Administración Pública*, pp. 83. Universidad Autónoma de México. México. Recuperado el 07 de abril 2009 de:

Hernán, T. y Carlos, G. (2006). "Learning trajectories and dynamics of resolution of problems in Latin American institutions of generation and transfer of scientific and technological knowledge. Analysis of an experience of development of a technological pole (PTC-Argentina) en: *Espacios*, vol. 27, pp.2. Recuperado el 01 de mayo de:

<http://www.revistaespacios.com/a06v27n02/06270202.html>

<http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/residuales/Tipos%20de%20Tratamiento.htm>

IMTA (2010). Subcoordinación de Tratamiento de Aguas Residuales. Recuperado el 29 de octubre 2010 de:

[http://www.imta.gob.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=96&Itemid=162](http://www.imta.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=96&Itemid=162)

IMTA y SEMARNAT (2008), *Informe Anual. Conocimiento y Tecnología para la Gestión Sustentable del Agua*. Recuperado el 10 de dic. 2009 de:

[http://www.imta.gob.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=391&option=com\\_content&Itemid=105](http://www.imta.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=391&option=com_content&Itemid=105)

Industrias de Servicios de Houston (2010). *Ingeniería y Tecnología*. Recuperado del 06 de noviembre 2010 de: <http://www.hsiblowers.com/>

INEGI (2002). *Estadísticas del Medio Ambiente del Distrito Federal y Zona Metropolitana 2002*. Recuperado el 15 de diciembre de 2009 de: [http://www.sma.df.gob.mx/sma/links/download/archivos/estadisticas\\_medio\\_ambiente\\_2002.zip](http://www.sma.df.gob.mx/sma/links/download/archivos/estadisticas_medio_ambiente_2002.zip)

INEGI (2005). *Sistema de Cuentas Económicas y Ecológicas de México 1998-2003*, México.

Jaffe, A. y Karen, P. (1997), "Environmental Regulation and Innovation: A Panel Data Study," *Review of Economics and Statistics*, 79(4), 610-19.

Kauffer, E. (s.f.). *Las Políticas Públicas y los Compromisos de la Investigación. Las políticas públicas: algunos apuntes generales*, [en línea]. Recuperado el 07 de abril 2009, de: <http://www.ecosur.mx/ecofronteras/ecofrontera/ecofront16/pdf/politicaspUBLICAS.pdf>

Lanjouw, J. y Ashoka, M. (1996), "Innovation and the International Diffusion of Environmentally Responsive Technology," *Research Policy*, 25, 549-571.

Ley de Adquisiciones del Distrito Federal (1998). *Gaceta oficial del D.F.* [en línea]. Recuperado el 29 agosto de 2010 de: [http://www.comisa.df.gob.mx/transparencia/fraccion\\_i/LeyAdquisicionesDF.pdf](http://www.comisa.df.gob.mx/transparencia/fraccion_i/LeyAdquisicionesDF.pdf)

Ley de Aguas del Distrito Federal (2003). *Gaceta Oficial del D.F.* [en línea]. Recuperado el 15 de dic. 2009 de: <http://cgservicios.df.gob.mx/prontuario/vigente/d1224.pdf>

Ley de Aguas Nacionales (2008). *Diario Oficial de la Federación (DOF) México* [en línea]. Recuperado el 22 de marzo 2009, de: <http://www.cddhcu.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/16.pdf>

Martínez, M. (2006). "Políticas y gestión del agua urbana en México. Tendencias y alcances en la segunda mitad del siglo XX" en: David Barking (coordinador). *La gestión del agua urbana en México*. Universidad de Guadalajara.

Méndez, L., Mariela, C. y Nancy, C., et al (2004). "Tratamiento de aguas residuales mediante lodos activados a escala de laboratorio" en *Revista del Instituto de Investigación FIGMMG* No. 14 vol. 7. Recuperado de 27 de agosto de 2010 de: <http://www.scielo.org.pe/pdf/iigeo/v7n14/a10v7n14.pdf>

Morales, J. y Lilia, R (2009). "Política Hídrica en la Zona Metropolitana del valle de México y los riesgos para suministrar agua al uso domestico e industrial" en: Montero, Delia (coordinadora). *Innovación tecnológica, cultura y gestión del agua. Nuevos retos del agua en el valle de México*. 1ra. Ed. Miguel Ángel Porrúa.

Niosi, et. al (1993), National System of Innovation in search of workable concept, *Technology in Society*.

Norma Oficial Mexicana NOM-002-ECOL-1996 (03 de junio, 1998). *Diario Oficial de la Federación (DOF) México* [en línea]. Recuperado el 10 diciembre 2009 de: <http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/normas/Normas%20Oficiales%20Mexicanas%20vigentes/NOM-ECOL-002.pdf>

Norma Oficial Mexicana NOM-003-CONAGUA-1996 (12 de junio, 1996). *Diario Oficial de la Federación (DOF) México* [en línea]. Recuperado el 12 de noviembre de:

<http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/normas/Normas%20Oficiales%20Mexicanas%20vigentes/NOM-003-CNA.pdf>

Norma Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997 (21 de septiembre). *Diario Oficial de la Federación (DOF) México* [en línea]. Recuperado el 12 de noviembre de:

<http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/normas/Normas%20Oficiales%20Mexicanas%20vigentes/NOM-ECOL-003.pdf>

OCDE (2006). *Políticas Públicas para un Mejor Desempeño Económico. Experiencias del mundo para el desarrollo, México 10 años en la OCDE.*

Recuperado el 10 de dic 2009 de:

<http://www.oecd.org/dataoecd/32/31/36577222.pdf>

Oltra, Vanessa, Kmep, Rene y Frans P. de Vries (2009). "Patents as a Measure for Eco-Innovation" en: *Cahiers du GREThA*, No 5, pp. 5-22. Université Montesquieu Bordeaux IV. Francia.

Pacheco (2004). "Arreglos institucionales en la Cuenca Lerma-Chapala: Una visión desde la política ambiental", en *Memorias del III Encuentro de Investigadores de la Cuenca de Lerma-Chapala-Santiago*. Colegio de Michoacán - Universidad de Guadalajara.

Pacheco, R. (2005). "Institutional Analisis Within the Lerma-Chapala Region: New Challenges for Watershed Management. Ponencia presentada" en *Institutional Analisis for Environmental Decision – Making. A Workshop*, Fort Collins, Estados Unidos.

Pacheco, R. (2007). "Participación de la Comisión Nacional del Agua en el tratamiento de aguas residuales en la Cuenca Lerma-Chápala. Estadísticas federales y realidades estatales", en *Región y Sociedad* No 39, vol. XIX, mayo-agosto, pp. 55-76, El Colegio de Sonora. Recuperado 15 de julio 2009 de: <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/102/10203903.pdf>

Peña, J. (2003). "Cambio tecnológico y sistemas nacionales de innovación: elementos para la teoría y la política del desarrollo socio-económico" en: *Argos* No 38, julio de 2003, pp. 41-74, Universidad Simón Bolívar. Recuperado el 13 de julio 2009 de: <http://www.argos.dsm.usb.ve/archivo/38/2.pdf>

Peña, F. (2000). "La construcción social de los usos y calidad del agua" en: *Vetas* No 5, agosto, pp.19-38. El Colegio de San Luis.

Perez, C. (2001). "Technological change and opportunities for development as a moving target" en: *Revista de la CEPAL* No. 75, pp 113-114. Recuperado el 08 de junio 2010 de: [http://www.eclac.org/publicaciones/xml/5/20135/lcg2150i\\_Perez.pdf](http://www.eclac.org/publicaciones/xml/5/20135/lcg2150i_Perez.pdf)

Popp, D. (2001). "The effect of new technology on energy consumption". *Resource and Energy Economics* 23(3), 215-239.

Porter, M. y Van Der Linde, C. (1995). "Towards a new conception of environment-competitiveness relationship", *Journal of Economic Perspectives*, 9

Programa General de Desarrollo 2001 -2006. *Gaceta Oficial del D.F. (2001)*. México, D.F. Recuperado el 10 de jun. 2010 de: [http://www.sideso.df.gob.mx/documentos/programa\\_desarrollo\\_2000-2006.pdf](http://www.sideso.df.gob.mx/documentos/programa_desarrollo_2000-2006.pdf)

Ramírez, J., Leopoldo, A. y Guillermo, M. (2005). *Economía del agua en Baja California: reúso de aguas residuales tratadas bajo mecanismos de mercado*, Ed. Universidad Autónoma de Baja California. 1ra. Edición. México. Recuperado el 27 de abril de 2010 de: <http://books.google.com.mx/books>

Ramos, G. y Beatriz, G. (2005). "Tendencias en el desarrollo de nuevas tecnologías para el tratamiento de aguas, residuos y lodos" en: *CENIC Ciencias Biológicas* No. Especial, vol. 36, 2005, pp. 1-2, Departamento de Organización de la Actividad Científica. Centro Nacional de Investigaciones Científicas. Cuba.

Reynolds, K. (2002). "Tratamiento de aguas residuales en América Latina. Identificación del problema" en: *Agua Latinoamericana* No 5, vol. 2, septiembre-octubre de 2002, pp. 1-4, De la llave. Recuperado el 09 de febrero 2009 de: <http://www.agualatinoamerica.com/docs/pdf/DeLaLaveSepOct02.pdf>

Rosso, D., Lory, E. y Michael K. (2008). "Aeration of large-scale municipal wastewater treatment plants: state of the art" en: *Water Science and Technology* No. 7, vol. 57, abril, p973-978, Departamento de Ingeniería de Medio Ambiente y Civil. Universidad de California.

Sagasti, F. (1981), Una aproximación a la investigación sobre política científica y tecnológica" *Ciencia y Tecnología y Desarrollo Latinoamericano, ensayos de F. Sagasti*, México, FCE.

Secretaría de Obras y Servicios (1986). *Manual de operación planta para tratamiento de aguas residuales cerro de la estrella*. México, D.F.

SEMARNAT (2007). *1er informe de labores. Investigación científica y tecnológica ambiental con compromiso social México*. México. Recuperado el 15 de julio 2007 de:

<http://www.semarnat.gob.mx/queessemarnat/Documents/primer%20informe/09.pdf>

SEMARNAT (2008). *Programa Nacional Hídrico 2007-2012*. México.

Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey SADM (2010). *Aguas residuales listas para beber*. Recuperado el 01 de septiembre de 2010 de:

<http://www.sadm.gob.mx/sadm/jsp/articulo.jsp?id=165>

SIEMENS (2008). *¿Cómo será el mundo en el futuro? Memoria de ejercicios. Informe anual*. Recuperado el 01 de agosto de 2010 de:

[http://www.siemens.com/annual/08/pool/downloads/pdf/french\\_spain/pdfs08\\_00\\_gb\\_2008.pdf](http://www.siemens.com/annual/08/pool/downloads/pdf/french_spain/pdfs08_00_gb_2008.pdf)

SIGA (2010), [base de patentes]. Recuperado el 22 de octubre de 2010 de:

[http://siga.impi.gob.mx/wb/SIGA/SIGA\\_busqueda\\_simple](http://siga.impi.gob.mx/wb/SIGA/SIGA_busqueda_simple)

Sistema de Reabastecimiento de aguas Subterráneas (2003). *Datos sobre el SRAS*.

Recuperado el 15 de agosto de 2010 de:

[http://www.gwrsystem.com/espanol/facts\\_esp.html](http://www.gwrsystem.com/espanol/facts_esp.html)

SMA (2007). *Programa de Manejo Sustentable del Agua para la Ciudad de México*.

Recuperado el 15 de dic 2009 de:

[http://www.sma.df.gob.mx/transparencia/I/progagua\\_ciudad\\_mexico.pdf](http://www.sma.df.gob.mx/transparencia/I/progagua_ciudad_mexico.pdf)

SMA y SACM (2010). *Adquisición de equipos, tecnologías e infraestructura de las 24 plantas de tratamiento de aguas residuales del SACM*. México, D.F.

- Solleiro, J. y R. C. (2009), *Políticas Públicas que sustentan los Sistemas Regionales de Innovación: aportes para la discusión*, en Villavicencio, D y P. López "Sistemas de Innovación en México: Regiones, Redes y Sectores", México, PyV.
- Tolosa, M. (2000). "La Política de Empleo", en: Sevilla, Martín (coordinador), *Política Económica. Políticas instrumentales y sectoriales*. pp. 167. Ed. Universidad de Alicante. San Vicente del Raspeig.
- Tortajada, C. (2002). "Abastecimiento de agua y manejo de descargas residuales en México: Un análisis de las políticas ambientales", en *Agua, cultura y sociedad en México*. Colegio de Michoacán – IMTA.
- Universidad de Granada (2010). Programa Redes 2005. Recuperado el 14 de noviembre de 2010 de: <http://www.ugr.es/~bailonm/redes/ayuda/>
- USPTO (2010), [base patentes]. Estados Unidos. Recuperado el 20 de octubre de 2010 de: <http://patft.uspto.gov/netahtml/PTO/search-adv.htm>
- Valencia, J., Juan, D. y Héctor J. (2004). "La gestión integrada de los recursos hídricos en México: Nuevo paradigma en el manejo del agua" en: Cotler, Helena (compilador). *El manejo integral de cuencas en México. Estudios y reflexiones para orientar la política ambiental*. 1ra. Ed. INE-SEMARNAT. Recuperado el 15 de dic. 2009 de: <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/528/gestion.pdf>
- W. Richard (1998). *Compresores. Selección, Uso y Mantenimiento*, Ed. Mc Graw Hill, 1a edición, México.

## Anexo I. Trayectoria de los equipos de desplazamiento no positivo

<b>Trayectoria Tecnológica de los equipos de desplazamiento no positivo, considerados como estratégicos en el proceso de tratamiento de la Planta Cerro de la Estrella del Distrito Federal</b>						
<b>USPTO</b>						
1976	1978	1980	1981	1983	1984	1985
<p><b>Compresor centrífugo de múltiples etapas</b></p> <p>En este año, se patentó una máquina con dos o más impulsores, montados sobre un mismo eje y alojados en una misma carcasa, diseñado para el manejo de bajas y medias presiones, tal y como se requiere en el tratamiento de aguas residuales</p>	<p><b>Compresor centrífugo de múltiples etapas</b></p> <p>Se refiere a un compresor de paletas axiales simple que tiene por lo menos dos etapas, de las cuales, la primera es una etapa centrípeta y la última es centrífuga, montada sobre un mismo eje</p>	<p><b>Turbocompresor con impulsores diagonales de flujo</b></p> <p>Es un equipo multietapas con una pluralidad de turbinas o ruedas en el ventilador, montado en un eje rotatorio, con el objeto de comprimir un fluido gaseoso como el aire</p> <p><b>Turbocompresor con los ejes múltiples</b></p> <p>Compresor de varias etapas donde los impulsores de una pluralidad de compresores rotativos se montan cada uno sobre la pluralidad de ejes de rotación, la fuerza que posee el material de los impulsores se emplea con eficiencia</p>	<p><b>Montaje de conductos de cruce</b></p> <p>La invención se refiere a un conducto de cruce neumático para proporcionar flujo de comunicación eficiente entre las etapas adyacentes de un compresor de múltiples etapas</p>	<p><b>Impulsor de montaje de un mecanismo de un soplador</b></p> <p>La invención está relacionada al montaje de un motor mejorado para el funcionamiento de un soplador</p>	<p><b>Compresor centrífugo</b></p> <p>La invención está relacionada con los compresores de flujo centrífugo o radial en el que las cuchillas giratorias están situadas en un pasaje de flujo que aumenta de diámetro hacia un extremo de la salida. Los compresores de flujo axial, son de alta eficacia por ofrecer una serie de etapas de difusión y compresión a lo largo de la trayectoria del flujo. Un problema que se observó en esta invención, fue el hecho de tener en cuenta que los diferentes usos de los compresores, requieren de diferentes niveles de presión y caudal, mismos que son solucionados por la presente.</p>	<p><b>Compresor centrífugo de doble entrada</b></p> <p>Se trata de mejoras en el impulsor o rotor de un compresor centrífugo de alto rendimiento, con la finalidad de minimizar las variaciones en los perfiles de velocidad axial y tangencial del gas que sale del mismo</p>
1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997

<p><b>Turbo compresor</b></p> <p>Se trata de un aparato con pluralidad de turbinas para comprimir un gas a una velocidad de flujo alto y a una relación de compresión de gran tamaño</p>	<p><b>Sistema de compresión de aire</b></p> <p>La presente hace referencia a un sistema plenamente integrado de una sola etapa centrífuga. Sistema de compresión de aire que presenta un caudal relativamente alto y presión baja.</p> <p>Normalmente este tipo de compresor es empleado en la industria. La mejora consiste en la técnica de dinámica de fluidos.</p> <p><b>Compresor centrífugo supersónico</b></p> <p>Es una maquina de flujo radial de alto rendimiento, su objetivo es dar solución a los problemas de los compresores de pistón y rotativo al reducir la fricción del fluido en los canales de flujo de la turbina durante la aceleración</p>		<p><b>Compresor centrífugo</b></p> <p>Este compresor, es una mejora a través de la incorporación de anillos deflectores en la entrada de cada etapa.</p> <p>La invención pretende superar la eficiencia y rendimiento de la técnica anterior con número de patente 4646530 y 4262988.</p> <p><b>Compresor centrífugo de múltiples etapas</b></p> <p>La presente invención, tiene por objeto proporcionar un compresor con un diseño modular que permite la adición de etapas, tal y como sea necesario.</p>		<p><b>Compresor de flujo radial para grandes flujos volumétricos</b></p> <p>Compresor de una etapa y de baja presión, características inherentes para el manejo adecuado de grandes volúmenes de vapor. Es de alta eficiencia energética y costo accesible.</p>

1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
<p><b>Rueda de un ventilador centrífugo en línea</b></p> <p>Este ventilador o también llamado soplador, constituye una mejora al acelerara el flujo en el ángulo agudo con respecto al eje de rotación, en lugar de transversal al eje de rotación. Esta función reduce el ruido generado en el conducto como resultado de la aceleración del flujo.</p> <p><b>Compresor</b></p> <p>La invención proporciona un compresor con eje rotativo, unidad de medios para hacer girar el eje, por lo menos una fase de del rotor montado en el eje y cojinete de medios que comprende al menos uno de ellos</p>		<p><b>Turbocompresor</b></p> <p>Se trata de un compresor turbo mejorado que es capaz por su diseño reducir al mínimo, el tamaño de un compresor, la mejoría se muestra en la eficiencia de la compresión y en la minimización de la fuga de aceite refrigerante, proporcionando una mejoría en la trayectoria del flujo de gas, capaz de disminuir la diferencia de presión entre la cámara de compresión y la cámara del motor.</p> <p><b>Compresor centrífugo de aire motorizado con flujo de aire axial</b></p> <p>Comprende un controlador del motor impulsado por el compresor, donde los componentes sensibles a la temperatura pueden ser incorporados en la carcasa</p>			<p><b>Compresor accionado por el motor integral de alta velocidad</b></p> <p>La mejora que se le hizo a este equipo, radica en el motor compacto de alta velocidad, diseñado integralmente con las etapas del compresor para conducirlo a una velocidad sin necesidad de aumento en la velocidad de engranajes, se trata de un compresor de bajo caudal (por debajo de los 800 ICFM)</p>	

EUROPAT						
1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991
	<p><b>Soplador de gas</b></p> <p>Se trata de un ventilador o soplador centrífugo de extracción y presurización de gas para moverse a velocidades de flujo relativamente elevado, a través de un sistema</p> <p>de línea a velocidades de flujo relativamente alto. El objeto es proporcionar un ventilador centrífugo capaz de mejorar de manera eficiente el suministro de un fluido gaseoso</p> <p><b>Ventilador silencioso con motor de derivación</b></p>			<p><b>Unidad del compresor</b></p> <p>La unidad del compresor es accionada por un motor de alta frecuencia de rodamientos, que está conectada a las etapas del compresor</p> <p><b>Compresor centrífugo</b></p> <p>Se trata de proporcionar un compresor mejorado que no necesita de un gran número de sellado.</p> <p>Comprende una pluralidad de ejes impulsores que tiene cada centrífuga para comprimir el gas, además de no requerir de una complicada estructura de montaje para el mantenimiento o de la alineación axial.</p> <p><b>Turbo compresor de aire</b></p> <p>La invención se refiere al campo de sistemas</p>	<p><b>Compresor centrífugo de múltiples etapas</b></p> <p>La invención está relacionada a compresores centrífugos del tipo de un eje único y de alta presión. El propósito es evitar la generación de la rotación en los difusores y de esta manera proporcionar un compresor que se conduzca en forma estable con alta eficiencia en un amplio rango de operación</p> <p><b>Compresor centrífugo de múltiples etapas</b></p> <p>La invención pretende minimizar la rotación en los difusores.</p>	<p><b>Compresor centrífugo de transmisión</b></p> <p>El equipo se refiere a un compresor turbo que es propulsado por una transmisión</p>

				turbocompresores de aire, en particular con un aparato de enfriamiento de un rodamiento montado alrededor de un eje del turbocompresor.		
<b>1992</b>	<b>1993</b>	<p><b>Compresor de múltiples etapas</b></p> <p>La invención está relacionada a la marcha de un compresor de varias etapas.</p>	<p><b>Compresor de velocidades</b></p> <p>El objeto de la invención es desarrollar un compresor de este tipo con un impulsor a bajo costo y el método para la producción del mismo.</p>	<b>1996</b>	<b>1997</b>	<p><b>Compresor</b></p> <p>Se trata de un motor turbo, en particular en el diseño de compresores</p>

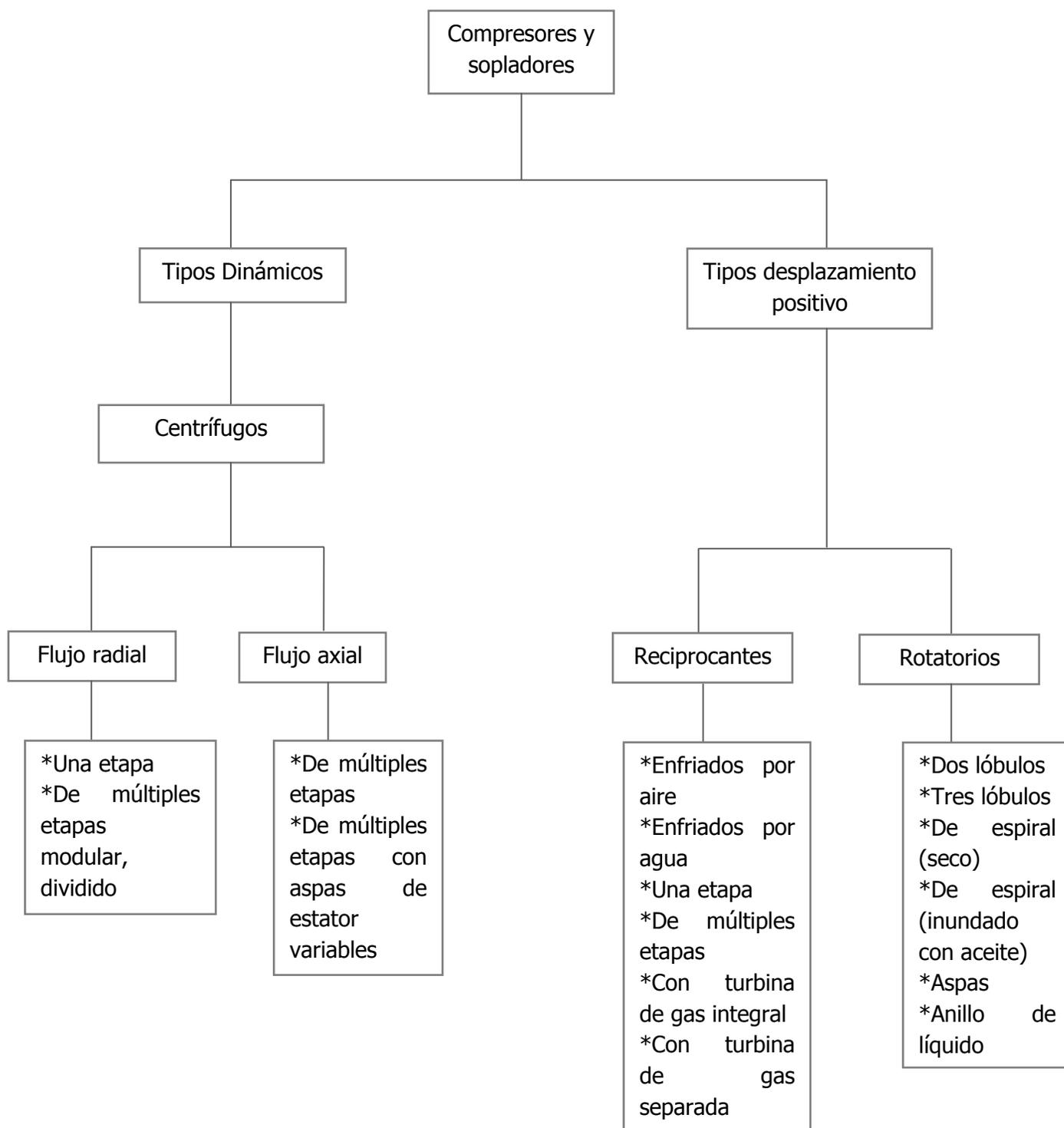
2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
<p><b>Compresor centrífugo de alta presión</b></p> <p><b>Turbo compresor</b></p> <p>Se trata de un compresor radial turbo, que incluye un motor eléctrico</p>	<p><b>Método y aparato para aumentar la eficiencia de un compresor de múltiples etapas</b></p> <p>Esta invención está relacionada con una mejora en la fabricación y el funcionamiento de los compresores de varias etapas para lograr una mayor eficiencia de enfriamiento del gas comprimido.</p> <p><b>Turbo compresor pequeño</b></p>		<p><b>Equilibrio de pistón para compresores centrífugos</b></p> <p>Se refiere a un dispositivo para controlar y amortiguar las vibraciones de los compresores centrífugos</p>	<b>Compresor centrífugo</b>		
2007	2008	2009	2010			
<p><b>Turbo Compresor</b></p> <p>La presente invención se refiere a un compresor dinámico, es especial aquellos que tienen una cubierta tubular y una sección transversal circular.</p> <p><b>Compresor</b></p>	<p><b>Sistema de compresión de múltiples etapas y método de uso.</b></p> <p><b>Compresor centrífugo de múltiples etapas</b></p> <p>Se pretende mejorar la eficiencia de un compresor,</p>	<p><b>Compresor centrífugo con difusor</b></p> <p>Se encuentra compuesto de un canal de flujo, impulsor, difusor y un canal de retorno para evitar la rotación. El difusor está compuesto por hojas gruesas en forma de cuña.</p> <p><b>Mejoras en las unidades de de</b></p>	<p><b>Compresor supersónico de múltiples etapas</b></p> <p>Este compresor proporciona mejoras en el rendimiento del mismo en relación con los compresores supersónicos que se conocen, el aparato posee una entrada y</p>			

<p><b>centrífugo</b></p> <p>Se trata de un compresor compacto radial, con dos centrífugas, un motor, un eje de unidad y de bajo costo, larga vida, alta eficiencia y alto rendimiento en términos de presión y caudal</p>	<p>mediante la prevención de la reducción de la velocidad crítica del sistema del eje rotatorio.</p> <p><b>Unidad del compresor</b></p> <p><b>Compresor y motor eléctrico</b></p> <p>Está conformado por un rotor con uno o más impulsores y un motor eléctrico que se encuentra alojado en una carcasa común a prueba de gas que se suministra, el objetivo es brindar una unidad de compresor mejorada y compacta.</p> <p><b>Compresor radial</b></p>	<p><b>compresores</b></p> <p><b>Compresor</b></p> <p><b>Turbo compresor</b></p>	<p>salida de fluido, al menos dos rotores supersónicos y un conducto de gas</p> <p><b>Unidad del compresor</b></p> <p><b>Dispositivo de compresión</b></p> <p>Se trata de un dispositivo que se encarga de la compresión de un gas por la pluralidad de medios de compresión que se proporcionan en serie con respecto a la dirección del flujo del gas</p> <p><b>Turbo compresor de acoplamiento</b></p> <p>La invención, está relacionada a la mejora del equipo y disminución en los costos de fabricación del mismo.</p> <p><b>Compresor centrífugo de múltiples etapas</b></p> <p>La pluralidad de sus turbinas se encuentra unida a un mismo eje. El objetivo es</p>			
---	---	---	--	--	--	--

			mejorar el conflicto del rango de operación y eficiencia			
<b>SIGA</b>						
<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>			
	<p><b>Proceso para optimizar la operación de varias unidades compresoras en una estación de compresión de gas natural</b></p> <p>Comprende el procedimiento para optimizar la operación de varias unidades compresoras de gas natural.</p>					

**Fuente:** Elaboración propia con datos de SIGA, 2007., EUROPAT, 1980-2010., y USPTO, 1976-2004.

## Anexo II. Tipos de compresores



**Fuente:** W. Richard, 1998:16.