



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

PROGRAMA DE MAESTRIA Y DOCTORADO  
EN INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA

**EL DERECHO DE DESCARGA COMO  
INSTRUMENTO ECONOMICO DE  
POLITICA AMBIENTAL: UNA PROPUESTA  
IMPOSITIVA COMPLEMENTARIA**

**T E S I S**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**MAESTRO EN INGENIERIA**

INGENIERIA DE SISTEMAS – GESTION INTEGRAL DEL  
AGUA

PRESENTA:

**JENNY ROMAN BRITO**

TUTOR:

**M. en Pd. GUSTAVO ORTIZ RENDON**

2010



**JURADO ASIGNADO:**

Presidente: M.C. Arturo Hidalgo Toledo

Secretario: M.T.E. Antonio Romero Castro

Vocal: M. en Pd. Gustavo Ortiz Rendón

1er. Suplente: M.I. Flor Virginia Cruz Gutiérrez

2do. Suplente: M.I. Marco Antonio Toledo Gutiérrez

Lugar o lugares donde se realizó la tesis:

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA - UNAM -

**TUTOR DE TESIS:**

**M. en Pd. Gustavo Armando Ortiz Rendón**

---

**FIRMA**

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi tutor el M. en Pd. Gustavo Armando Ortiz Rendón por aceptarme como su alumna de maestría y creer en mí, por sus enseñanzas, motivación, amistad, paciencia y apoyo constante en el proyecto.

A la Universidad Nacional Autónoma de México por la oportunidad de superación y crecimiento profesional.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada para la realización de mis estudios de maestría.

## **DEDICATORIAS**

A Dios  
por permitirme cerrar otro ciclo en mi vida

A mis padres  
por darme su amor y apoyo incondicional

## Tabla de contenido

	<i>Pág.</i>
<b>1. Introducción</b>	1
1.1 Justificación	4
1.2 Hipótesis	5
1.3 Objetivos	6
1.4 Resumen	7
1.5 Abstract	9
<b>2. Fundamentos Teóricos</b>	11
<b>2.1 Antecedentes</b>	11
<b>2.2 Importancia socioeconómica de la industria consumidora de agua en México</b>	13
2.2.1 Indicadores de contaminación	16
2.2.2 Calidad de los cuerpos de agua	17
2.2.3 Tendencias y efectos de la política pública hídrica	20
<b>2.3 Caracterización de las descargas de agua residual por rama industrial</b>	23
2.3.1 Costos de plantas de tratamiento de efluentes industriales	23
2.3.2 Criterios de diseño	25
2.3.3 Zona de estudio y datos	25
2.3.4 Industrias contaminadoras	26
2.3.4.1 Celulosa y papel	26
2.3.4.2 Siderúrgica	29
2.3.4.3 Textil	33
2.3.4.4 Azucarera	37
2.3.4.5 Química	39
<b>2.4 Legislación y normatividad aplicable para la regulación de las descargas de aguas residuales</b>	44
2.4.1 Reformas en la Ley Federal de Derechos en materia de agua	46
2.4.2 Criterio ambiental	46
2.4.3 Criterio económico	48
<b>2.5 Evolución y resultados de aplicación de la Ley Federal de Derechos en materia de agua por el uso o aprovechamiento de bienes de dominio público de la nación como cuerpos receptores de descarga de aguas residuales</b>	49
2.5.1 Derechos por uso o aprovechamiento de agua	51
2.5.2 Derechos por descarga	52

	<i>Pág.</i>
2.5.3 Resultados de la política medioambiental del agua	52
<b>3. Metodología</b>	<b>56</b>
<b>3.1 Propuesta impositiva complementaria a la Ley Federal de Derechos en materia de agua</b>	<b>57</b>
3.1.1 Antecedente tarifario	57
3.1.2 Principio de quien contamina paga (Polluters Pay Principle)	59
3.1.3 Como funciona el PPP	60
3.1.4 Procedimiento de pago del impuesto	62
<b>3.2 Ejemplo de un impuesto de PPP</b>	<b>68</b>
<b>3.3 Litigios entre el Estado y los usuarios</b>	<b>70</b>
<b>4. Resultados</b>	<b>71</b>
4.1 Una nueva política sustentable en materia de agua para descarga de aguas residuales industriales	71
4.2 Fuentes de recuperación	73
<b>5. Conclusiones y recomendaciones</b>	<b>76</b>
5.1 Aspectos jurídicos y la legitimidad	76
5.2 Categorizar industrias por contaminante	77
5.3 Muestreos	78
5.4 Programa de comunicación	79
<b>6. Referencias bibliográficas</b>	<b>80</b>
<b>7. Anexos</b>	<b>84</b>
7.1 Anexo 1	84
7.2 Anexo 2	86
7.3 Anexo 3	87
7.4 Anexo 4	89

## Índice de tablas

	<i>Pág.</i>
<b>2. Fundamentos teóricos</b>	
Tabla 2.1 Escalas de clasificación de la calidad del agua, CONAGUA	17
Tabla 2.2 Tasa promedio de financiamiento de agencias internacionales para proyectos hidráulicos	25
Tabla 2.3 Costos de tratamiento para la industria de celulosa y papel a valor actual	28
Tabla 2.4 Costos de tratamiento para la industria siderúrgica	32
Tabla 2.5 Costos de tratamiento para la industria textil con acabados de algodón	35
Tabla 2.6 Costos de tratamiento para la industria textil con acabados de lana	36
Tabla 2.7 Costos de tratamiento para la industria azucarera	38
Tabla 2.8 Costos de tratamiento para la industria química (ácidos, bases y sales)	42
Tabla 2.9 Costos de tratamiento para la industria química (plaguicidas, resinas y hule sintético)	42
Tabla 2.10 Costos de tratamiento por m <sup>3</sup> para las industrias de estudio	43
Tabla 2.11 Límites máximos permisibles en las descargas de aguas residuales	47
Tabla 2.12 Reporte de datos de efluentes no municipales	47
Tabla 2.13 Monto correspondiente por cada contaminante (pesos por kg al trimestre)	48
<b>3. Metodología</b>	
Tabla 3.1 Recaudación fiscal por derechos de agua y aprovechamientos 1996-2007	58
Tabla 3.2 Valores impositivos por agentes contaminantes para la industria de química (plaguicidas, resinas y hule sintético) con un gasto de 101-250 l/seg.	68
Tabla 3.3 Comparación de recaudación entre CONAGUA, SOAPAP y el PPP al parque industrial Resurrección	69
<b>4. Resultados</b>	
Tabla 4.1 Precios para cubrir los costos agua potable y saneamiento (pesos/m <sup>3</sup> )	75
<b>5. Conclusiones y recomendaciones</b>	
Tabla 5.1 Propuesta de categorización de empresas con respecto a su contaminación	77
Tabla 5.2 Programa de comunicación UNESCO	79

## Índice de figuras

	<i>Pág.</i>
<b>1. Introducción</b>	
Figura 1.1 Porcentajes de extracción de las principales ramas industriales	1
Figura 1.2 Porcentajes de descarga de las principales ramas industriales	1
<b>2. Fundamentos teóricos</b>	
Figura 2.1 Porcentajes de usos de agua en México	14
Figura 2.2 Caudal de aguas residuales industriales tratadas en México, serie anual de 1999 a 2007	15
Figura 2.3 Plantas de tratamiento de aguas residuales de origen industrial por nivel de tratamiento	15
Figura 2.4 Porcentajes de contaminación de DBO <sub>5</sub> en cuerpos de agua en México	19
Figura 2.5 Porcentajes de contaminación de DQO en cuerpos de agua en México	19
Figura 2.6 Porcentajes de contaminación de SST en cuerpos de agua en México	20
Figura 2.7 Porcentaje histórico de DBO <sub>5</sub> en México (2003-2007)	20
Figura 2.8 Porcentaje histórico de DQO en México (2003-2007)	21
Figura 2.9 Porcentaje histórico de SST en México (2003-2007)	22
Figura 2.10 Localización del parque industrial Resurrección	23
Figura 2.11 Tren de tratamiento para la industria de celulosa y papel	28
Figura 2.12 Curva de costo total con distintos gastos en la industria de celulosa y papel	29
Figura 2.13 Tren de tratamiento para la industria siderúrgica	31
Figura 2.14 Curva de costo total con distintos gastos en la industria siderúrgica	32
Figura 2.15 Tren de tratamiento para la industria textil con acabados de algodón	34
Figura 2.16 Tren de tratamiento para la industria textil con acabados de lana	35
Figura 2.17 Curva de costo total con distintos gastos en la industria textil de algodón	36
Figura 2.18 Curva de costo total con distintos gastos en la industria textil de lana	36
Figura 2.19 Tren de tratamiento para la industria azucarera	38
Figura 2.20 Curva de costo total con distintos gastos en la industria azucarera	39
Figura 2.21 Tren de tratamiento para la industria química (ácidos, bases y sales)	40
Figura 2.22 Tren de tratamiento para la industria química (plaguicidas, resinas y hule sintético)	41

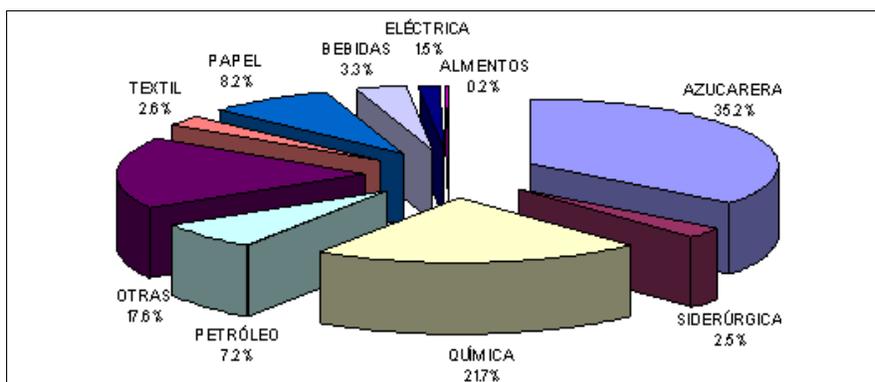
	<i>Pág.</i>
Figura 2.23 Curva de costo total en la industria química (ácidos, bases y sales)	42
Figura 2.24 Curva de costo total en la industria química (plaguicidas, resinas y hule sintético)	43
Figura 2.25 Recaudación histórica por concepto de cobro de derechos por el uso o aprovechamiento de los cuerpos receptores	53
Figura 2.26 Contaminación producida por DBO <sub>5</sub>	53
Figura 2.27 Contaminación producida por DQO	54
Figura 2.28 Contaminación producida por SST	54
<b>3. Metodología</b>	
Figura 3.1 Curva de Pareto de la contaminación por agentes económicos	59
Figura 3.2 Procedimiento de cobro de PPP	62

## 1. INTRODUCCIÓN

La creciente actividad de la industria en México contribuye en gran medida a la contaminación de los cuerpos de agua implicando riesgos para el ambiente y la población debido a la disposición clandestina e incontrolada de residuos resultantes de los procesos de producción y los accidentes durante el almacenamiento o transporte de sustancias.

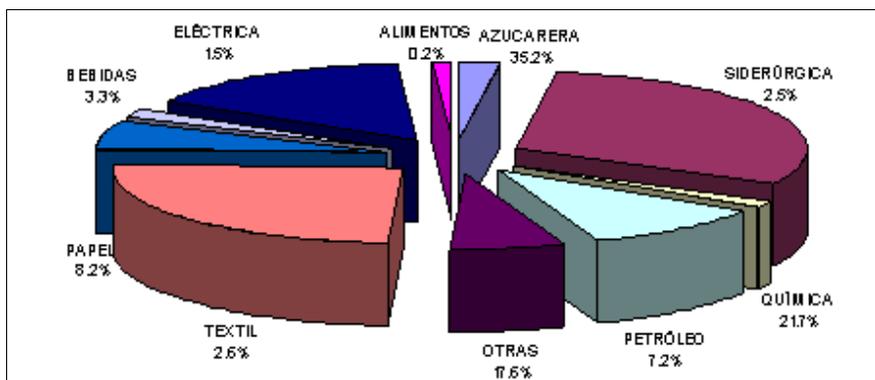
Actualmente el consumo de agua para uso industrial es 6,129 Mm<sup>3</sup> al año<sup>1</sup>, de los cuales aproximadamente el 60 por ciento corresponde a aguas subterráneas. A pesar de que la industria autoabastecida sólo consume el 25.42% del agua que se extrae, en contraste este sector es el responsable de la mayor contaminación de los cuerpos de agua generando un volumen de 4,571 Mm<sup>3</sup> al año de agua residual.

Figura 1.1 Porcentajes de extracción de las principales ramas industriales.



Fuente: Instituto Nacional de Ecología. Indicadores ambientales. INEGI 2008.

Figura 1.2 Porcentajes de descarga de las principales ramas industriales.



Fuente: Instituto Nacional de Ecología. Indicadores ambientales. INEGI 2008.

1 Comisión Nacional de Agua (2007), Subdirección General de Programación. Gerencia de Estudios para el Desarrollo Hidráulico Integral.

No obstante, la industria participa con el 22% del Producto Interno Bruto, es un sector exportador por excelencia y genera 3.2 millones de empleos directos en 250,000 plantas industriales, lo que nos da una idea de su importancia en la economía nacional. El 97% de las empresas del sector industrial mexicano se clasifican en micro y pequeños establecimientos y la falta de recursos ha sido siempre un obstáculo en el financiamiento de plantas de tratamiento de agua, equipos de control e instalación de tecnología más limpia.

Todas las actividades industriales contaminan en mayor o menor medida, sin embargo para el desarrollo de este trabajo se seleccionaron cinco giros industriales con base en un detallado análisis social, económico y principalmente ambiental, considerando para cada uno de ellos el consumo de agua con respecto al total nacional, así como las descargas de aguas residuales con respecto al volumen nacional y la concentración de sus descargas. En este trabajo se presenta un análisis de cada uno de los cinco giros industriales seleccionados donde se describen sus descargas de aguas residuales, los sistemas particulares de tratamiento capaces de reducir las cargas de contaminantes propuestos para pequeñas industrias y una estimación de los costos al tratamiento de las descargas de aguas residuales.

Actualmente la legislación federal exige la instalación de plantas de tratamiento primario en todas las descargas y tratamientos más completos cuando la capacidad del cuerpo receptor así lo requiera, sin embargo gran parte de las industrias no cuentan con los recursos económicos para instalar sus propios sistemas de tratamiento, lo que se refleja en incumplimiento de la normatividad y a su vez, las autoridades competentes no cuentan con personal suficiente para vigilar el cumplimiento de la legislación. La vigilancia de las Normas Oficiales Mexicanas corresponde a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales por conducto de la Comisión Nacional de Agua, sin embargo esto no elimina el problema en su totalidad ya que es fácil observar cuerpos de agua gravemente contaminados debido a que las pocas industrias que cuentan con sistemas de tratamiento son de tipo fisicoquímico, mismos que generalmente son deficientes. Es posible reducir mayor cantidad de contaminantes de las aguas residuales industriales utilizando procesos de tratamiento avanzados y diseñados para cada tipo de descarga, obteniendo aguas residuales tratadas con la calidad apropiada para ser reutilizadas.

Es necesario regular las descargas de las aguas en la industria para así lograr una protección consciente del medio ambiente ya que en nuestro país se encuentran algunos de los ríos más contaminados del mundo (Lerma, Pánuco, Coatzacoalcos).

En este documento se realiza una propuesta de pago del vertido de aguas residuales bajo el concepto de impuesto denominado "*Polluters-Pay-Principle*" (PPP), que es el *principio de quien contamina paga*, esto implica un nuevo enfoque administrativo para el pago de vertidos de aguas residuales, respetando el marco normativo actual.

El PPP es un método que funciona bajo el sistema de incentivos, procurando establecer un desarrollo paralelo entre el crecimiento económico de la industria y una mejor protección de la salud pública y del medio ambiente, sin reducir el desarrollo industrial. De esta forma se compararon los montos de pago de una industria o un parque industrial por el derecho de descarga entre la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), el Sistema Operador de Agua Potable y Alcantarillado de Puebla (SOAPAP) y el PPP.

La creación de un impuesto recaudador puede ser aceptado siempre y cuando exista una política que otorgue recursos para financiar proyectos de tratamiento. Esta política debe guiarse bajo dos enfoques: financiero y técnico. El enfoque financiero considera que los recursos monetarios son escasos y la experiencia internacional demuestra que las inversiones para el agua necesitan de todo tipo de fuentes de financiación, por lo tanto, en las condiciones actuales es necesario revisar las fuentes de financiamiento de los proyectos de inversión en saneamiento. El enfoque técnico no solo consiste en el diseño de las distintas infraestructuras sanitarias, es necesario desarrollar un conocimiento de la gama de precios, lo que implica desarrollar estudios específicos sobre el costo de tecnologías.

## **1.1 JUSTIFICACIÓN**

La escasez de agua es cada vez mayor y las descargas de aguas residuales industriales generan problemas graves de contaminación en los cuerpos receptores; su falta de tratamiento es un riesgo muy serio para la salud y para la calidad del medio ambiente ya que la inadecuada disposición de las aguas residuales industriales es una de las causas de contaminación más graves.

A pesar de la legislación existente, no se tiene suficiente control de las descargas industriales en el país y esto lo podemos observar en la continua degradación de los cuerpos de agua superficiales. Las industrias generadoras de aguas residuales buscan omitir el pago de derechos debido a que nuestra legislación no contempla un programa real de incentivos para las industrias contaminadoras.

El tratamiento de las aguas residuales representa un alto costo para las industrias y sus inversionistas, por esto es importante que exista una política que otorgue recursos para financiar proyectos de tratamiento<sup>2</sup> a través de un impuesto recaudador que establezca un desarrollo paralelo entre el crecimiento económico de la industria y una mejor protección de la salud pública y del medio ambiente, sin reducir el desarrollo industrial.

---

<sup>2</sup> La qualité de l'eau et de l'assainissement en France Office parlementaire d'évaluation des choix scientifique et techniques, rapport n°215, Sénat, n°705 Assemblée Nationale.

## **1.2 HIPÓTESIS**

Un sistema de impuestos ambientales que recaude y maneje fondos con efectiva administración de los recursos a su destino y aplicación controlada a los objetivos garantiza resultados y genera transparencia y confianza de los contribuyentes.

El pago de servicios ambientales es un mecanismo valioso para generar ingresos para un desarrollo sustentable.

El derecho de descarga como está actualmente concebido representa un derecho por contaminar porque no capta la totalidad de los costos totales reales de tratamiento. Al estar establecido por promedios con una tasa impositiva general y de aplicación estricta, o se están dando los suficientes incentivos para que las industrias contaminadoras paguen los costos totales de contaminar y de esta manera no se están internalizando los costos totales de contaminación en el sistema económico de precios de bienes y servicios resultando el esquema actual en un sistema no sustentable de la misma actividad productora y del medio ambiente.

### **1.3 OBJETIVOS**

Realizar una propuesta impositiva complementaria Proponer una adecuación metodológica al derecho por uso o aprovechamiento de bienes del dominio público de la nación como cuerpos receptores de descarga de aguas residuales, considerando las concentraciones características de las principales ramas industriales que contaminan el agua en México, sus procesos típicos de tratamiento y su impacto económico.

Para el desarrollo de este trabajo se fijaron los siguientes objetivos específicos:

1. Determinar las concentraciones promedio de las descargas de aguas residuales de las industrias seleccionadas para este estudio.
2. Determinar los tipos de tratamiento y costos de inversión, operación y mantenimiento para cada tipo de las industrias de este estudio.
3. Proponer una adecuación impositiva complementaria a la Ley Federal de Derechos (LFD) en materia de agua y determinar su recaudación potencial.
4. Plantear una nueva política en materia de agua para descargas de aguas residuales.

## 1.4 RESUMEN

El concepto de *sustentabilidad* involucra un desarrollo económico que satisfaga las necesidades del presente sin comprometer a generaciones futuras. Aunque la definición de desarrollo sostenible es poco precisa respecto a como se alcanza operativamente, no cabe duda que debe existir implícitamente una planificación que permita obtener soluciones inmediatas a un problema de corto plazo que no sea más costoso a largo plazo.

Para esta problemática, el Estado Mexicano cuenta con un marco jurídico que está conformado por leyes, normas y reglamentos que procuran el aprovechamiento sustentable, la conservación y la restauración de los cuerpos de agua nacionales.

No existe duda de la relevancia económica de las industrias, pero éstas representan problemas significativos de contaminación al ambiente. En función de este panorama el vertido de efluentes industriales se ha convertido en un asunto significativo, debido principalmente a la insistencia de la industria de sólo considerar la degradación biológica y por el efecto para las especies acuáticas de los elementos tóxicos vertidos.

Con frecuencia, las plantas de tratamiento operadas por la industria se enfocan en vertidos correspondientes a la materia orgánica biodegradable sin embargo existen diversos contaminantes que resultan difíciles de degradar ya que los procesos biológicos generalmente no remueven elementos recalcitrantes ni consiguen bajas reducciones de *Demanda Química de Oxígeno y/o Carbono Orgánico Disuelto* incluso en la mayoría de los casos, concentraciones altas de estos compuestos pueden ser tóxicos con diversas consecuencias y efectos negativos a los ecosistemas acuáticos. La razón de esta problemática tiene su origen en los *costos*, ya que muchas industrias optan por el tratamiento basado en procesos biológicos que permiten obtener eficiencias razonables sin realizar inversiones que afecten el equilibrio económico de las industrias.

En este documento se realiza una propuesta de pago del vertido de aguas residuales bajo el concepto de impuesto denominado "*Polluters-Pay-Principle*" (PPP), que es el *principio de quien contamina paga*, esto implica un nuevo enfoque administrativo para el pago de vertidos de aguas residuales, respetando el marco normativo actual.

El PPP es un método que funciona bajo el sistema de incentivos, procurando establecer un desarrollo paralelo entre el crecimiento económico de la industria y una mejor protección de la salud pública y del medio ambiente, sin reducir el desarrollo industrial. De esta forma se compararon los montos de pago de una industria o un parque industrial por el derecho de descarga entre la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), el Sistema Operador de Agua Potable y Alcantarillado de Puebla (SOAPAP) y el PPP.

La creación de un impuesto recaudador puede ser aceptado siempre y cuando exista una política que otorgue recursos para financiar proyectos de tratamiento. Esta política debe guiarse bajo dos enfoques: financiero y técnico.

El enfoque financiero considera que los recursos monetarios son escasos y la experiencia internacional demuestra que las inversiones para el agua necesitan de todo tipo de fuentes de financiación, por lo tanto, en las condiciones actuales es necesario revisar las fuentes de financiamiento de los proyectos de inversión en saneamiento.

El enfoque técnico no solo consiste en el diseño de las distintas infraestructuras sanitarias, es necesario desarrollar un conocimiento de la gama de precios, lo que implica desarrollar estudios específicos sobre el costo de tecnologías.

Finalmente se señalan recomendaciones a considerar como: aspectos jurídicos y la legitimidad del derecho de agua, categorización de industrias por contaminante, muestreo y programas de comunicación.

## 1.5 ABSTRACT

Sustainability concept involves an economic development that satisfies present needs without compromising future generations. Although the definition of sustainable development is vague about how it is achieved operationally, there is no doubt that there must be a plan that involves obtaining immediate solutions to a short-term problem that is not more costly in the long term.

For this problem, México has a legal framework that consists of laws, rules and regulations that seek the sustainable use, conservation and restoration of national water bodies.

There is no doubt of industry's economic importance, but these represent significant pollution problems to the environment. Based on this view, the industrial effluents discharge has become a significant issue, mainly due to the insistence of industry to consider only biological degradation and the impact to aquatic species of toxic elements discharges.

Treatment plants operated by industry often focus on discharges for biodegradable organic matter however there are several pollutants that are difficult to degrade and those biological processes usually do not remove recalcitrant elements nor get low Chemical Oxygen Demand reductions and/or Dissolved Organic Carbon even in most cases, high concentrations of these compounds can be toxic with different consequences and negative effects on aquatic ecosystems. The reason for this problem has its origin in costs, because many industries look out for treatment based on biological processes which can obtain reasonable efficiencies without affecting the economic stability of industries.

This document is a proposal for payment of the waste water discharge under the concept of tax called "*Polluters-Pay-Principle*" (PPP), this implies a new management approach for the payment of sewage discharges, respecting the existing regulatory framework.

The PPP is a method that works under the incentive system, seeking a parallel development between the economic growth of the industry and better protection of public and the environment health without reducing industrial development. In this way we compared the amounts of payment of an industry or an industrial park for the duty for discharge between the CONAGUA, SOAPAP and PPP.

The creation of a tax collector can be accepted so long as there is a policy that gives resources to finance treatment projects. This policy should be guided in two approaches: financial and technical support.

The financial approach considers that the monetary resources are scarce and international experience shows that investments in water need all sources of funding, therefore, under current conditions is necessary to review the sources of financing for investment in sanitation projects.

The technical approach is not only about the design of the sanitary infrastructure, is necessary to develop knowledge of the range of prices, this implies developing specific studies on the cost of technology.

Finally some recommendations to consider are: Legal issues and the legitimacy of water, Categorization of industries by contaminant, sampling and communication programs.

## **2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

### **2.1 ANTECEDENTES**

En México, hasta 1970 prácticamente no se aplicó ningún criterio ambiental para el desarrollo industrial, aunque había indicios de impactos crecientes, particularmente en términos de contaminación atmosférica y la generación de desechos. Se estima que entre 1950 y 1960 estos efectos se incrementaron conforme la industria fue creciendo y diversificándose. Para el uso de los recursos naturales, predominaba la idea de su explotación como fuente inagotable y por tanto, sin necesidad de imponerle restricciones.

La promulgación de la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental en 1971 dio inicio a la generación de una normatividad, lo que comprometió a la industria al logro de procesos cada vez más limpios. Posteriormente la aparición de un nuevo Código Sanitario en 1973, introdujo normas más específicas relacionadas con emisiones y descargas industriales y la generación de residuos peligrosos. Se expidieron también reglamentos para la prevención y control de la contaminación atmosférica por humos y polvos, de control de la contaminación de aguas, de prevención y control de la contaminación del mar por desechos y otros ordenamientos que directa o indirectamente se relacionaban con la industria.

La industria fue de las actividades más impactadas por la crisis de los ochentas y hacia 1988, el grado de industrialización era inferior al de 1980. Sólo experimentaron un auge incluso en los años de la crisis más intensa, las que se reorientaron pronto hacia las exportaciones. El cambio más significativo fue el auge exportador de las manufacturas y el crecimiento acelerado de las maquiladoras.

En el Programa Nacional Hídrico<sup>3</sup> se indica que el sector industrial generaba para 1998 160 m<sup>3</sup>/s de aguas residuales de las cuales sólo se tratan aproximadamente el 15%, y se cita una cifra de cuántas industrias cumplen con las condiciones particulares de descarga que les fueron fijadas por la autoridad.

Cada industria, de acuerdo con su giro específico y con los diferentes procesos productivos que maneja utiliza diferentes cantidades de agua y en función de su uso generará una variedad muy grande de efluentes de alto grado contaminante y que en su mayoría son descargados en aguas o bienes nacionales causando efectos adversos al medio ambiente o a la salud.

Un enfoque preventivo para controlar la contaminación causada por estos efluentes necesariamente debe comenzar en la industria con el cambio de procesos productivos por tecnologías limpias, minimizar descargas reciclando y reusando el agua y tratando en forma separada los efluentes con las tecnologías

---

<sup>3</sup> Programa Nacional Hídrico 2007-2012 CONAGUA-SEMARNAT.

apropiadas que les permitan cumplir con la regulación ambiental aplicable y en los casos que esta calidad lo permita, reutilizarla dentro de la misma industria, es por esto que la NOM-001-SEMARNAT-1996 establece los límites permisibles de calidad y los tratamientos de potabilización del agua para uso y consumo humano, que deben cumplir los sistemas de abastecimiento públicos y privados o cualquier persona física o moral que la distribuya, en todo el territorio nacional y la NOM-002-SEMARNAT-1996 establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.

Asimismo, la LFD en materia de agua es un instrumento de regulación y control de las descargas de aguas residuales a los cuerpos de aguas nacionales mediante límites máximos permisibles de contaminantes específicos y cuotas del derecho a pagar por contaminante que rebase los límites correspondientes. Es por lo tanto, necesario conocer de cada tipo de industria la carga contaminante que genera y los tratamientos necesarios a aplicar a sus aguas residuales generadas que les permitan cumplir con la norma para su descarga y/o posible reúso. Así como la factibilidad de aplicar en la industria nacional tecnologías más limpias para la reducción de contaminantes en las descargas, además de fomentar el ahorro en los consumos de agua y energía.

En cuanto al reúso industrial, la experiencia sobre el uso de agua residual doméstica tratada es aún muy restringida en el país, en donde se identifican actualmente sólo dos tipos de práctica; una de ellas corresponde a plantas industriales que se abastecen directamente del alcantarillado y ellas mismas se encargan del tratamiento para cumplir con sus requerimientos de calidad. En este caso están las termoeléctricas del Valle de México y Tula de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y la refinería de PEMEX en Tula.

Una gran preocupación es la posible presencia de residuos de compuestos orgánicos en el agua de desecho sin tratar, no detectados por las pruebas analíticas y que por lo tanto no puedan ser eliminados por las tecnologías actuales. La capacidad y localización de los sistemas de tratamiento, obedece a diversos aspectos: magnitud, calidad y ubicación de la demanda; suficiencia de agua residual cruda en el lugar; disponibilidad de terreno en la zona de influencia; propiedades geotécnicas y geohidrológicas del suelo en los predios elegidos.

## **2.2 IMPORTANCIA SOCIOECONÓMICA DE LA INDUSTRIA CONSUMIDORA DE AGUA EN MÉXICO**

Tres cuartas partes de la tierra están cubiertas por agua, de la cual sólo el 3 % es agua dulce, de la que a su vez dos tercios se encuentran en forma de hielo en los polos y por lo tanto su disponibilidad es baja, por lo que menos del 1 % del agua existente puede realmente aprovecharse para consumo humano y uso industrial. De este 1 % gran parte se desperdicia por un uso no eficiente como pérdidas en los sistemas de riego, en las redes de distribución de agua potable, en actividades de limpieza y en actividades recreativas y por la falta de una cultura del agua que permita un uso más racional y sustentable<sup>4</sup>.

Cada día aumenta de manera más rápida la demanda del agua, agudizando la dificultad de su disponibilidad, por lo que deben incrementarse y mejorarse de manera integral los programas para su uso eficiente, generar nuevos y mejores proyectos de monitoreo, recuperación y control sobre lo cual las industrias altamente contaminantes deben tomar medidas ya que generan enormes cantidades de contaminantes en sus distintos procesos de producción.

El panorama de escasez opera a nivel mundial, en los países industrializados se han manifestado de una manera más temprana los problemas de escasez del agua, de su contaminación y de los impactos ambientales generados por su uso inadecuado, razones por las cuales se han generado y desarrollado programas para su conservación, control y uso más eficiente.

En México, principalmente en las grandes ciudades y en las zonas con mayores requerimientos de agua ya se ha presentado la misma situación. Sin embargo, en todo el país tarde o temprano deberán incrementarse y tomar más peso los programas de uso eficiente y racional de este recurso, los de su conservación, y los del reúso.

El sector industrial reviste una enorme importancia para el país, representando uno de los principales elementos dinamizadores del desarrollo económico, siendo además una importante fuente de empleos y productora por naturaleza. Un reto para este sector es el que plantea la apertura externa y el nuevo contexto internacional, así como las demandas de la sociedad por un desarrollo sustentable.

En los procesos industriales se utilizan materias primas, energía, capital y trabajo humano para generar bienes socialmente necesarios y deseables, pero también, sus procesos productivos arrojan al ambiente subproductos indeseables como las emisiones de contaminantes a la atmósfera, las descargas de aguas residuales y los residuos peligrosos y no peligrosos.

El Registro Público de Derechos de Agua (REPDa), contiene la información de los volúmenes concesionados a los usuarios de aguas nacionales.

---

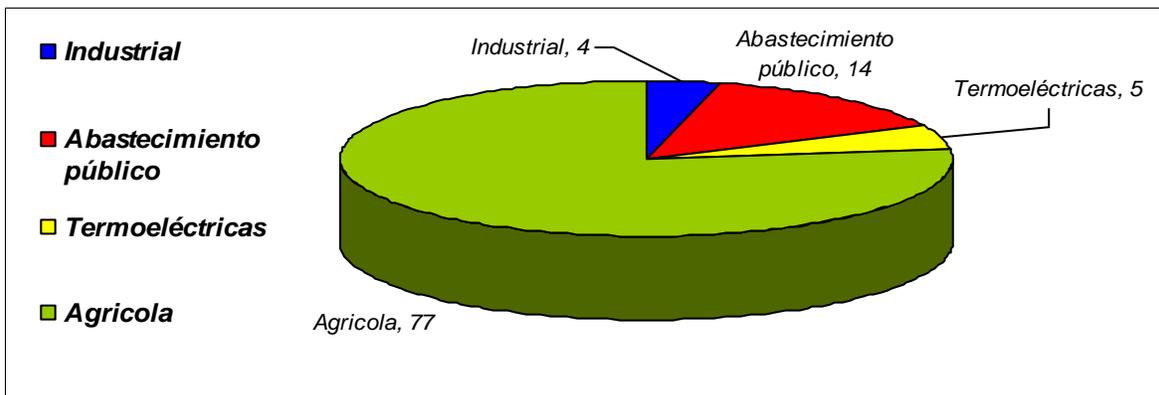
<sup>4</sup> Estadísticas del Agua en México, 2008.

Básicamente se agrupan en cuatro grupos de uso consuntivo:

- Agrícola
- Abastecimiento público
- Industrial
- Termoeléctricas

Como se observa en la siguiente gráfica, el mayor volumen concesionado para usos consuntivos del agua es el que corresponde a las actividades agrícolas (77%), debido a que México es uno de los países con mayor infraestructura de riego en el mundo; le sigue el abastecimiento público (14%), ya que México es el 11º país en población a nivel mundial<sup>5</sup>; después las termoeléctricas (5%) y finalmente la industria (4%), en la que el país ocupa el décimo lugar en la economía global.<sup>6</sup>

Figura 2.1 Porcentajes de usos de agua en México.



Fuente: CONAGUA, Subdirección General de Administración del Agua, 2008.

Nota: Estos provienen de los volúmenes declarados para el pago de derechos.

El presente estudio se sustenta en los preceptos contenidos en el Plan Nacional Hídrico (PNH) 2007-2012, que tiene entre sus objetivos:

- Incrementar el acceso y calidad de los servicios de saneamiento.
- Promover el manejo integrado y sustentable agua en cuencas y acuíferos.
- Mejorar el desarrollo técnico, administrativo y financiero del Sector Hidráulico.

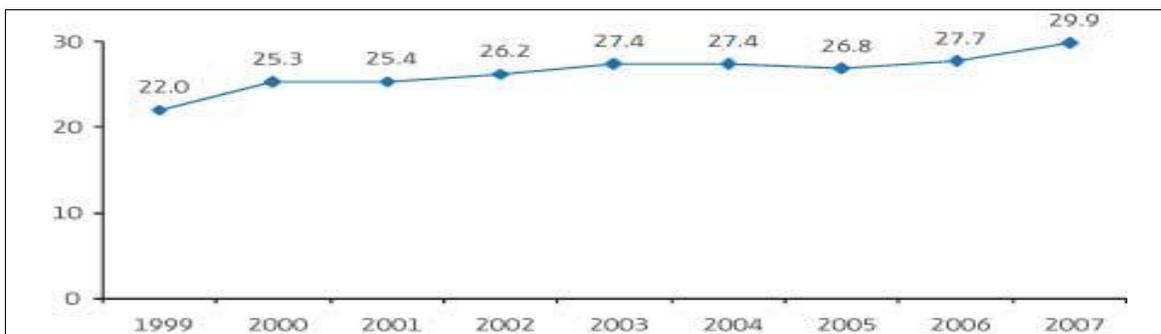
Existen industrias que sólo utilizan el agua para servicios sanitarios, mientras que para otras, el agua es un insumo principal del producto terminado. El consumo depende del tamaño y tipo de industria, del número de empleados y de las áreas verdes disponibles.<sup>7</sup> Así que para determinar una demanda hídrica industrial, es necesario considerar el tipo de actividad que desarrolle la empresa y su rentabilidad. Aunque los recursos hídricos para el sector industrial representan insumos, las necesidades de unas y otras industrias difieren en volumen y calidad.

5 Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2007.

6 Coordinación de Políticas Públicas de la Presidencia, 2008

7 IMTA, "Estímulos para el uso del agua tratada en el Distrito Federal", Ortiz & López, 2002.

Figura 2.2 Caudal de aguas residuales industriales tratadas en México, serie anual de 1999 a 2007(m<sup>3</sup>/seg.).



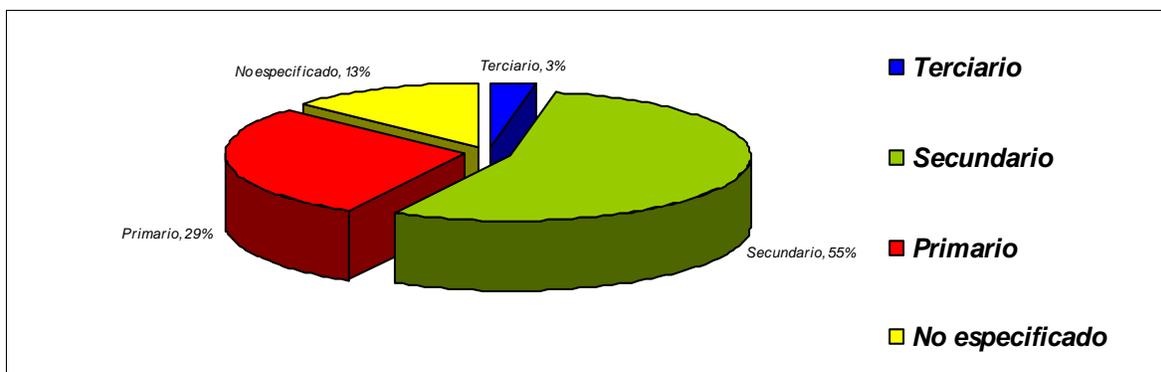
Fuente: CONAGUA, Subdirección General de Programación, 2008.

Se puede observar en la figura 2.2 los incrementos porcentuales desde el año 1999 a 2007 del tratamiento de aguas por parte de la industria, destacando el periodo 1999-2000 como el mayor incremento porcentual en el tratamiento de aguas industriales (3.3%) y el período 2004-2005 como un decremento en el caudal de tratamiento de aguas industriales (0.6%).

El tipo de tratamiento de aguas residuales en la industria más utilizado es el secundario y se aplica en 1,119 plantas que tienen un gasto de operación de 15.09 m<sup>3</sup>/seg. Las instalaciones que tratan un mayor volumen de agua residual aplicando este proceso están ubicadas en: Veracruz, México y Nuevo León, con 2.61, 2.55 y 2.53 m<sup>3</sup>/seg., respectivamente.

Le sigue el primario, aplicado en 589 plantas con un gasto de operación de 10.63 m<sup>3</sup>/seg. Las instalaciones con un mayor volumen de agua tratada a través de este proceso están ubicadas en: Veracruz, Michoacán y Chiapas, con 5.6, 1.2 y 0.5 m<sup>3</sup>/seg., respectivamente.

Figura 2.3 Plantas de tratamiento de aguas residuales de origen industrial por nivel de tratamiento, 2008 (porcentaje).



Fuente: CONAGUA, Subdirección General Técnica, 2009.

El método menos utilizado es el terciario y se aplica en 59 plantas con un gasto de 0.64 m<sup>3</sup>/seg. Las plantas con mayor volumen de tratamiento están ubicadas en los estados de Veracruz, México y Durango con 0.4, 0.076 y 0.065 metros cúbicos por segundo, respectivamente.

## 2.2.1 INDICADORES DE CONTAMINACIÓN

Para determinar las Condiciones Particulares de Descarga (CPD) la CONAGUA toma como base los parámetros y Límites Máximos Permisibles (LMP) contenidos en las Normas Oficiales Mexicanas que emitan las autoridades competentes en materia de descargas de aguas residuales para su tratamiento y posterior descarga a cuerpos receptores o bien su reuso con fines diferentes al consumo humano.

También se consideran los parámetros y límites máximos permisibles que se deriven de las Declaratorias de Clasificación de los Cuerpos de Aguas Nacionales que se publican en los términos del artículo 87º de la Ley de Aguas Nacionales (LAN).

Actualmente, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) evalúa la calidad del recurso a través de tres indicadores: la Demanda Bioquímica de Oxígeno<sub>5</sub><sup>8</sup> (DBO<sub>5</sub>), la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y los Sólidos Suspendidos Totales (SST).

### ***Demanda Bioquímica de Oxígeno***

Se define como: "Oxígeno disuelto y requerido por los organismos para la descomposición aeróbica de la materia orgánica presente en el agua. Es la proporción en que desaparece el oxígeno de una muestra de agua y es utilizado como indicador de la calidad del agua de efluentes residuales. Los datos utilizados para los propósitos de esta clasificación deberán ser medidos en 20 grados Celsius y por un periodo de 5 días."<sup>9</sup>. En otras palabras es: "La demanda del oxígeno disponible por parte de sustancias orgánicas que se encuentran en el curso del agua y que requieren oxígeno para su descomposición"<sup>10</sup>.

### ***Demanda Química de Oxígeno***

Se define como: "La concentración de masa de oxígeno consumido por la descomposición química de la materia orgánica e inorgánica"<sup>11</sup>. En otras palabras: "La DQO es la cantidad de oxígeno consumida por la oxidación total de la materia orgánica presente en el agua, mediante un reactivo químico (normalmente es permanganato o dicromato)"<sup>12</sup>.

---

8 A cinco días

9 <http://www.en.hidritec.com/Library/glossary.htm>

10 <http://www.eraecologica.org>

11 <http://www.en.hidritec.com/Library/glossary.htm>

12 [www.geafiltration.com/](http://www.geafiltration.com/)

### **Sólidos Suspendidos Totales**

También es conocido este indicador como el residuo no filtrable de una muestra de agua natural o residual industrial o doméstica, se definen como: la porción de sólidos retenidos por un filtro de fibra de vidrio que posteriormente se seca a 103°-105° C hasta peso constante”<sup>13</sup>.

Las pruebas de DQO, DBO<sub>5</sub> y de SST; determinan el grado de contaminación en un flujo. El incremento de la concentración de alguno de estos parámetros representa la disminución del contenido disuelto en los cuerpos de agua, con la consecuente afectación acuática.

El incremento del indicador DQO, indica presencia de sustancias provenientes de cargas no municipales generalmente.

El indicador SST se origina a través de las aguas residuales y la erosión del suelo. Un incremento en el mismo, produce que se pierda la capacidad de soportar la diversidad de la vida acuática.

Estos parámetros permiten reconocer gradientes que van desde una condición relativamente natural o sin influencia de la actividad humana, hasta agua que muestra indicios o aportaciones importantes de descargas de aguas residuales municipales y no municipales, así como áreas con deforestación severa.

### **2.2.2 CALIDAD DE LOS CUERPOS DE AGUA**

La CONAGUA utiliza los siguientes niveles para definir la calidad de un cuerpo de agua.

*Tabla 2.1 Escalas de clasificación de la calidad del agua, CONAGUA.*

<b>Criterio (ml/lt)</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Calidad</b>
<b>DBO<sub>5</sub></b>		
DBO <sub>5</sub> <= 3	No contaminada	<b>Excelente</b>
3 < DBO <sub>5</sub> <= 6	Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable	<b>Buena Calidad</b>
6 < DBO <sub>5</sub> <= 30	Con indicios de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de auto-depuración. Aguas residuales tratadas biológicamente.	<b>Aceptable</b>
30 < DBO <sub>5</sub> <=120	Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal.	<b>Contaminada</b>

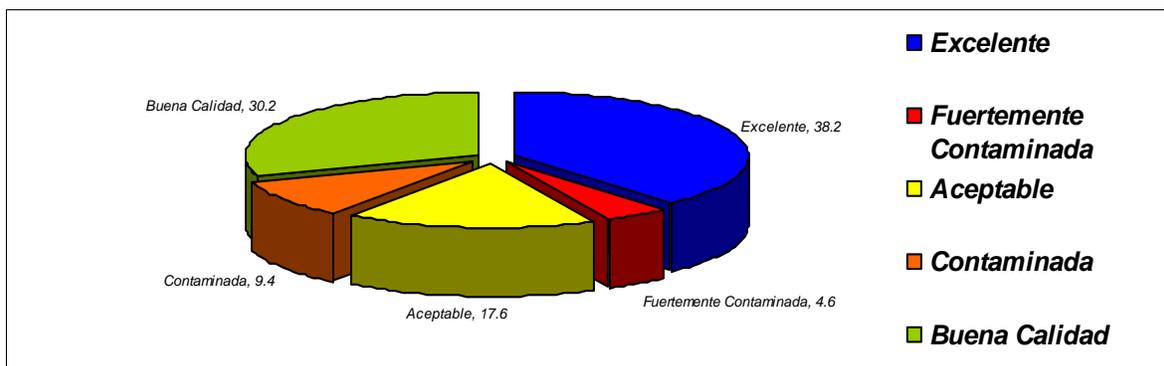
13 Sawyer, C.; McCarty, P. “Chemistry for Environmental Engineering”. McGraw Hill, New York, 1996

<b>Criterio (ml/lit)</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Calidad</b>
DBO <sub>5</sub> > 120	Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales.	<b>Fuertemente Contaminada</b>
<b>DQO</b>		
DQO <=10	No contaminada	<b>Excelente</b>
10 < DQO <= 20	Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable	<b>Buena Calidad</b>
20 < DQO <= 40	Con indicios de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de auto-depuración. Aguas residuales tratadas biológicamente.	<b>Aceptable</b>
40 < DQO <=200	Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal.	<b>Contaminada</b>
DQO > 200	Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales.	<b>Fuertemente Contaminada</b>
<b>SST</b>		
SST <= 25	No contaminada	<b>Excelente</b>
25 < SST <= 75	Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable	<b>Buena Calidad</b>
75 < SST <= 150	Con indicios de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de auto-depuración. Aguas residuales tratadas biológicamente.	<b>Aceptable</b>
150 < SST <=400	Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal.	<b>Contaminada</b>
DBO <sub>5</sub> > 400	Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales.	<b>Fuertemente Contaminada</b>

Fuente: Subdirección General Técnica, 2008.

En lo relacionado al indicador DBO<sub>5</sub>, la CONAGUA consideró 437 sitios de monitoreo para este indicador, entonces es posible señalar que es un muestreo significativo; y que las condiciones con respecto a este indicador es que 38.2% de las descargas residuales son de excelente calidad; 47.8% de las aguas residuales son aceptables o de buena calidad y 15.0% de las aguas residuales están fuerte o fuertemente contaminadas.

Figura 2.4 Porcentajes de contaminación de DBO<sub>5</sub> en cuerpos de agua en México.

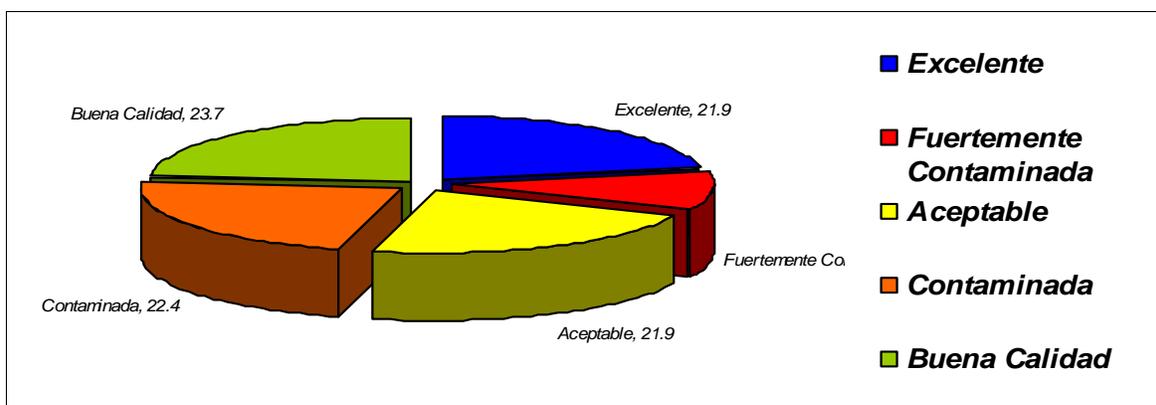


Fuente: Subdirección General Técnica, 2008.

De igual forma, es posible observar en la figura 2.5 que la contaminación más fuerte por DQO, se localiza en el centro del país donde se concentran mayores poblaciones.

En lo relacionado al indicador DQO, la CONAGUA consideró 397 sitios de monitoreo, las condiciones de este indicador son: 21.9% de las descargas residuales son de excelente calidad; 44.6% de las aguas residuales son aceptables o de buena calidad y 32.5% de las aguas residuales están fuerte o fuertemente contaminadas.

Figura 2.5 Porcentajes de contaminación de DQO en cuerpos de agua en México.



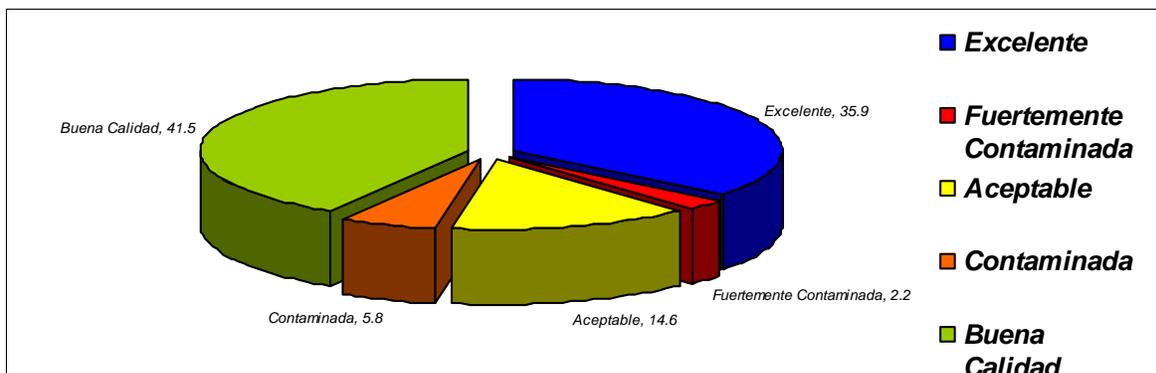
Fuente: CONAGUA, Subdirección General Técnica, 2008

Al igual que el indicador anterior, es posible observar en la figura 2.6 que la contaminación más fuerte por DQO, se localiza en la cuenca del Lerma-Chapala, en donde se concentran un alto número de empresas.

En lo referente al indicador SST, la CONAGUA consideró 501 sitios de monitoreo, las condiciones de este indicador son: 35.9% de las descargas residuales son de

excelente calidad; 56.1% de las aguas residuales son aceptables o de buena calidad y 8.0% de las aguas residuales están fuerte o fuertemente contaminadas.

Figura 2.6 Porcentajes de contaminación de SST en cuerpos de agua en México.

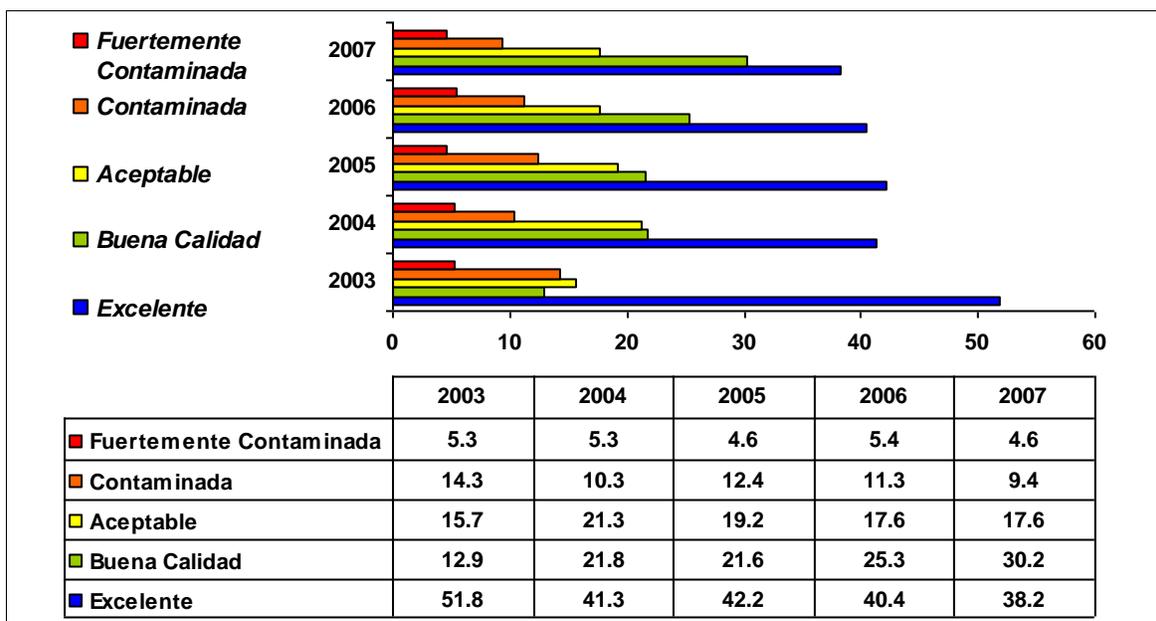


Fuente: CONAGUA, Subdirección General Técnica, 2008.

### 2.2.3 TENDENCIAS Y EFECTOS DE LA POLÍTICA PÚBLICA HÍDRICA

A continuación se presenta el comportamiento de los indicadores, desde el año 2003-2007. De esta forma será posible observar las tendencias y los efectos de la política pública hídrica en lo relacionado a descargas de agua residual.

Figura 2.7 Porcentaje histórico de DBO<sub>5</sub> en México (2003-2007).



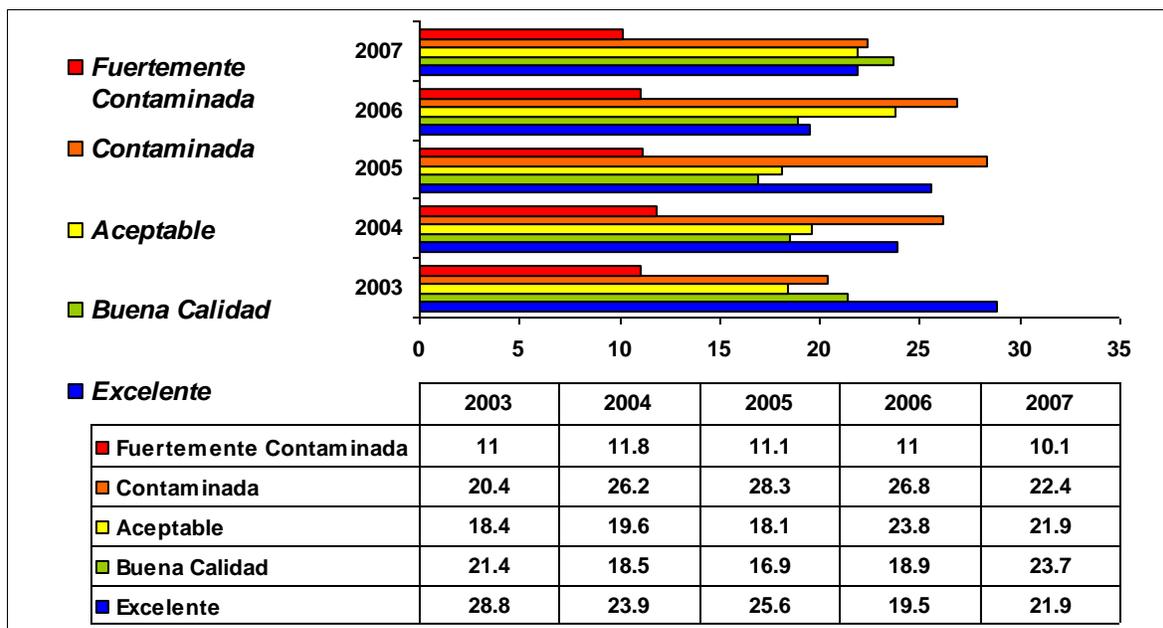
Fuente: CONAGUA, Subdirección General de Programación, 2008

En cuanto a la DBO<sub>5</sub>, se observa una caída porcentual en cuanto a las aguas de *excelente* calidad de hasta 13.6%, un incremento de 17.1% de las aguas de *buena* calidad, un incremento de 1.9% de las aguas de *aceptable* calidad, una caída de 4.9% de las aguas *contaminadas* y un decremento de 0.7% de las aguas *fuertemente contaminadas*. Y aunque es evidente el esfuerzo realizado por la CONAGUA para mejorar la calidad del agua, es importante resaltar que el decremento significativo fue en las aguas de *excelente* calidad.

En lo concerniente al indicador DQO histórico (2003-2007), se observa una caída porcentual en cuanto a las aguas de *excelente* calidad de hasta 6.9%, un incremento de 2.3% de las aguas de *buena* calidad, un incremento de 3.5% de las aguas de *aceptable* calidad, un incremento de 2.0% de las aguas *contaminadas* y un decremento de 0.9% de las aguas *fuertemente contaminadas*. Al igual que el caso anterior, aunque existe un gran esfuerzo por parte de CONAGUA en mejorar la calidad del agua, en este caso son más reducidos los porcentajes de recuperación de calidad de agua.

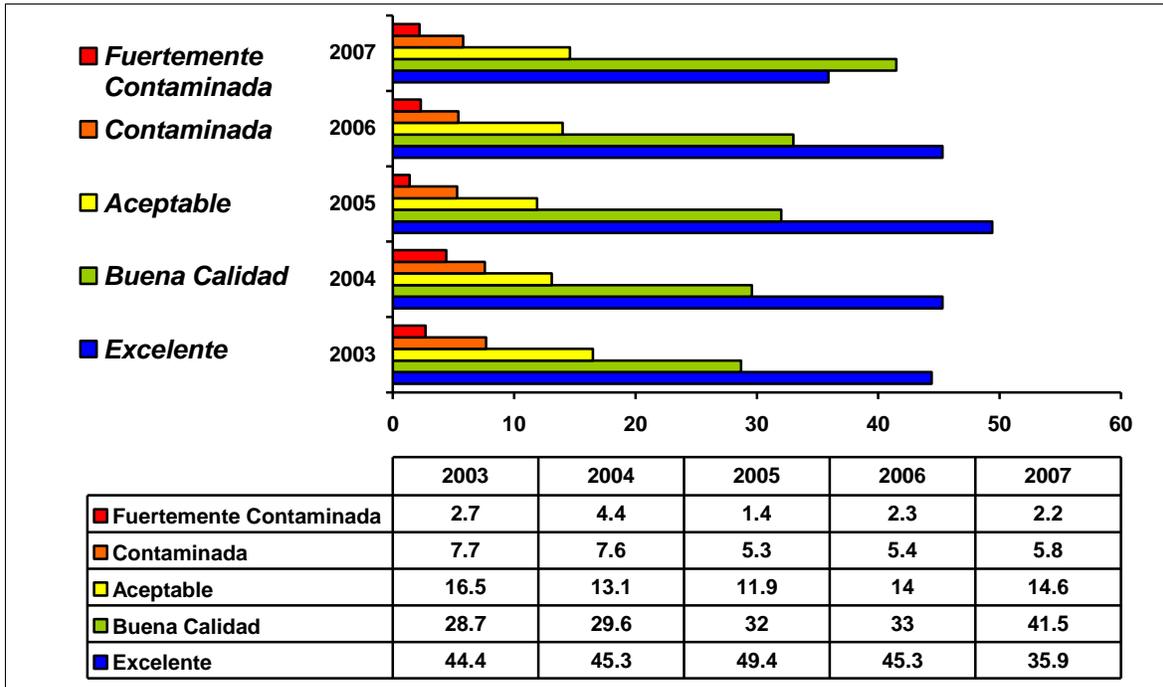
En cuanto a los SST histórico (2003-2007), se observa una caída porcentual en cuanto a las aguas de *excelente* calidad de hasta 8.3%, un incremento de 12.8% de las aguas de *buena* calidad, un decremento de 1.9% de las aguas de *aceptable* calidad, un decremento de 1.9% de las aguas *contaminadas* y un decremento de 0.5% de las aguas *fuertemente contaminadas*. En este caso, es muy evidente que la composición solo cambio de forma importante de las aguas de excelente (reducción) a las aguas de buena calidad.

Figura 2.8 Porcentaje histórico de DQO en México (2003-2007).



Fuente: CONAGUA, Subdirección General de Programación, 2008

Figura 2.9 Porcentaje histórico de SST en México (2003-2007).



Fuente: CONAGUA, Subdirección General de Programación, 2008

No existe duda alguna de los avances porcentuales existentes en lo relacionado a saneamiento, pero es necesario implementar un incentivo que ayude a dar cambios más significativos a estos indicadores.

## 2.3 CARACTERIZACIÓN DE LAS DESCARGAS DE AGUA RESIDUAL POR RAMA INDUSTRIAL

### 2.3.1 COSTOS DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES INDUSTRIALES

El sector industrial es el responsable de generar un volumen de 4,571 Mm<sup>3</sup> al año de agua residual<sup>14</sup>, con la ausencia de tratamiento las aguas negras por lo general son vertidas a los cuerpos de agua superficiales creando un riesgo obvio para la salud humana, la ecología y los animales. Ya que muchas corrientes son receptoras de descargas directas de residuos; los cuerpos de agua se han degradado a un nivel muchas veces irreversible, por lo tanto, es necesaria la infraestructura de plantas de tratamiento para el manejo de aguas residuales. Sin embargo, dichos esfuerzos requieren inversiones sustanciales de capital.

No existe duda de la relevancia económica de las industrias, pero estas representan problemas significativos de contaminación al ambiente. Algunas industrias, tales como: textil, papel y celulosa, química, farmacéutica, entre otras; generan grandes volúmenes de efluentes de naturaleza principalmente refractaria (no biodegradables). Además de que estos efluentes aumentan la cantidad de sustancias tóxicas lanzadas en los cuerpos de agua, afectando los ecosistemas acuáticos.<sup>15</sup> Algunos efluentes industriales son ricos en materia orgánica disuelta, de la cual una parte es de difícil degradación y permanece después del tratamiento por procesos biológicos. Por ejemplo, en industrias de celulosa los efluentes son altamente coloridos y contienen compuestos organoclorados derivados del proceso de blanqueamiento de la pasta celulósica.<sup>16</sup>

En función de este panorama, el vertido de efluentes industriales se ha convertido en un asunto significativo, debido principalmente a la insistencia de la industria de solo considerar la degradación biológica y por el efecto para las especies acuáticas de los elementos tóxicos vertidos.<sup>17</sup>

Con frecuencia, las plantas de tratamiento operadas por la industria se enfocan en vertidos correspondientes a la materia orgánica biodegradable medida como DBO<sub>5</sub>; sin embargo, los valores relativos al color resultan más difíciles de cumplir ya que los procesos biológicos generalmente no remueven elementos recalcitrantes y consiguen bajas reducciones de DQO y/o carbono orgánico disuelto (CO<sub>d</sub>). Incluso, en la mayoría de los casos, concentraciones altas de estos

---

14 Comisión Nacional de Agua (2006), Subdirección General de Programación. Gerencia de Estudios para el Desarrollo Hidráulico Integral.

15 D. Pokhrel, t. Viraraghavan. "Treatment of Pulp and Paper Mill Wastewater—A Review". Science of the Total Environment. Vol. 333. 2004. pp. 37-58.

16 E. Almeida, M. R. Assaline, M. A. Rosa. "Tratamento de Efluentes Industriais por Processos Oxidativos na presença de ozônio". Química Nova. Vol. 27. 2004. pp. 818-824.

17 D. V. Savant, R. L. Abdul-Rahman, D. R. Ranade. "Anaerobic Degradation of Adsorbable Organic Halides (AOX) from Pulp and Paper Industry Wastewater". Bioresource Technology. Vol. 97. 2006. pp. 1092-1104.

compuestos biorefractarios pueden ser tóxicos, con diversas consecuencias y efectos negativos a los ecosistemas acuáticos.<sup>18</sup>

La razón de esto tiene su origen en los costos, ya que muchas industrias optan por el tratamiento basado en procesos únicamente biológicos que permiten obtener eficiencias razonables en el tratamiento de sus efluentes realizando inversiones menores a las que se requerirían para un sistema avanzado de tratamiento.

Por esta razón, es necesario revisar los costos de tratamiento para cada una de las industrias, con el objetivo de efectuar el tratamiento adecuado a los efluentes, considerando sus costos y valores límites exigidos por la legislación.

La elaboración de los costos se realizó con el programa Computer Assisted Procedure for Design and Evaluation of Wastewater Treatment System (CAPDET).<sup>19</sup> Este programa es una herramienta para planificar el tratamiento de las aguas residuales y el costo que implica; contando con más de 60 procesos de tratamiento.

Una vez que se define el gasto afluente y su calidad, el programa calcula automáticamente una planta de diseño y los costos de construcción, operación y mantenimiento de las instalaciones. Por lo tanto, numerosas alternativas de tratamiento y sus costos se pueden desarrollar rápidamente.

El programa incluye costos tales como: mano de obra, amortización, el terreno, concreto, bombas, tuberías, electricidad, transporte, productos químicos, entre otros. El programa permite al usuario crear y aplicar su propio índice de costos.

Debido a la gran variedad de vertidos industriales es necesaria una investigación propia de cada tipo de industria y la aplicación de procesos de tratamiento específicos. En diversos países las estaciones de tratamiento de aguas residuales industriales se destinan a cumplir normas de vertido, que no se refieren únicamente a la de DBO<sub>5</sub>, a la DQO y a los contenidos de materiales en suspensión, sino también, a un cierto número de compuestos minerales y orgánicos. Por otra parte, estas normas se definen, en varios países, según las diversas ramas profesionales.

Para definir un sistema de tratamiento es necesario basarse principalmente en:

1. El conocimiento de los diversos contaminantes;
2. La caracterización de los efluentes;
3. La organización de los desagües y la separación de los efluentes;
4. La elección entre los diversos métodos de depuración fisicoquímica y/o biológica.
5. La tasa de interés para la obtención de financiamiento.

---

18 C. B. C. Raj, H. L. Quen. Advanced Oxidation Process for Wastewater Treatment: Optimization of UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> process through statistical technique". *Chemical Engineering Science*. Vol. 60. 2005. pp. 5305-5311.

19 Desarrollado por la EPA y el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los EU (U.S. Corps of Engineers)

Sobre este último punto, cabe señalar que se revisaron tres agencias internacionales en financiamiento de proyectos hidráulicos, para la obtención de fondos para la construcción de plantas de tratamiento. Debe señalarse que solo se consideró el costo financiero que representa el pago de capital e intereses fijos. Dejando al margen otras *comisiones* y las tasas de interés variables. Para efectos del estudio se consideró la tasa más baja.

*Tabla 2.2 Tasa promedio de financiamiento de agencias internacionales para proyectos hidráulicos.*

	<b>FMI (%)</b>	<b>BM (%)</b>	<b>BID (%)</b>
Tasa Promedio	5.30	6.57	7.69

Fuente: Informe sobre cálculo de costos financieros del endeudamiento con los organismos multilaterales, año 2006.

FMI: Fondo Monetario Internacional.

BM: Banco Mundial

BID: Banco Interamericano de Desarrollo

### 2.3.2 CRITERIOS DE DISEÑO

De acuerdo al manual realizado por la Environment Protection Agency (EPA)<sup>20</sup>, para el diseño de cualquier planta de tratamiento de aguas residuales, el primer paso es determinar las características anticipadas del agua residual y los requerimientos para el efluente del sistema propuesto. Los parámetros del afluente incluyen típicamente el caudal de diseño, el caudal diario máximo, la DBO<sub>5</sub>, los SST, el pH, la alcalinidad, el nitrógeno total Kjeldahl (NTK), el nitrógeno amoniacal (NH<sub>3</sub>-N) y el fósforo total. Aunque, pueden requerirse también otros parámetros para aguas residuales industriales.

Una vez que se determinan las características del efluente, deben considerarse las recomendaciones de diseño (tamaño, tecnología, entre otros). Con base en estos parámetros y otros específicos para el sitio de tratamiento, tales como la temperatura, se seleccionan los parámetros clave de diseño del sistema.<sup>21</sup>

### 2.3.3 ZONA DE ESTUDIO Y DATOS

Para efectos de este estudio se consideraron las descargas del parque industrial Resurrección de Puebla, Pué. Que vierten con dirección a la barranca de Tlaloxtoco. De acuerdo a datos del Gobierno Estatal de Puebla<sup>22</sup> el parque industrial es de propiedad privada y cuenta con una superficie total de 36 hectáreas, carece de planta de tratamiento y se localiza a 1 Km. de zonas

<sup>20</sup> www.epa.gov

<sup>21</sup> Fuente: AquaSBR Design Manual, 1995.

<sup>22</sup> www.puebla.gob.mx

habitacionales. Se encuentran 23 empresas establecidas de diversos rubros tales como: textil, mecánico, plásticos, químicos, autopartes, alimentos, entre otros. Y genera 4,020 empleos.<sup>23</sup>

El estudio considera 20 empresas del parque industrial,<sup>24</sup> que cuentan con permiso de descarga sobre un cuerpo receptor tipo "B"<sup>25</sup> y que en total vierten 428,519.60 m<sup>3</sup> anuales al arroyo Tlaloxtoc, afluente del río Alseseca.<sup>26</sup>

Figura 2.10 Localización del parque industrial resurrección.



## 2.3.4 INDUSTRIAS CONTAMINADORAS

### 2.3.4.1 CELULOSA Y PAPEL

La industria de la celulosa y papel en México genera considerables descargas de agua residual en cuanto a volumen y son altamente problemáticas para los cuerpos receptores naturales, a pesar de ello desafortunadamente no existen dispositivos de tratamiento instalados necesarios para acondicionar la calidad del agua de desecho antes de su disposición final en la medida que se requiere. Esta industria consume el 8.2% del total de agua que utiliza el sector industrial siendo en su mayoría aguas subterráneas<sup>27</sup>.

23 [http://www.lomelin.com.mx/bases/artreplot.nsf/0/7ee97c5622621c248625672f00021276?OpenDocument&ExpandSection=7.4%2C7.3%2C7.2.3%2C7.2.2%2C7.2.1%2C7.1%2C11.4#\\_Section7.4](http://www.lomelin.com.mx/bases/artreplot.nsf/0/7ee97c5622621c248625672f00021276?OpenDocument&ExpandSection=7.4%2C7.3%2C7.2.3%2C7.2.2%2C7.2.1%2C7.1%2C11.4#_Section7.4)

24 Véase Anexo 1

25 De acuerdo a la clasificación de los cuerpos de propiedad nacional, receptores de las descargas de aguas residuales según la Ley Federal de Derechos en materia de agua, artículo 278-A.

26 Dirección Local CONAGUA, 2007

27 J.A. Cortés, M.T. Alarcón, M. Villacaña. XV Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y ciencias Ambientales. "Tratamiento del agua residual en la industria de la celulosa" 2006.

Los volúmenes de agua residual generados por las plantas productoras de celulosa y papel ascienden en promedio hasta 90 m<sup>3</sup> por tonelada de producto, razón por la cual la industria de la celulosa y papel es considerada una de las más contaminantes debido al alto consumo y descarga de agua residual<sup>28</sup>.

El caudal de aguas residuales generadas por la industria de celulosa y papel asciende a 174.75 millones de metros cúbicos anuales, mismos que deberán recibir tratamiento para controlar y reducir la contaminación de los cuerpos receptores y evitar la excesiva degradación del medio ambiente.

En esta actividad industrial, los parámetros contaminantes que son objeto de mayor control en las descargas son la DBO, los SST y las grasas y aceites, en ese orden de importancia.

Los principales efectos de las descargas de aguas residuales de esta industria son:

- a) La fibra de celulosa y otras formas de materia orgánica presente en las descargas ocasionan un incremento en la DBO<sub>5</sub> de las aguas del cuerpo receptor, lo que puede ocasionar deficiencia de oxígeno disuelto, con sus consecuentes efectos adversos en la vida acuática y en la estética del mismo.
- b) Las descargas residuales de estas industrias se caracterizan con mucha frecuencia por un intenso color, lo que afecta por una parte la calidad estética de los cuerpos receptores e interfiere además con los procesos fotosintéticos de las aguas.
- c) El arrastre de materia inorgánica empleada en los procesos de fabricación de celulosa y acondicionamiento de papel dan como resultado un incremento en el contenido de sólidos inorgánicos de las aguas.

### **Tratamiento**

Los sistemas de colección de aguas residuales en las fábricas de celulosa y papel varían en función a los procesos básicos de producción empleados, pero la práctica más común es descargar los desechos a diferentes colectores de acuerdo a su localización; sin embargo es posible combinar los efluentes y conducirlos en un solo colector al sitio de tratamiento. Un efluente que generalmente es segregado es el que acarrea desechos ácidos de las secuencias de blanqueo.

No existe un proceso único que pueda remover eficientemente los contaminantes generados por la industria de celulosa y papel por lo que es necesaria una secuencia de tratamientos.

Para nuestro estudio consideraremos la siguiente secuencia:

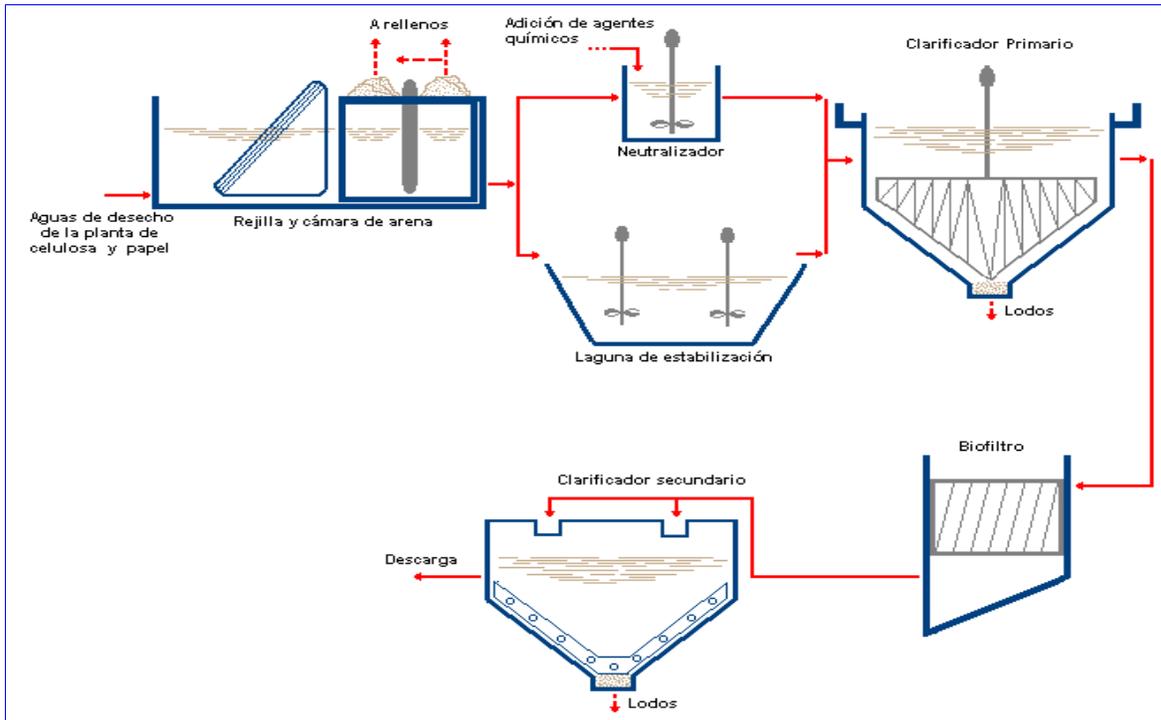
La secuencia consiste en la instalación de rejillas y cribas finas además de neutralización y uniformización de caudales en el pretratamiento; en el tratamiento primario se sugieren clarificadores primarios que contienen una eficiencia de

---

28 CONAGUA. Estadísticas del Agua en México. Edición 2006.

remoción de DBO de 10 a 40%, DQO de 10 a 30% y SST de 60 a 90%, por último se consideró el paso del efluente de los sedimentadores a biofiltros capaces de remover de 30 a 70% de la BDO y de 20 a 50% de la DQO, el efluente de los biofiltros pasará posteriormente a sedimentadores secundarios, donde se podrá remover del 70 al 90% de los SST.

Figura 2.11 Tren de tratamiento para la industria de celulosa y papel.



Fuente: Elaboración propia basada en entrevistas a especialistas en el tratamiento de aguas residuales, consultas de datos históricos a plantas de tratamiento de aguas residuales de la industria de celulosa y papel y consultas bibliográficas McDonald, Ronald M. "Pulp and Paper Manufacture" Vol. II, McGraw Gill, Edición 1990.

### Costos

Tomando en cuenta que las unidades para tratamiento son similares entre las industrias de celulosa y papel, es posible realizar una estimación de costos unificando los criterios para los diferentes tipos de industrias de este sector.

Tabla 2.3 Costos de tratamiento para la industria de celulosa y papel con un gasto de 101-250 l/seg.

Rubros	Millones de pesos
Inversión	516.83
Mantenimiento	16.97
Operación	6.41
Material	5.88
Energía	13.90

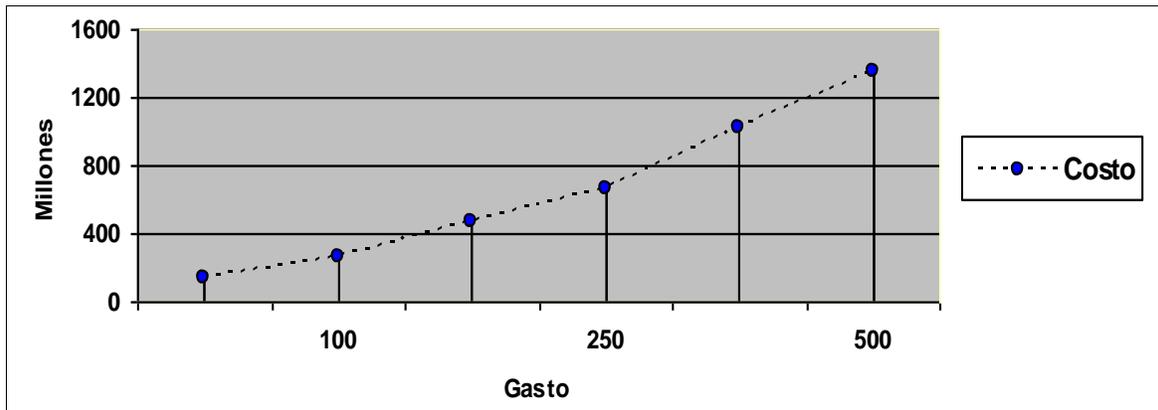
Rubros	Millones de pesos
Otros	59.33
Amortización	48.843
Total	668.17
<b>Pesos por m<sup>3</sup></b>	<b>3.39</b>

Fuente: Diseño y desarrollo de propuestas de instrumentos económicos, financieros, legislativos y de planeación de políticas públicas para apoyo al sector hídrico. Eduardo F. Donath, Héctor D. Camacho, Gustavo A. Ortiz. IMTA 2008. Informe Final.

La suposición de unificar criterios no está fuera de lo normal si tomamos en cuenta lo siguiente:

- Las características de las aguas residuales si bien no son idénticas, son lo suficientemente parecidas.
- El sistema de tratamiento puede considerarse adaptable a las restricciones que estas industrias pudieran presentar.
- El contaminante principal de este tipo de desechos que puede encontrarse en altas concentraciones se remueve considerablemente con los sistemas propuestos.

Figura 2.12 Curva de costo total con distintos gastos en la industria de celulosa y papel.



Fuente: Diseño y desarrollo de propuestas de instrumentos económicos, financieros, legislativos y de planeación de políticas públicas para apoyo al sector hídrico. Eduardo F. Donath, Héctor D. Camacho, Gustavo A. Ortiz. IMTA 2008. Informe Final.

### 2.3.4.2 SIDERÚRGICA

La industria siderúrgica consume aproximadamente el 2.5% del total de agua que utiliza el sector industrial y genera un volumen de agua residual aproximado de 11 m<sup>3</sup> por tonelada de producto producido<sup>29</sup>. Las aguas residuales de esta industria son generalmente bajas en concentración orgánica debido al uso limitado de este

29 Ávila Sánchez Marcos Alejandro, Moreno Álvarez José Roberto, Villafuerte Villegas Luis Eduardo, Zepeda Basurto Mario Enrique y Prof. Fernando Sancén Contreras "Uso y reuso del agua en la ciudad de México, una solución al abasto". México, 2005.

tipo de materiales. La concentración de estos compuestos orgánicos es generalmente menos de 1 mg/lit, sin embargo las descargas de los procesos productivos de este sector industrial acarrearán una gran cantidad de sólidos en suspensión que junto con la temperatura afectan la calidad de las aguas de los cuerpos receptores. La naturaleza de los combustibles utilizados en la fabricación de hierro y acero, provocan la generación de otro tipo de contaminantes que a pesar de encontrarse en cantidades pequeñas son altamente perjudiciales al medio ambiente, como son; amoníaco, cianuros y fenoles. La concentración de estos contaminantes varía en función de las características del combustible empleado.

Las descargas anuales provenientes de la industria siderúrgica comprenden más de 185 millones de metros cúbicos y en éstas pueden encontrarse una gran cantidad de contaminantes tales como antimonio, arsénico, cadmio, cromo, cobre, hierro, níquel, plata, zinc, entre otros.

### **Tratamiento**

La industria genera una amplia variedad de aguas residuales; la concentración de los contaminantes y sus cargas de desechos difieren significativamente creando problemas en la selección del tipo de tecnología de tratamiento a usarse.

La unidad básica de tratamiento para los desechos de la industria siderúrgica es un tanque espesador o tanque clarificador, dado el carácter inorgánico de la materia que arrastra en suspensión el efluente de los procesos de producción. Un pretratamiento básico para este tipo de desechos estaría formado por una rejilla, simplemente para remoción de material flotante que ocasionalmente pudiera llegar a contaminar el agua; un desarenador resultaría en estas condiciones una estructura de más si se toma en cuenta que la alta densidad de las partículas que arrastra el agua originaría una sedimentación excesiva en el desarenador siendo que el objetivo principal del equipo que más adelante se instala es la remoción de esta materia sólida<sup>30</sup>.

La condición que se tiene de manejo de efluentes con alta temperatura, obliga a la instalación de torres de enfriamiento. El tratamiento primario que aquí se recomienda, constituido básicamente por espesadores, filtros de lodo y torres de enfriamiento tiene como objetivo primordial ajustar las características de descarga a la Norma Oficial Mexicana, en ocasiones puede ser necesaria la adición de unidades de neutralización para efectuar ajustes de pH.

Dada la naturaleza inorgánica de la materia prima y no existiendo fuentes de desecho que contengan altas concentraciones de materia orgánica, el tratamiento se reduce a la remoción físico-química.

Para tratar los desechos de la industria siderúrgica es necesario un tanque espesador o tanque clarificador, dado el carácter inorgánico de la materia que

---

30 Seóanez M., "Depuración de las aguas residuales, con tecnologías de bajo costo". Ediciones Mundi-Prensa.

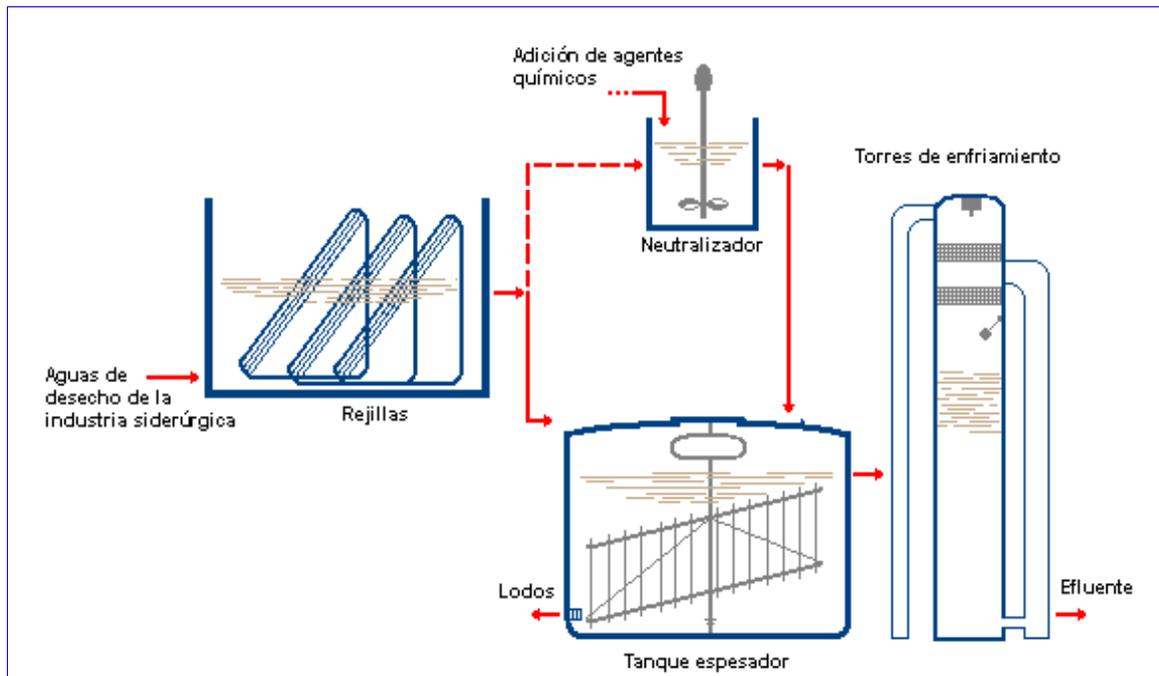
arrastra en suspensión el efluente. Un pretratamiento básico para este tipo de desechos estaría formado por una rejilla simplemente para la remoción de materia flotante que ocasionalmente pudiera contener el agua.

Debido a la alta densidad que arrastra el efluente no es conveniente la instalación de un desarenador ya que generaría una sedimentación excesiva. Dado el manejo de altas temperaturas, es indispensable la utilización de torres de enfriamiento inmediatamente después de los espesadores.

El tratamiento primario estaría constituido básicamente por espesadores, filtros de lodos y torres de enfriamiento, sin embargo en ocasiones puede ser necesaria la adición de unidades de neutralización para efectuar ajustes de pH.

La presencia de parámetros tales como amoníaco, cianuros y fenoles requiere del estudio de un método de tratamiento químico que logre la remoción parcial de ellos ya que en altas concentraciones son perjudiciales para la vida acuática de los cuerpos receptores. La aireación que sufre el agua durante su paso por las torres de enfriamiento reduce de forma inmediata la concentración de algunos de estos parámetros.

Figura 2.13 Tren de tratamiento para la industria Siderúrgica.



Fuente: Elaboración propia basada en entrevistas a especialistas en el tratamiento de aguas residuales, consultas de datos históricos a plantas de tratamiento de aguas residuales de la industria siderúrgica y consultas bibliográficas. Wang, Lawrence K., Shamas Nazih, K., Hung, Yung-tse. "Waste Treatment In The Metal Manufacturing, Forming, Coating, And Finishing Industries" 2008.

## Costos

Dado que las industrias siderúrgicas utilizan procesos de producción similares, y en consecuencia hemos establecido un proceso de tratamiento que ayudaría a cumplir los requerimientos de la norma, es posible realizar una estimación de costos, tomando en cuenta que:

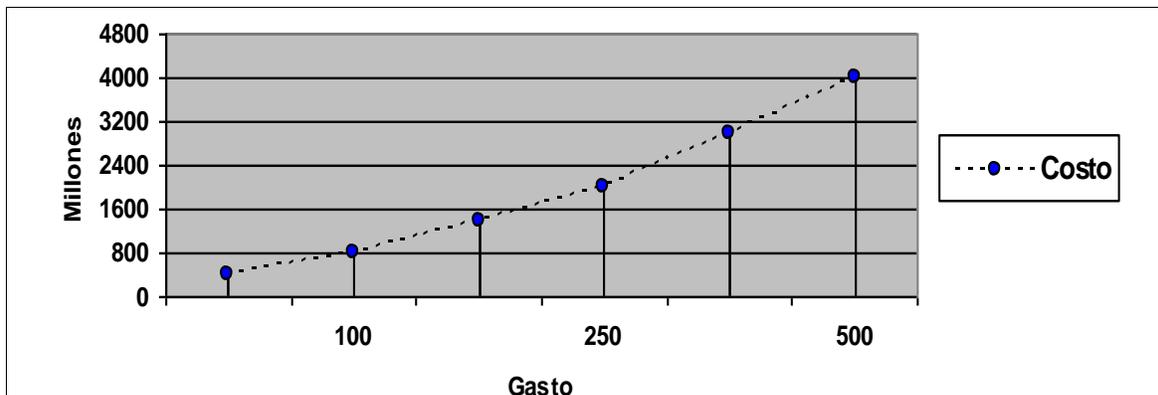
- d) Las características de las aguas residuales si bien no son idénticas, son lo suficientemente parecidas.
- e) El sistema de tratamiento puede considerarse adaptable a las restricciones que las industrias siderúrgicas pudieran presentar.
- f) El contaminante principal de este tipo de desechos que puede encontrarse en altas concentraciones se remueve considerablemente con el sistema propuesto.

Tabla 2.4 Costos de tratamiento para la industria siderúrgica con un gasto de 101-250 l/seg.

Rubros	Millones de pesos
Inversión	1,548.49
Mantenimiento	58.21
Operación	34.77
Material	23.05
Energía	45.70
Otros	131.33
Amortización	145.23
Total	1,986.77
<b>Pesos por m<sup>3</sup></b>	<b>10.08</b>

Fuente: Diseño y desarrollo de propuestas de instrumentos económicos, financieros, legislativos y de planeación de políticas públicas para apoyo al sector hídrico. Eduardo F. Donath, Héctor D. Camacho, Gustavo A. Ortiz. IMTA 2008. Informe Final.

Figura 2.14 Curva de costo total con distintos gastos en la industria siderúrgica.



Fuente: Diseño y desarrollo de propuestas de instrumentos económicos, financieros, legislativos y de planeación de políticas públicas para apoyo al sector hídrico. Eduardo F. Donath, Héctor D. Camacho, Gustavo A. Ortiz. IMTA 2008. Informe Final.

### **2.3.4.3 TEXTIL**

La industria textil consume cerca del 2.6% del total del agua que utiliza la industria, de este consumo el 60% proviene de pozos, el 20% de manantiales y ríos y el 20% de redes municipales.

La industria textil volúmenes de agua residual de hasta 60 millones de metros cúbicos anuales con elevada concentración de contaminantes de los cuales, los colorantes, la materia orgánica, la elevada temperatura y el pH son los más significativos. De éstos, los colorantes son los que más resistencia presentan a la biodegradación, además de que muchos de ellos tienen efectos negativos a los procesos de tratamiento biológico.

Estas aguas cuando son descargadas sin tratamiento a las corrientes receptoras crean un gran problema ya que limitan la capacidad del proceso natural de autodepuración, afectando el equilibrio ecológico de la corriente y modificando su entorno ambiental.

El proceso de fabricación de diferentes productos textiles a partir de lana y algodón es una fuente importante de contaminación ya que genera descargas de agua residual con elevado contenido de colorantes, origina vapores y utiliza agua en sus procesos de enfriamiento, además de una gran variedad de sustancias químicas; lo que ocasiona que el tratamiento del agua de desecho sea complejo debido a la presencia de residuos de productos químicos.<sup>31</sup>

Las industrias más representativas de esta rama son las que procesan telas a base de algodón y las plantas que procesan telas a base de lana, en éstas se tienen grandes usos de agua, grandes descargas y gran variedad de contaminantes. Una planta pequeña de acabado en textiles de algodón produce hasta 30,000 metros cuadrados de tela por día y consume aproximadamente 12 litros por metro cuadrado de tela. Una planta pequeña de acabado en textiles de lana tiene capacidad de producir hasta 10,000 metros cuadrados de tela y consume alrededor de 40 litros por metro cuadrado de tela.

Entre los principales contaminantes orgánicos, se incluyen colorantes o pigmentos de varias clases, almidones, detergentes, resinas, ácidos entre otros. Los inorgánicos incluyen sales de sodio, ácido sulfúrico, y algunos metales, entre muchos otros que se emplean durante el procesamiento de fibras de lana o algodón.

Otra fuente de contaminación de la industria textil es la descarga de aguas de enfriamiento donde la temperatura del agua residual además de incrementar el consumo de oxígeno disuelto, provoca la mortandad de toda forma de vida.

---

31 Fuente: Hart, Groves, Bucley & Southworth. "A Guide for the planning design and implementation of wastewater treatment plants in the textile industry", 1995

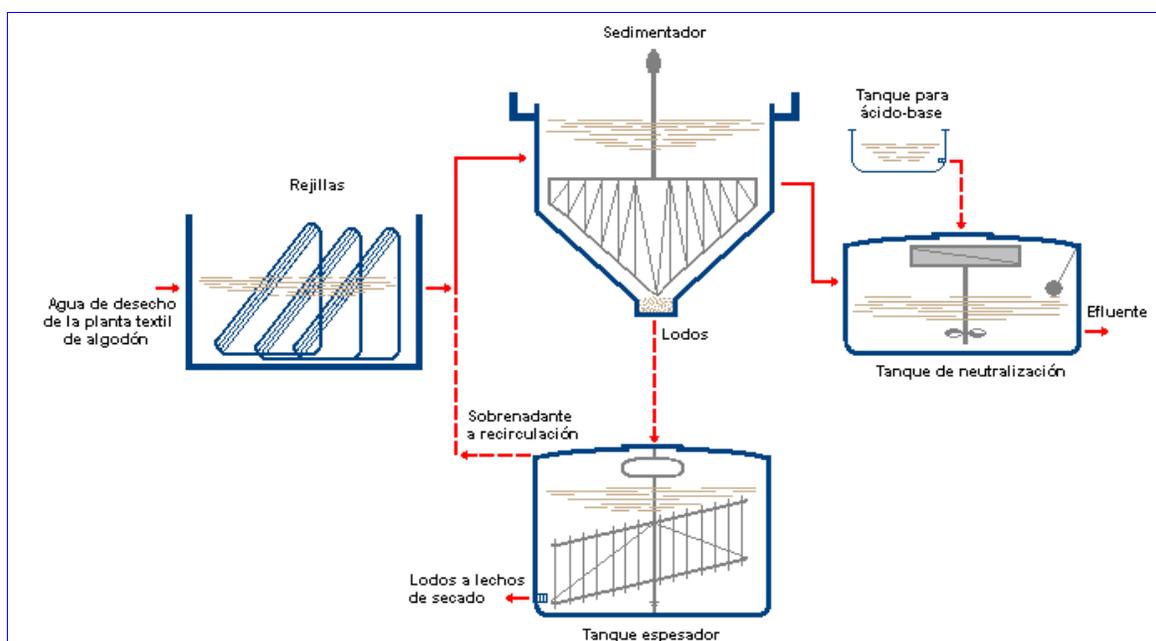
## Tratamiento

Es factible llevar a cabo el tratamiento del agua residual de la industria textil mediante un proceso biológico, empleando un reactor anaerobio, ya que se alcanzan eficiencias de remoción en DQO del orden de 61 y 60% y en un 40 a 55% la disminución del color.<sup>32</sup>

Los efluentes textiles no son fácilmente biodegradables debido a que los colorantes que contienen fueron creados precisamente para resistir la degradación, pero los sistemas de tratamiento que aplicaremos para nuestro estudio es posible alcanzar eficiencias de tratamiento que ayuden a cumplir con límites máximos permisibles por la norma oficial mexicana.

El sistema empleado para la remoción de contaminantes de una planta de acabado en textiles de algodón inicia con una separación de corrientes y el proceso básico está formado por sedimentación y neutralización.

Figura 2.15 Tren de tratamiento para la industria textil con acabados de algodón.

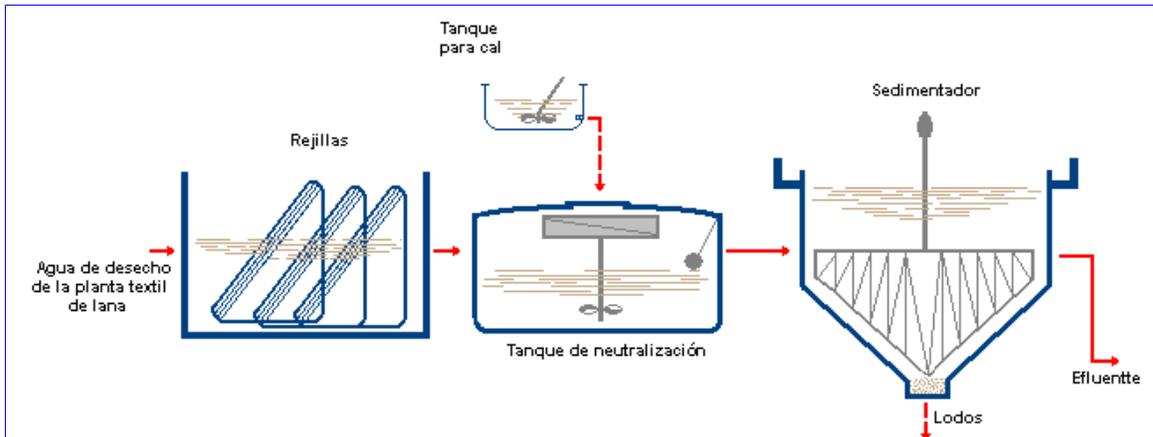


Fuente: Elaboración propia basada en entrevistas a especialistas en el tratamiento de aguas residuales, consultas de datos históricos a plantas de tratamiento de aguas residuales de la industria textil y consultas bibliográficas. Manual de ICAYS, "The treatment of effluents generated by textile industry", 1997

Para el caso de plantas de acabado en textiles de lana, teniendo el mismo objetivo de cumplir con los límites máximos permisibles por la norma oficial mexicana, el proceso básico consiste en un tanque de neutralización y un sedimentador primario.

32 Manual de ICAYS, "The treatment of effluents generated by textile industry", 1997

Figura 2.16 Tren de tratamiento para la industria textil con acabados de lana.



Fuente: Elaboración propia basada en entrevistas a especialistas en el tratamiento de aguas residuales, consultas de datos históricos a plantas de tratamiento de aguas residuales de la industria textil y consultas bibliográficas. Manual de ICAYS, "The treatment of effluents generated by textile industry", 1997

### Costos

Con base en el análisis de las descargas de varias industrias textiles de lana y algodón del país así como de sus posibles sistemas de tratamiento, es posible determinar costos de tratamiento tomando en consideración los siguientes criterios:

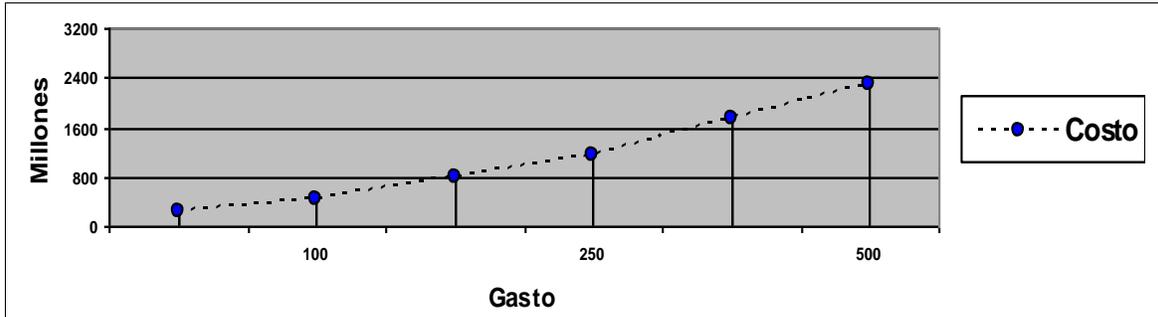
- Las características de las aguas residuales si bien no son idénticas, son lo suficientemente parecidas para cada grupo de industrias textiles de lana y algodón.
- El sistema de tratamiento puede considerarse adaptable a las restricciones particulares que estas industrias pudieran presentar.
- El contaminante principal de este tipo de desechos que puede encontrarse en altas concentraciones se remueve considerablemente con los sistemas propuestos.

Tabla 2.5 Costos de tratamiento para la industria textil con acabados de algodón con un gasto de 101-250 l/seg.

Rubros	Millones de pesos
Inversión	852.54
Mantenimiento	21.80
Operación	8.83
Material	12.39
Energía	18.24
Otros	149.47
Amortización	83.85
Total	1,147.12
<b>Pesos por m<sup>3</sup></b>	<b>5.82</b>

Fuente: Diseño y desarrollo de propuestas de instrumentos económicos, financieros, legislativos y de planeación de políticas públicas para apoyo al sector hídrico. Eduardo F. Donath, Héctor D. Camacho, Gustavo A. Ortiz. IMTA 2008. Informe Final.

Figura 2.17 Curva de costo total con distintos gastos en la industria textil de algodón.



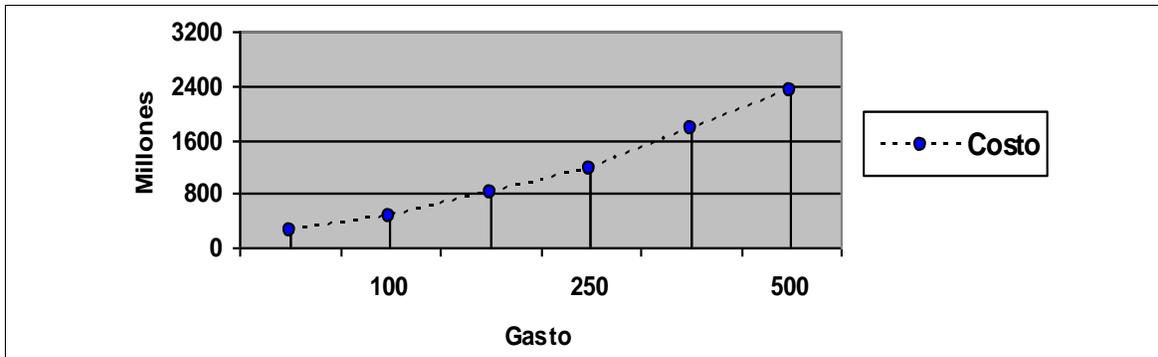
Fuente: Diseño y desarrollo de propuestas de instrumentos económicos, financieros, legislativos y de planeación de políticas públicas para apoyo al sector hídrico. Eduardo F. Donath, Héctor D. Camacho, Gustavo A. Ortiz. IMTA 2008. Informe Final.

Tabla 2.6 Costos de tratamiento para la industria textil con acabados de lana con un gasto de 101-250 l/seg.

Rubros	Millones de pesos
Inversión	833.14
Mantenimiento	23.02
Operación	14.69
Material	12.84
Energía	18.51
Otros	170.19
Amortización	84.58
Total	1,156.98
<b>Pesos por m<sup>3</sup></b>	<b>5.87</b>

Fuente: Diseño y desarrollo de propuestas de instrumentos económicos, financieros, legislativos y de planeación de políticas públicas para apoyo al sector hídrico. Eduardo F. Donath, Héctor D. Camacho, Gustavo A. Ortiz. IMTA 2008. Informe Final.

Figura 2.18 Curva de costo total con distintos gastos en la industria textil de lana.



Fuente: Diseño y desarrollo de propuestas de instrumentos económicos, financieros, legislativos y de planeación de políticas públicas para apoyo al sector hídrico. Eduardo F. Donath, Héctor D. Camacho, Gustavo A. Ortiz. IMTA 2008. Informe Final.

#### 2.3.4.4 AZUCARERA

La cantidad de desechos líquidos de la industria azucarera y sus características varían ampliamente dependiendo de las condiciones locales y los métodos de operación. El agua utilizada en el lavado de la caña constituye una de las mayores fuentes de contaminación en un ingenio ya que contiene concentraciones altas de SST, en el resto de los procesos existe un gran cantidad de arrastre de azúcar, DBO, agentes decolorantes y compuestos químicos usados para la limpieza de equipo.

Los efluentes de la mayor parte de los ingenios del país están comprendidos entre 200 y 300 litros por segundo. El volumen de extracción anual de la industria azucarera asciende a 35.2%.

##### **Tratamiento**

Los desechos líquidos de los ingenios azucareros se caracterizan por el alto contenido de materia orgánica que es arrastrada durante el proceso de fabricación, reflejándose éste en altas concentraciones de DBO<sub>5</sub>.

Las características de biodegradabilidad de las descargas de los ingenios azucareros en México y la disposición de amplias extensiones de terreno en la mayoría de ellos, son factores influyentes para la selección del método de tratamiento, siendo los siguientes los más comunes.<sup>33</sup>

1. Lagunas de estabilización
2. Lagunas aereadas mecánicamente
3. Lodos activados

El primer método incluye las siguientes unidades de tratamiento: rejilla y dispositivos para extracción de arenas, aforador Parshall y lagunas de estabilización de dos pasos, además de ser necesario el secado de lodos y relleno sanitario o uso fertilizante.

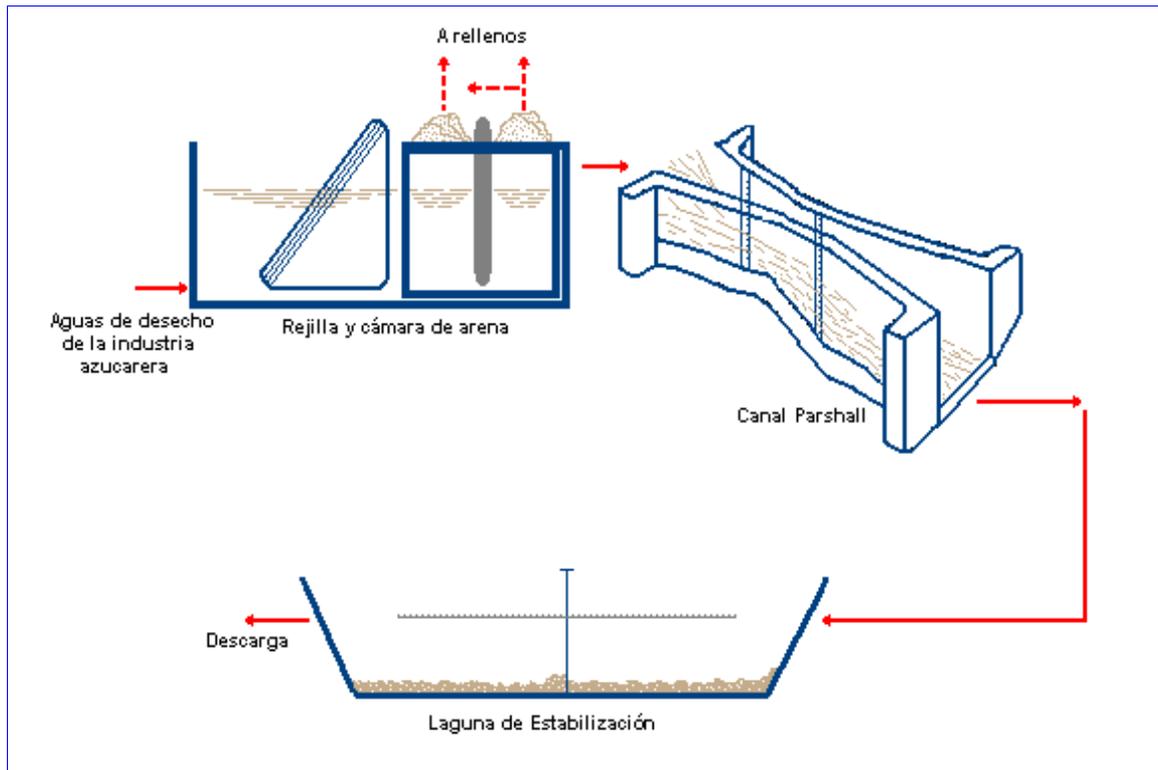
En el segundo método de tratamiento se eliminan las lagunas de estabilización para dar lugar a lagunas aereadas mecánicamente y sedimentación secundaria. Por último, en el tercer método se sustituye la laguna aereada y la laguna de sedimentación por un tanque de sedimentación.

Para este caso de estudio se eligió el primer método de tratamiento debido a que es el más utilizado por las industrias azucareras en México ya que se han observado mejores resultados en cuanto a tratamiento y costos.

---

33 Obaya, M.C; Valdés, E; Ramos, J. “Uso de las aguas residuales de la industria azucarera y derivados en Cuba”, Cuba, 1995

Figura 2.19 Tren de tratamiento para la industria azucarera.



Fuente: Elaboración propia basada en entrevistas a especialistas en el tratamiento de aguas residuales, consultas de datos históricos a plantas de tratamiento de aguas residuales de la industria azucarera y consultas bibliográficas. Seoáñez, Mariano. Manual de tratamiento, reciclado, aprovechamiento y gestión de las aguas residuales de las industrias agro-alimentarias.

### Costos

Resulta difícil determinar costos para el control de la contaminación ejercida por los ingenios azucareros del país ya que existen problema de adecuación a sistemas de tratamiento específicos dado que cada ingenio en particular tiene condiciones especiales. Los sistemas de tratamiento antes definidos se consideran adaptables a las características del agua residual generada por un ingenio azucarero y los módulos diseñados tienen como finalidad la obtención de costos globales de tratamiento sin pretender que sean una solución específica para algún ingenio en particular.

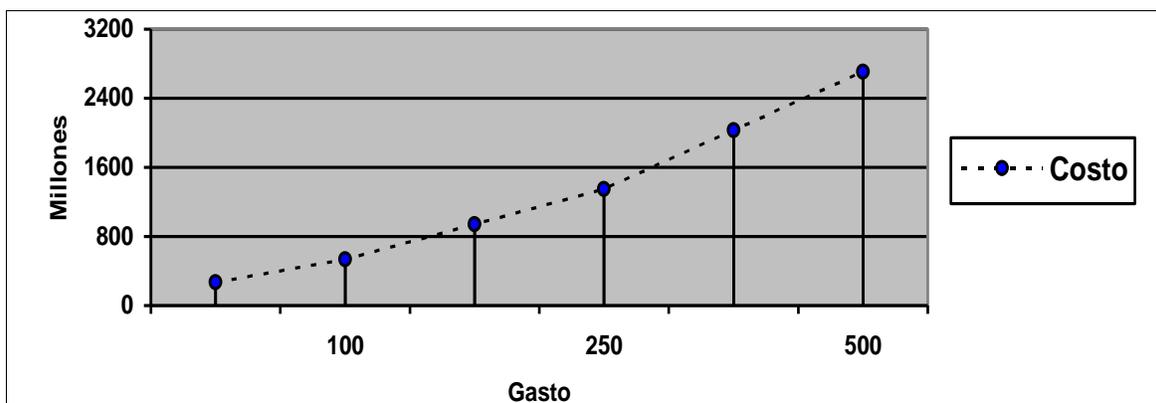
Tabla 2.7 Costos de tratamiento para la industria azucarera con un gasto de 101-250 l/seg.

Rubros	Millones de pesos
Inversión	1026.36
Mantenimiento	17.26
Operación	13.08
Material	13.62

Rubros	Millones de pesos
Energía	24.40
Otros	154.90
Amortización	98.55
Total	1348.16
<b>Pesos por m<sup>3</sup></b>	<b>6.84</b>

Fuente: Diseño y desarrollo de propuestas de instrumentos económicos, financieros, legislativos y de planeación de políticas públicas para apoyo al sector hídrico. Eduardo F. Donath, Héctor D. Camacho, Gustavo A. Ortiz. IMTA 2008. Informe Final.

Figura 2.20 Curva de costo total con distintos gastos en la industria azucarera.



Fuente: Diseño y desarrollo de propuestas de instrumentos económicos, financieros, legislativos y de planeación de políticas públicas para apoyo al sector hídrico. Eduardo F. Donath, Héctor D. Camacho, Gustavo A. Ortiz. IMTA 2008. Informe Final.

### 2.3.4.5 QUÍMICA

La industria Química es de las que utilizan mayores cantidades de agua para sus procesos, el porcentaje de extracción anual asciende al 21.7% y sus descargas corresponden al 10.3%. Las descargas de agua residual de la industria química juegan un papel muy importante en cuanto a problemas de contaminación por su alto potencial de toxicidad.<sup>34</sup>

#### Tratamiento

Para un mejor control de la contaminación provocada por el efluente de la industria química, lo primero es buscar la minimización del volumen total a tratar, para lo cual se debe tomar en cuenta lo siguiente:

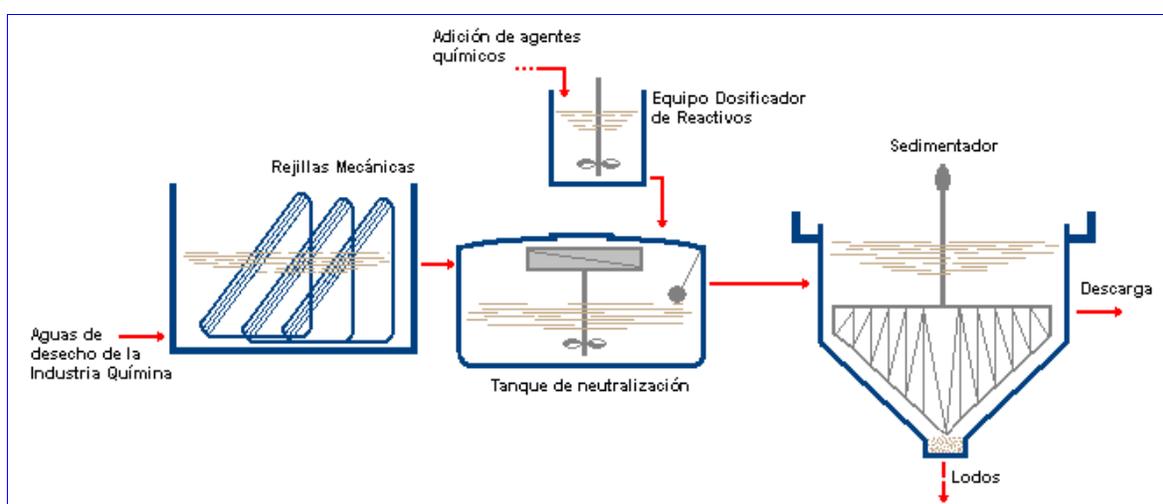
1. Es importante segregar efluentes de cada proceso; el agua de enfriamiento debe descargarse separadamente ya que solamente arrastra pequeños volúmenes de contaminantes

34 R. Corbitt, "Estandar Handbook of Environmental Engineering", MacGraw-Hill, 1989

2. Si existen problemas graves de contaminación del agua en la industria química, es recomendable evaluar un cambio en las materias primas empleadas.
3. Un análisis detallado del proceso de producción de la planta puede revelar qué producto o proceso es responsable de la generación de altos contaminantes.

Dada la diferencia existente entre las descargas de las industrias químicas, dividiremos en cuatro las alternativas de tratamiento dependiendo de las características de las descargas.<sup>35</sup>

Figura 2.21 Tren de tratamiento para la industria química (ácidos, bases y sales).



Fuente: Elaboración propia basada en entrevistas a especialistas en el tratamiento de aguas residuales, consultas de datos históricos a plantas de tratamiento de aguas residuales de la industria Química y consultas bibliográficas. R. Corbitt, "Estandar Handbook of Environmental Engineering", R. Corbitt, "Estandar Handbook of Environmental Engineering"

Para las industrias de elaboración de ácidos, bases y sales, esta rama también es conocida como productos químicos inorgánicos básicos o pesados y requiere de las siguientes operaciones unitarias:

- a) Rejillas o cribas mecánicas con unidades de medición, ya que en las descargas existe gran cantidad de materia flotante.
- b) Tanques de neutralización y equipo dosificador de reactivos, ya que las descargas exceden los límites estipulados de pH.
- c) Sedimentador y equipo de purga y bombeo de lodos.

Para las industrias que producen plaguicidas, resinas y hule sintético se requiere de las siguientes operaciones unitarias para disminuir las concentraciones de contaminantes de sus descargas:

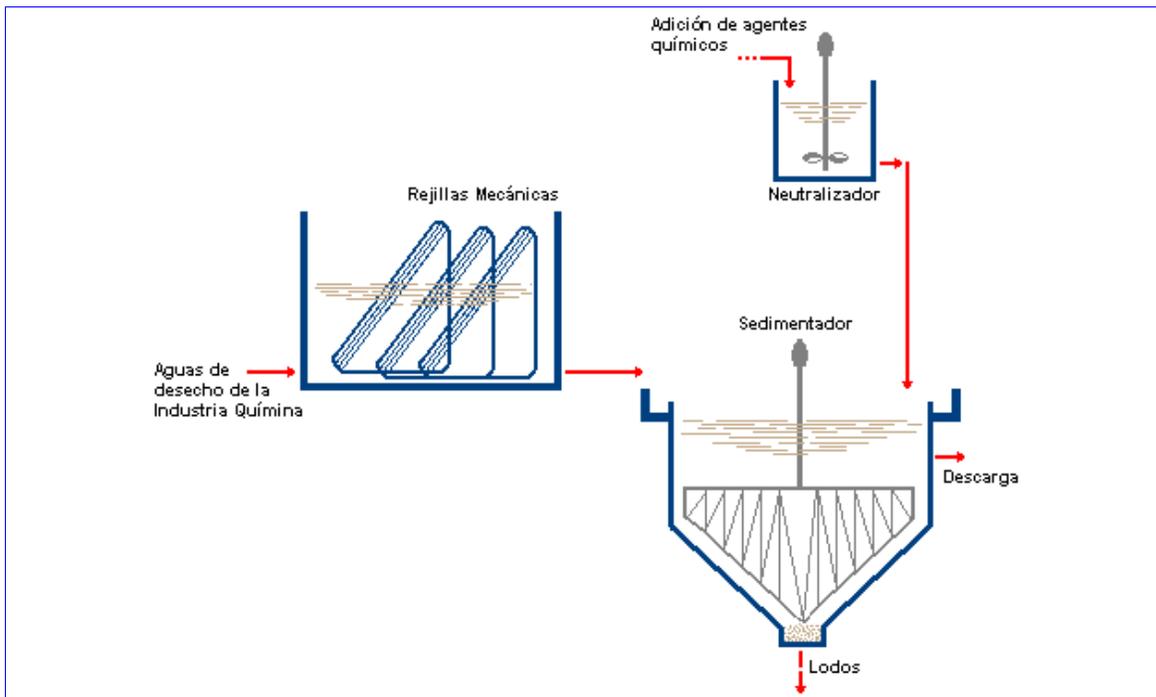
- a) Rejillas o cribas mecánicas con unidades de medición, ya que las descargas contienen materia flotante.

35 Seóñez M., "Depuración de las aguas residuales, con tecnologías de bajo costo". Ediciones Mundi-Prensa.

- b) Sedimentador y equipo de purga y bombeo de lodos, dado que existen sólidos sedimentables. Es necesaria la adición de agentes químicos para neutralización de los contaminantes.

La industria química genera contaminantes de una gran diversidad tanto en concentraciones como en toxicidad, por lo que la implementación de los sistemas de tratamiento propuestos anteriormente no solucionará de manera efectiva la degradación actual de los cuerpos receptores naturales.

Figura 2.22 Tren de tratamiento para la industria química (plaguicidas, resinas y hule sintético).



Fuente: Elaboración propia basada en entrevistas a especialistas en el tratamiento de aguas residuales, consultas de datos históricos a plantas de tratamiento de aguas residuales de la industria Química y consultas bibliográficas. R. Corbitt, "Estandar Handbook of Environmental Engineering", R. Corbitt, "Estandar Handbook of Environmental Engineering"

### Costos

Establecer los costos para el control de la contaminación producida por la industria química, resulta complicado por la gran variedad de insumos que emplean en sus procesos productivos.

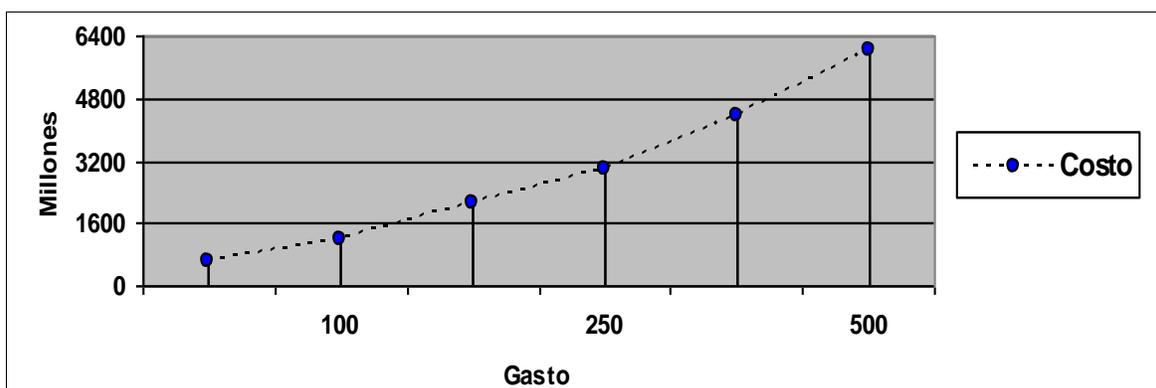
El propósito es presentar costos globales de tratamiento, sin señalar que sean la solución específica para esta industria en particular.

Tabla 2.8 Costos de tratamiento para la industria química (ácidos, bases y sales) con un gasto de 101-250 l/seg.

Rubros	Millones de pesos
Inversión	2,280.45
Mantenimiento	40.06
Operación	29.82
Material	31.02
Energía	68.67
Otros	341.53
Amortización	220.15
Total	3,011.69
<b>Pesos por m<sup>3</sup></b>	<b>15.28</b>

Fuente: Diseño y desarrollo de propuestas de instrumentos económicos, financieros, legislativos y de planeación de políticas públicas para apoyo al sector hídrico. Eduardo F. Donath, Héctor D. Camacho, Gustavo A. Ortiz. IMTA 2008. Informe Final.

Figura 2.23 Curva de costo total en la industria química (ácidos, bases y sales).



Fuente: Diseño y desarrollo de propuestas de instrumentos económicos, financieros, legislativos y de planeación de políticas públicas para apoyo al sector hídrico. Eduardo F. Donath, Héctor D. Camacho, Gustavo A. Ortiz. IMTA 2008. Informe Final.

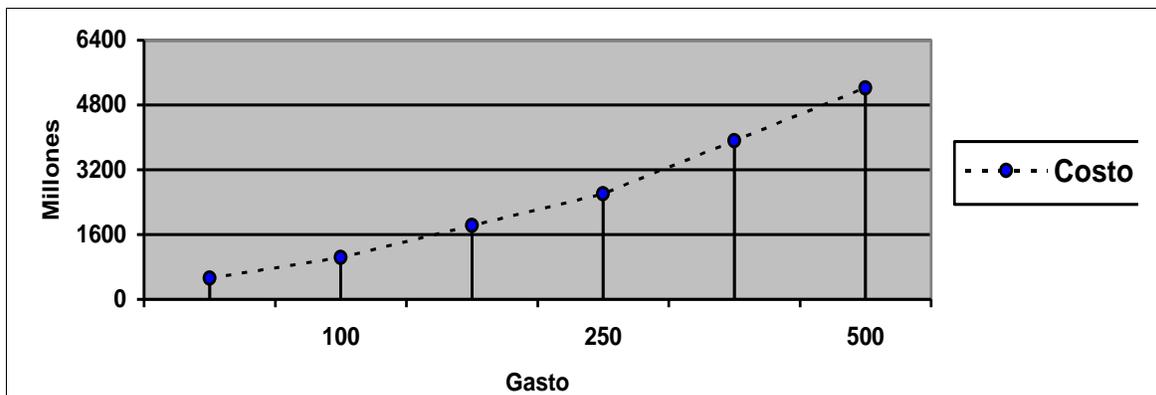
Tabla 2.9 Costos de tratamiento para la industria química (plaguicidas, resinas y hule sintético).

Rubros	Millones de pesos
Inversión	2,001.98
Mantenimiento	33.59
Operación	26.30
Material	27.34
Energía	60.15
Otros	264.01

Rubros	Millones de pesos
Amortización	190.33
Total	2,603.69
<b>Pesos por m<sup>3</sup></b>	<b>13.21</b>

Fuente: Diseño y desarrollo de propuestas de instrumentos económicos, financieros, legislativos y de planeación de políticas públicas para apoyo al sector hídrico. Eduardo F. Donath, Héctor D. Camacho, Gustavo A. Ortiz. IMTA 2008. Informe Final.

Figura 2.24 Curva de costo total en la industria química (plaguicidas, resinas y hule sintético).



Fuente: Diseño y desarrollo de propuestas de instrumentos económicos, financieros, legislativos y de planeación de políticas públicas para apoyo al sector hídrico. Eduardo F. Donath, Héctor D. Camacho, Gustavo A. Ortiz. IMTA 2008. Informe Final.

Tabla 2.10 Costos de tratamiento por m<sup>3</sup> para las industrias de estudio.

Sector industrial	Sub-sector industrial	Costo m <sup>3</sup> (\$)
Celulosa y Papel	Celulosa y papel	3.39
Siderúrgica	Metalurgia	10.08
Textil	Algodón	5.82
	Lana	5.87
Alimentos	Azúcar	6.84
Química	Ácidos, sales y bases	15.28
	Plaguicidas	13.21

Fuente: Diseño y desarrollo de propuestas de instrumentos económicos, financieros, legislativos y de planeación de políticas públicas para apoyo al sector hídrico. Eduardo F. Donath, Héctor D. Camacho, Gustavo A. Ortiz. IMTA 2008. Informe Final.

Los costos de cada industria se pueden resumir en la tabla 2.10, donde se observa el precio por m<sup>3</sup> de cada una de las industrias consideradas en el proyecto y que se localizan en el parque industrial, de acuerdo a un determinado gasto.

## 2.4 LEGISLACIÓN Y NORMATIVIDAD APLICABLE PARA LA REGULACIÓN DE LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES

El marco jurídico que regula las descargas de aguas residuales está conformado por leyes, normas y reglamentos que procuran el aprovechamiento sustentable, la conservación y restauración de los cuerpos de agua nacionales.

De acuerdo a la constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos<sup>36</sup>: en su artículo 73 establece como facultad del congreso, expedir leyes sobre el uso o aprovechamiento de aguas de jurisdicción federal; así como para establecer contribuciones sobre el aprovechamiento y explotación de los recursos naturales comprendidos en los párrafos 4º y 5º del artículo 27. El artículo 31 de la constitución establece como obligación de los mexicanos, contribuir para los gastos públicos de manera proporcional y equitativa que dispongan las leyes.

El artículo 115º Constitucional, establece que el suministro de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento es responsabilidad de los municipios. Por eso el Gobierno Federal, a través de diversos programas que administra la CONAGUA<sup>37</sup> ha logrado incrementar la cobertura nacional de tratamiento de agua residual, de 23% a 38.3%<sup>38</sup>, no obstante, es necesario hacer un mayor esfuerzo para incrementar este indicador a fin de sustituir agua de primer uso por agua residual tratada, así como recuperar la calidad de los ríos y lagos y aumentar la recarga de los acuíferos.

El Código Fiscal de la Federación define a los derechos como las contribuciones establecidas en la ley por el uso o aprovechamiento de los bienes del dominio público de la nación, así como por recibir servicios que presta el estado en sus funciones de derecho público. Una posibilidad que brinda el derecho es la de establecer el destino específico de los ingresos recaudados por el uso o aprovechamiento de bienes de dominio público, para su conservación y mantenimiento.

De acuerdo a la Ley de Ingresos de la Federación<sup>39</sup> el gobierno federal recibe ingresos por impuestos, aportaciones de seguridad social, contribución de mejoras, derechos, productos y aprovechamientos. La LAN establece la obligación de pago del derecho por la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales y por explotación, uso o aprovechamiento de bienes del dominio público de la nación como cuerpos receptores de descarga de aguas residuales<sup>40</sup>.

---

36 Artículo 73 Fracción XVI. "El Congreso tiene facultad para dictar leyes sobre... salubridad general de la República... 1a.- El Consejo de Salubridad General dependerá directamente del Presidente de la República... 4a.- Las medidas que el Consejo haya puesto en vigor en la campaña contra, así como las adoptadas para prevenir y combatir la contaminación ambiental, serán después revisadas por el Congreso de la Unión en los casos que le competan..."

37 Ha establecido de instrumentos económicos, fiscales y financieros, que apoyen las acciones que requieren los prestadores de servicios para el logro de sus objetivos.

38 CONAGUA, "Situación del Subsector de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento", 2008.

39 Ley de Ingresos de la federación para el ejercicio fiscal 2007

40 Adicionalmente se cobran derechos por servicios administrativos relacionados con el agua y otros bienes inherentes y por uso o goce de inmuebles de propiedad nacional (cauces, vasos, zonas de corrientes y depósitos de propiedad nacional y extracción de materiales de dichos bienes, que no son de gran cuantía respecto a la recaudación generada).

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente<sup>41</sup> establece que la federación por conducto de la secretaría podrá suscribir convenios o acuerdos de coordinación con el objeto de que los gobiernos de los estados asuman la facultad del control de los residuos de baja peligrosidad, el control de acciones para la protección, preservación y restauración de los cuerpos de agua nacionales.

Ley Federal sobre Metrología y Normalización<sup>42</sup>, en materia de normalización, certificación, acreditamiento y verificación: fomenta la transparencia y eficiencia en la elaboración y observancia de normas oficiales mexicanas y normas mexicanas; instituye la Comisión Nacional de Normalización para que coadyuve en las actividades que sobre normalización corresponde realizar a las distintas dependencias de la administración pública federal; establece un procedimiento uniforme para la elaboración de normas oficiales mexicanas por las dependencias de la administración pública federal; promueve la concurrencia de los sectores público, privado, científico y de consumidores en la elaboración y observancia de normas oficiales mexicanas y normas mexicanas; coordina las actividades de normalización, certificación, verificación y laboratorios de prueba de las dependencias de administración pública federal; establece el sistema nacional de acreditamiento de organismos de normalización y de certificación, unidades de verificación y de laboratorios de prueba y de calibración; y en general, divulga las acciones de normalización y demás actividades relacionadas con la materia.

NOM-127-SSA1-1994, "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización". Que establece los límites permisibles de calidad y los tratamientos de potabilización del agua para uso y consumo humano, que deben cumplir los sistemas de abastecimiento públicos y privados o cualquier persona física o moral que la distribuya, en todo el territorio nacional.

NOM-001-SEMARNAT-1996. Que establece los límites permisibles de calidad y los tratamientos de potabilización del agua para uso y consumo humano, que deben cumplir los sistemas de abastecimiento públicos y privados o cualquier persona física o moral que la distribuya, en todo el territorio nacional.

NOM-002-SEMARNAT-1996. Que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.

NOM-003-SEMARNAT-1997. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público.

---

41 Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Artículos 11, 12

42 Ley Federal sobre Metrología y Normalización. Artículo 2.

La LFD<sup>43</sup> especifica que están obligadas al pago del derecho las personas físicas y morales que descarguen en forma permanente, intermitente o fortuita aguas residuales en ríos, cuencas, cauces, vasos, aguas marinas y demás depósitos o corrientes de agua de propiedad nacional, en los suelos o las infiltren en terrenos, o que puedan contaminar el subsuelo o los acuíferos. Se causará el derecho de acuerdo con el tipo del cuerpo receptor en donde se realice la descarga, conforme al volumen de agua descargada y los contaminantes vertidos.

El monto de los derechos se determina en función del cauce o cuerpo receptor al que se vierten las descargas, así como del volumen de aguas residuales descargadas y la clase y cantidad de contaminantes en lo que se rebasen los límites máximos permisibles.

#### **2.4.1 REFORMAS EN LA LEY FEDERAL DE DERECHOS EN MATERIA DE AGUA**

Publicadas el 24 de diciembre de 2007 en el Diario Oficial de la Federación (DOF) y con entrada en vigor del 1º de enero de 2008. Señala que estarán obligados a pagar el derecho por uso o aprovechamiento de cuerpos receptores de las descargas de aguas residuales, las personas físicas o morales que descarguen en forma permanente, intermitente o fortuita, aguas residuales en ríos, cuencas, cauces, vasos, aguas marinas y demás depósitos o corrientes de agua, así como los que descarguen aguas residuales en los suelos o las infiltren en terrenos que sean bienes nacionales o que puedan contaminar el subsuelo o los acuíferos, en términos de lo dispuesto en esta Ley.

La intención del documento es revisar las reformas a la LFD en materia de agua bajo dos criterios (económico y ambiental), y establecer una propuesta de pago bajo estos criterios. Las reformas a la LDF en el año 2009 no muestran cambios significativos con respecto a la publicada en el año 2008 para efecto de este tema de estudio.

#### **2.4.2 CRITERIO AMBIENTAL**

El cambio más significativo de la Ley es el correspondiente al artículo 278<sup>44</sup>, en particular, el artículo 278-B que corresponde a los parámetros a considerar en la carga contaminante<sup>45</sup> aportada en las descargas de aguas residuales y el Límite Máximo Permisible<sup>46</sup> de los parámetros.

---

43 Ley Federal de Derechos. Artículo 276, 278.

44 “El pago del derecho a que se refiere este artículo no exime a los responsables de las descargas de aguas residuales de cumplir con los límites máximos permisibles establecidos en las Normas Oficiales Mexicanas y con las condiciones particulares de sus descargas, de conformidad con la Ley de Aguas Nacionales”.

45 “La cantidad de un contaminante expresada en unidades de masa sobre unidad de tiempo, aportada en una descarga de aguas residuales”. Ley de Pago de Derechos, 2008.

46 “El valor o rango asignado a un parámetro, el cual no debe ser excedido en la descarga de aguas residuales”. Ley de Pago de Derechos, 2008

El artículo 278-B en la fracción IV inciso b) de la LFD señala los parámetros a ser considerados en el muestreo y análisis, así como en el reporte de datos. Por lo tanto, solo se tomarán en cuenta dos parámetros: DQO y SST.

Tabla 2.11 Límites máximos permisibles en las descargas de aguas residuales.

Parámetros	Cuerpos receptores de las descargas		
	Tipo A	Tipo B	Tipo C
	Ríos, Aguas Costeras y Suelo	Ríos, Embalses, Aguas Costeras, Estuarios y Humedales Naturales	Ríos y Embalses
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	150	75	40
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	320	200	100

Fuente: Ley federal de Derechos en materia de Agua, 2008

Esto significa que los parámetros<sup>47</sup> contenidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996, serán medidos a través del parámetro DQO que la Ley define como: “La medida del oxígeno consumido por la oxidación de la materia orgánica e inorgánica en una prueba específica”. Este cambio implica que todas las descargas son homogenizadas, sin considerar las descargas particulares vertidas por parte de la industria.

El parámetro de SST continuará como previamente ya era contemplado antes de las reformas. Asimismo, en el mismo artículo 278-B en la fracción III referente al procedimiento obligatorio de muestreo, el reporte de datos de los parámetros considerados, la frecuencia de muestreo y análisis, se realizará conforme a la tabla 2.12.

Tabla 2.12 Reporte de datos de efluentes no municipales.

Demanda Química de Oxígeno toneladas/día	Sólidos Suspendidos Totales toneladas/día	Frecuencia de muestreo y análisis	Frecuencia de reporte de datos
Mayor de 3.0	Mayor de 3.0	Mensual	Trimestral
De 1.2 a 3.0	De 1.2 a 3.0	Trimestral	Trimestral
Menor de 1.2	Menor de 1.2	Semestral	Semestral

Fuente: Ley federal de Derechos en materia de Agua, 2008

47 Cianuros, Coliformes Fecales (CF), DBO, Fósforo (P), Grasas y Aceites (GyA), Metales Pesados (MP), Nitrógeno (N), pH, entre otros

### 2.4.3 CRITERIO ECONÓMICO

De esta forma, aquellos usuarios que descarguen concentraciones superiores a los límites máximos permisibles en los parámetros DQO y SST, entonces, pagarán el derecho conforme a lo dispuesto en el artículo 278-C de la LFD.

El pago del derecho de descargar se hará trimestralmente en función del:

- 1) Volumen de las aguas residuales descargadas.
- 2) Concentraciones de contaminantes que rebasen los límites máximos permisibles.
- 3) Tipo de cuerpo receptor (A, B o C) donde se efectúen las descargas.

Así que el cálculo del pago de derechos será de la siguiente forma:

- I. La concentración de contaminantes que rebasen los LMP expresados en miligramos por litro se multiplicará por el factor de 0.001, para convertirla a kilogramos por m<sup>3</sup>.
- II. El resultado obtenido se multiplicará por el volumen trimestral de aguas residuales descargadas en m<sup>3</sup>, obteniéndose así la carga de contaminantes, expresada en kilogramos por trimestre, descargada al cuerpo receptor.
- III. Para obtener el monto correspondiente por cada contaminante que rebase los LMP, conforme al tipo de cuerpo receptor de que se trate, se multiplicarán los kilogramos de contaminante, por la cuota en pesos por kilogramo que corresponda, de acuerdo a la tabla 2.13.

Dado que la LFD solo considera dos parámetros para el cobro de vertido de aguas residuales, es necesario que cada elemento vertido tenga un costo.

*Tabla 2.13 Monto correspondiente por cada contaminante  
(pesos por Kg. al trimestre).*

Parámetros	Cuerpo receptor		
	Tipo A	Tipo B	Tipo C
Demanda Química de Oxígeno	\$0.2953	\$0.3302	\$0.3475
Sólidos Suspendidos Totales	\$0.5072	\$0.5669	\$0.5968

Fuente: Ley federal de Derechos en materia de Agua, 2008

## **2.5 EVOLUCIÓN Y RESULTADOS DE APLICACIÓN DE LA LEY FEDERAL DE DERECHOS EN MATERIA DE AGUA POR EL USO O APROVECHAMIENTO DE BIENES DE DOMINIO PÚBLICO DE LA NACIÓN COMO CUERPOS RECEPTORES DE DESCARGA DE AGUAS RESIDUALES.**

El congreso de los Estados Unidos Mexicanos decreta la LFD publicada el 31 de diciembre de 1981, pero fue hasta 1991 cuando se inicia el cobro derecho por uso o aprovechamiento de bienes del dominio público de la nación como cuerpos receptores de descarga de aguas residuales. Este derecho entró en vigor en octubre. El régimen inicial de este derecho fue simplificado. Se establece el destino de los derechos par cubrir gastos de operación, conservación, mantenimiento, inversión y financiamiento en infraestructura hidráulica. La filosofía inicial de este derecho no fue tanto recaudatoria sino con propósitos de control de la contaminación<sup>48</sup>.

En el año de 1992 se introduce el precepto que prevalece hasta el año 2008 de que los servidores públicos que apliquen esta ley son responsables de la vigilancia del pago y el cobro de los derechos. La omisión total o parcial de dicho cobro, afecta el presupuesto de la comisión en un equivalente de dos veces el valor de la omisión, (sin menoscabo de otras sanciones previstas en leyes aplicables a los servidores públicos).<sup>49</sup> Se establece una política de convencimiento de pago al usuario, si bien enérgica, se brindan algunas facilidades de pago. Incluso se establecen alicientes materializados en bonos de productividad al servidor público que participe en la determinación y cobro de las multas fiscales (criterio posteriormente abandonado). Se quita el destino de los ingresos para apoyar las actividades de la CONAGUA en los derechos de uso y descarga. Se establece tratamiento especial en el monto de las cuotas, a los ingenios azucareros y a algunos municipios del estado de Veracruz. En este periodo se mantienen programas de convencimiento y fiscalización a usuarios y se presentan incrementos en las cuotas de derechos<sup>50</sup>, incluidos los de descarga.

En 1994 el régimen de los derechos por descarga se modifica de manera sustancial, en función de la Norma Oficial Mexicana 001-ECOL-1996<sup>51</sup>. En el año 2001 se realizó una reforma que indica que los derechos se actualizarán para los meses de enero a julio (ya no trimestralmente) en relación a los incrementos que tenga el índice nacional de precios al consumidor. También se omite la posibilidad de que el pago de los derechos se realice en las oficinas de la Comisión Nacional del Agua, solo en oficinas autorizadas por la SHCP. En el año siguiente se establece el fin específico a los ingresos que se obtengan por el derecho

---

48 Más adelante en este documento se detallan estas modificaciones y algunos resultados de su aplicación.

49 Es de hacer notar en esta disposición que los servidores públicos de la Comisión Nacional del Agua no solamente serán sancionados conforme a las leyes por su omisión, sino también a la Comisión Nacional del Agua se le sanciona vía presupuestal, lo cual implica un perjuicio directo a la dependencia por la actuación incorrecta de uno de sus servidores públicos.

50 Hasta un 10% respecto al año anterior según la LFD.

51 Norma oficial mexicana NOM-001-ECOL-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, publicada en el diario oficial de la Federación. Posteriormente llamada NOM-001-SEMARNAT-1996.

correspondiente al uso de aguas nacionales destinadas a agua potable, para destinarlas a obras de infraestructura hidráulica (Art. 223), reforzándose dicho destino en otro artículo de la ley (artículo 231-A) para la realización de acciones de mejoramiento de eficiencia y de infraestructura de agua potable, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales, en una cantidad equivalente de hasta el monto de los derechos cubiertos, esto da pie para la implantación, por parte de CONAGUA de un programa exitoso de devolución de derechos de agua (PRODDER<sup>52</sup>). Respecto al derecho de descarga, se recupera el fin específico de esos derechos para que la CONAGUA los destine a obras de infraestructura de saneamiento por cuenca hidrológica.

Fue hasta el año 2006 que hubo algunos pequeños incrementos en las cuotas de los derechos por descarga, pero es hasta el año 2008 cuando se presentó una reforma aprobada por el H. Congreso del Unión el 29 de octubre del 2007, donde se reducen para este año el número de contaminantes base del derecho por descarga de 16 a 2: DQO y SST, por ser estos de acuerdo con la exposición de motivos, los más representativos de la descargas, disminuyendo con esta medida el costo de los análisis correspondientes.

Se propone ampliar los supuestos de determinación presuntiva de los derechos. Se establece la obligación de que los laboratorios acreditados informen semestralmente a la Comisión los resultados efectuados en ese periodo, también se pagará durante ese año solo el 50 % de los derechos causados por ese concepto.

Estas medidas, en opinión del autor de este trabajo no parecen tener efectos positivos recaudatorios importantes, además que el instrumento pierde sus posibilidades de regulación y de prevención y control de la contaminación de las aguas y se castiga implícitamente a los usuarios, que cumplieron con su programa de construcción de plantas de tratamiento, dentro de los plazos autorizados en los programas anteriores, para considerar otros parámetros, como suele suceder en la práctica fiscal mexicana: se beneficia a los incumplidos.

Hasta el año 2010 no hay modificaciones respecto a los derechos en las bases de cobro ni en las cuotas aplicables, sólo se presentan cambios en cuanto a las zonas de disponibilidad y se emprende un programa llamado PROSANEAR<sup>53</sup> que financia acciones de inversión por etapas de construcción en plantas de tratamiento, destinando el pago de derecho en su totalidad a dichas acciones y cancelando adeudos anteriores a 2008.

---

52 Programa de Devolución de Derechos que busca apoyar la realización de acciones de mejoramiento de eficiencia y de infraestructura de agua potable, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales. CONAGUA.

53 Programa Federal de Saneamiento de Aguas Residuales, CONAGUA

## **2.5.1 DERECHOS POR USO O APROVECHAMIENTO DE AGUA**

Considerando la posibilidad que el recurso hídrico pudiera agotarse y convertirse en un freno para el desarrollo económico y social, y que su aprovechamiento y cuidado implicaran mayores inversiones y costos, fue necesario proponer un nuevo régimen fiscal que hiciera del agua una fuente de recaudación proporcional al valor que incorporaba a la producción del país, y que permitiera al gobierno federal incrementar los recursos destinados a inversiones en el sector.

Desde 1977 se formó un grupo de trabajo (<sup>54</sup> y <sup>55</sup>) encabezado por la Secretaría de Hacienda y Crédito Público, quien es la encargada de revisar y adecuar los precios y tarifas de los bienes y servicios del sector público y en la que participaba también la entonces Secretaría de Recursos Hidráulicos<sup>56</sup> y la Comisión del Plan Nacional Hidráulico<sup>57</sup>, inició diversos estudios para establecer cuotas por la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales, que culminaron en el año de 1979, en el que se concluyó con un proyecto que determinaba cuotas con base en el costo real del agua que entonces, de acuerdo con la definición que del Código Fiscal de la Federación; se identificaba mejor con la figura fiscal de *productos*<sup>58</sup>.

Estos estudios tenían también el propósito de sustituir al Impuesto del Timbre, que se derogó en 1975, en lo correspondiente a los títulos de concesión de agua. Sin embargo y a instancias de la misma SHCP fue hasta principios del año de 1982 que entró en vigor una nueva disposición legal; la LFD, cuya evolución hasta ahora se detalla más adelante.

A partir de la promulgación en 1988 de la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, y del cobro de derechos por descargas por la aplicación de la LFD en 1991 y reformas trascendentes de 1996, 1997 y ahora 2008, se han iniciado importantes proyectos para dar tratamiento a las aguas residuales y reducir los niveles de contaminación de los cuerpos receptores de descargas de agua del país<sup>59</sup>.

---

54 Documento: Esquema general del agua en México. A. Q. R., 1977 SHCP, en el que se incluye el primer proyecto de decreto por la obligación de pago por “productos” por el uso, explotación, o aprovechamiento de las aguas nacionales de vasos, corrientes, lagunas y esteros, así como el arrendamiento y la extracción de materiales de las zonas federales correspondientes. G.A. Ortiz Rendón.

55 Reformas a la legislación Fiscal en materia de aguas. A. Olaiz, et. Al., revista de ingeniería Hidráulica en México. Enero/abril de 1986.

56 Como representantes de la Secretaría de Recursos Hidráulicos este grupo de trabajo lo conformaron los Ing. Felipe Pérez y Pérez, Abel Muñoz Elías y Mariano Ríos Mora, principalmente.

57 La Comisión del Plan Nacional Hidráulico estuvo representada por el Dr. Fernando J. González Villarreal.

58 Marco para un nuevo Régimen fiscal del Agua en México, Tesis de Licenciatura, Instituto Politécnico Nacional. 1982. G.A. Ortiz Rendón.

59 La Comisión Nacional del Agua cuenta en el Presupuesto en el año 2008 de 700 millones de pesos para establecer el fondo concursable para el tratamiento de aguas residuales privilegiando las zonas turísticas, adicionalmente 500 millones de pesos para que la misma dependencia instaure un programa de incentivos a la inversión en plantas de tratamiento. Fuente: Presupuesto de Egresos de la federación para el 2008, Diario oficial del 13 de diciembre del 2007.

## 2.5.2 DERECHOS POR DESCARGA

En 1991, se establecieron en la LFD los cobros de descargas por concentraciones de DQO y SST, arriba de los límites permisibles. El pago se realizaba trimestralmente (como hasta ahora), de acuerdo a cuotas diferenciales, según la zona de disponibilidad y la cantidad en kilogramos de contaminantes vertidos al cuerpo de agua receptor. El cálculo del derecho de descarga era simple y prevaleció sin modificaciones sustantivas hasta 1995. La simplicidad propició algunos resultados importantes en la recaudación y el incremento de cobertura de plantas de tratamiento, principalmente en industrias consumidoras y de condición económica estable.

En 1996 se complicó la aplicación de la LFD. Finalmente, en diciembre de 1997 la ley evoluciona hasta recientemente (2010) que como se decía anteriormente se eliminan como objeto de cobro 14 parámetros de medición de la contaminación.

Hasta diciembre 2007 se toma como base de pago la NOM-001-SEMARNAT-1996, que establecía el monto del derecho de acuerdo al excedente al límite permitido de los parámetros: coliformes fecales, potencial hidrógeno, contaminantes básicos y metales pesados y cianuros.

El objetivo inicial del derecho de descarga *-que las cuotas promedio por metro cúbico de descarga fueran mayores que los costos de tratamiento-* se vio rebasado por imprecisiones en la LFD, algunas excepciones y exenciones temporales y definitivas, que no han permitido ni cumplir con la ley, ni recaudar los ingresos necesarios para invertirlos en acciones de saneamiento.

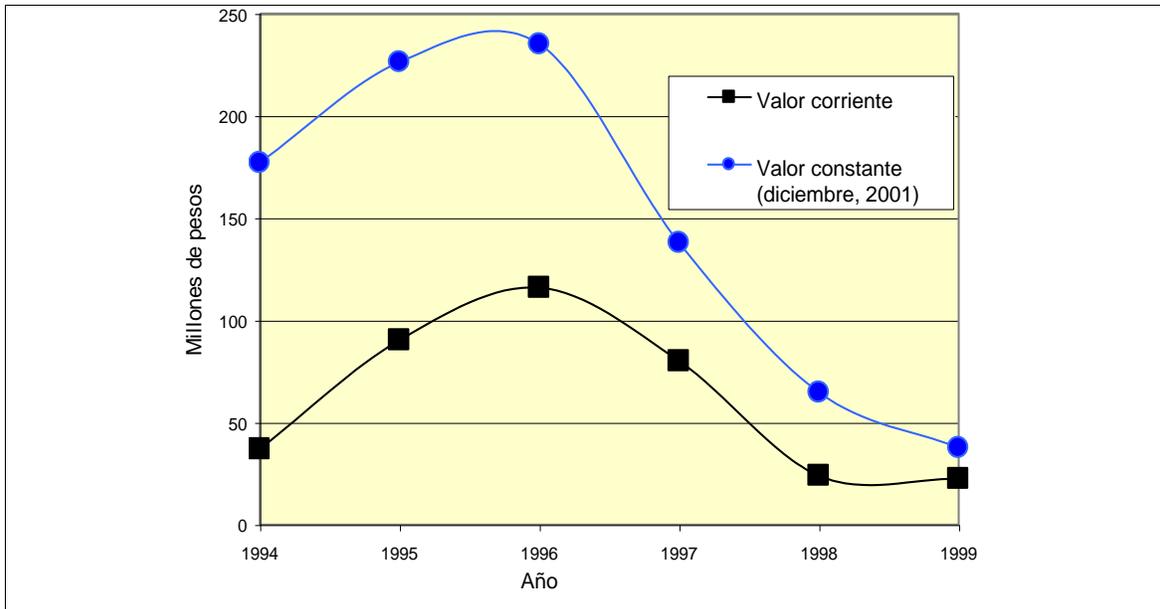
## 2.5.3 RESULTADOS DE LA POLÍTICA MEDIOAMBIENTAL DEL AGUA

Los resquicios legales han favorecido la maximización de los beneficios sin internalizar la externalidad negativa, ya que muchos contribuyentes, argumentando que cuentan con proyectos de plantas de tratamiento no pagan el derecho.

Es necesario analizar los elementos que permiten mostrar la efectividad de la política son, entre otros: la recaudación alcanzada por concepto de cobro de derechos por el uso o aprovechamiento de los cuerpos receptores y la disminución o incremento de la contaminación.

De acuerdo con la información generada por la CONAGUA, la recaudación ha tenido una caída drástica a partir de 1997, que corresponde con la entrada en vigor de la NOM-001-SEMARNAT-1996 (en 2005 fue apenas un poco superior a 50 millones de pesos, a nivel nacional).

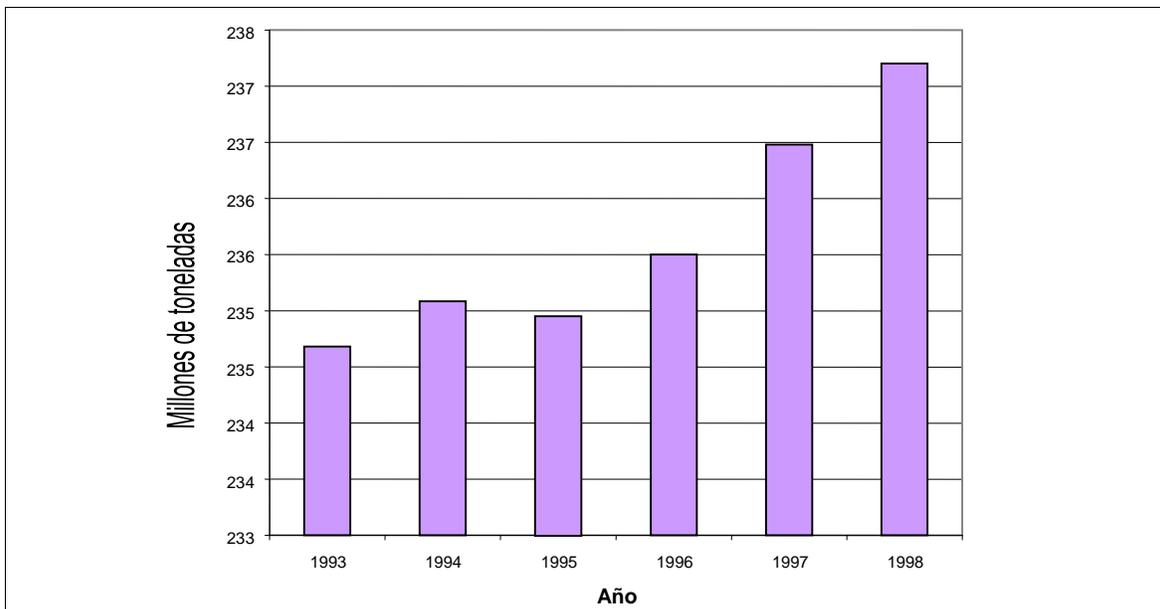
*Figura 2.25 Recaudación histórica por concepto de cobro de derechos por el uso o aprovechamiento de los cuerpos receptores.*



Fuente: Comisión Nacional del Agua.

Si además consideramos el efecto de la inflación, la reducción en la recaudación es más severa. La figura 2.25 muestra la recaudación histórica de 1994 a 1999.

Figura 2.26 Contaminación producida por  $DBO_5$ .



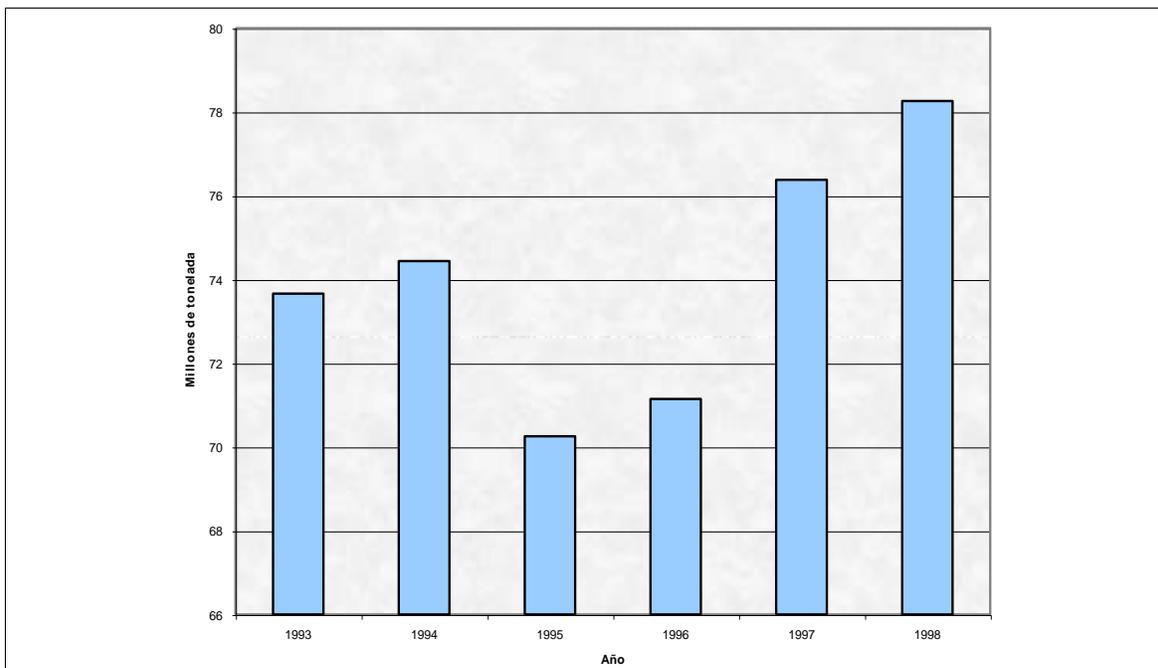
Fuente: Comisión Nacional del Agua.

Los efectos de la aplicación de la legislación en la calidad del agua muestran una creciente producción de contaminación expresada como  $DBO_5$ . La figura 2.26 muestra que el ritmo de construcción de plantas de tratamiento es insuficiente para controlar la contaminación expresada por este parámetro.

La DQO (figura 2.27) muestra un comportamiento atípico. Hasta 1996, la DQO tiene el comportamiento decreciente esperado, pero a partir de 1997 la tendencia de éste parámetro es creciente. Esto se explica porque la DQO, aunque pudiera ser un indicador de la toxicidad de las aguas residuales, fue eliminado en la norma vigente.

Respecto a SST, los niveles son comparables a los de 1992 (figura 2.28) aunque presentan un comportamiento decreciente. Durante el periodo comprendido entre los años de 1997 a 2007, la LFD prácticamente no sufrió cambios significativos exceptuando cuotas y tarifas, fue hasta el año 2008 cuando se simplificó la LFD a dos parámetros. El propósito de este análisis es verificar como funcionaba la LFD antes de la reforma.

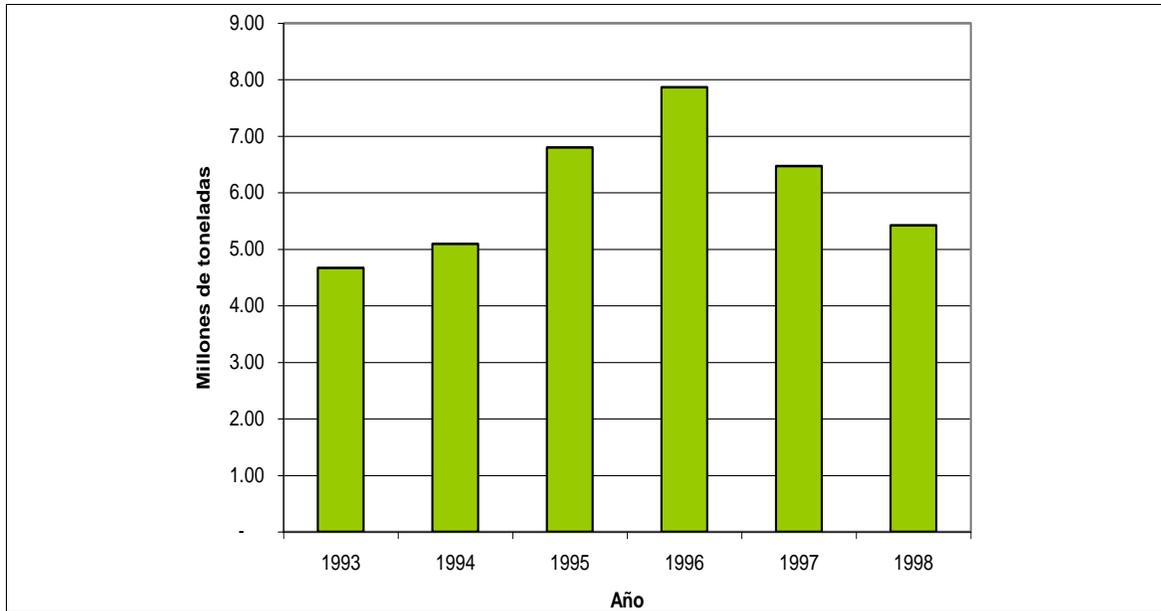
Figura 2.27 Contaminación producida por DQO.



Fuente: IMTA, a partir de información de Comisión Nacional del Agua

Como muestran las figuras 2.27 y 2.28, la evolución del derecho como instrumento para disminuir la contaminación no refleja tal fin, y esta tendencia se puede apreciar más claramente en la tabla 3.1

Figura 2.28 Contaminación producida por SST.



Fuente: IMTA, a partir de información de Comisión Nacional del Agua

### 3. METODOLOGÍA

Para efectos de este estudio se consideraron las descargas del parque industrial *Resurrección* de Puebla, Pué., que vierten con dirección a la barranca de Tlaloxtoco. Se enfatizó en cinco de las industrias más contaminadoras en México y que existen en la zona de estudio.

Debido a la gran variedad de vertidos industriales fue necesaria una investigación propia de cada tipo de industria y la aplicación de procesos de tratamiento específicos basados en el conocimiento de los diversos contaminantes, la caracterización de los efluentes, la organización de los desagües y separación de los efluentes, la elección entre los diversos métodos de depuración fisicoquímica y/o biológica y la tasa de interés para la obtención de fondos para la construcción de plantas de tratamiento.

Una vez que se determinaron las características del efluente, se consideraron las recomendaciones de diseño (tamaño, tecnología, entre otros). Con base en estos parámetros y otros específicos para el sitio de tratamiento, se seleccionan los parámetros clave de diseño del sistema<sup>60</sup> y se seleccionó un tren de tratamiento para cada tipo de industria utilizando como herramienta el sistema computacional *CAPDET PC*.

Se propuso la aplicación de un impuesto denominado “*Polluters-Pay-Principle*” (PPP)<sup>61</sup>, que es el principio de quien contamina paga esto implica un nuevo enfoque administrativo para el pago de vertidos de aguas residuales, respetando el marco normativo actual.

Se realizó una comparación de recaudación entre CONAGUA, SOAPAP y el PPP demostrando mejoras en la recaudación al utilizar la metodología propuesta.

---

<sup>60</sup> Fuente: AquaSBR Design Manual, 2004.

<sup>61</sup> *Mí Ambiente*, Sept. 2002.

### 3.1 PROPUESTA IMPOSITIVA COMPLEMENTARIA A LA LEY FEDERAL DE DERECHOS EN MATERIA DE AGUA

La contaminación de los cuerpos receptores se origina principalmente por el incremento poblacional y las actividades industriales. Por lo tanto, es necesario desarrollar un sistema de cobro de las aguas residuales, con el propósito de reducir la contaminación y que proporcione los medios financieros adecuados para construir la infraestructura de tratamiento necesaria.

Uno de los objetivos de este documento es elaborar una propuesta de pago, bajo la premisa de tarifas simples y funcionales (criterio económico) y de disminución de la contaminación vertida (criterio ambiental). Todo esto para adoptar una *tasa impositiva* al sector industrial por las actividades contaminantes que realicen.

Estas propuestas no están confrontadas con el sistema actual de autorizaciones y sanciones de los vertidos de aguas residuales; al contrario, se desea incrementar la discusión de tal forma que el pago se sustente en un criterio de sustentabilidad.

#### 3.1.1 ANTECEDENTE TARIFARIO

Un panorama gráfico de los pagos de derechos se puede observar en la tabla 3.1, que refleja que mientras la recaudación fiscal en sus distintos rubros se ha incrementado constantemente, los derechos por uso de cuerpo receptor decrecen, tal es el caso que en año 1996 representaba el 2.9% de la recaudación total de los derechos de agua y para el año 2007 solo representaba el 0.39%.

Debido a los programas y plazos de cumplimiento de las normas que la misma ley establece y a las ampliaciones constantes que se dan a estos plazos, de cierta manera se permite a los usuarios no pagar los derechos. Se esperaría una recaudación importante cuando la autoridad sea más estricta en el cumplimiento de dichos programas.

Un aspecto a resaltar es que la cobranza de los derechos de la tabla 3.1 se sustenta exclusivamente bajo el criterio administrativo de la obtención del peso del contaminante que se descarga, de acuerdo a determinada unidad de tiempo<sup>62</sup> en el cuerpo de agua, sin considerar el impacto de la contaminación que generan los vertidos.

Lo que se sugiere es aplicar incentivos económicos para limitar la contaminación del agua vertida; que pueden ser:

1. Un impuesto sobre el peso de los contaminantes descargados, sea cual sea el volumen vertido.

---

62 día, mes y año.

2. Subvenciones y/o préstamos para reducir al mínimo el costo de la planta de tratamiento o el costo de un cambio en el proceso industrial (tecnologías ecológicas).

Tabla 3.1 Recaudación fiscal por derechos de agua y aprovechamientos 1996-2007 (Millones de pesos).

Concepto / Año	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Uso o aprovechamiento de aguas nacionales	4,377.5	4,947.0	4,337.9	5,083.4	6,634.4	6,434.2
Público urbano <sup>(a)</sup>	362.0	325.6	348.9	415.3	354.9	356.6
Industrial	3,595.4	4,187.8	3,557.8	4,189.7	4,503.8	4,430.4
Comercial <sup>(b)</sup>	105.4	142.4	98.8	117.8	209.4	166.0
Diversos <sup>(c)</sup>	314.8	291.3	332.3	360.6	298.4	248.9
Uso de cuerpo receptor	264.9	149.0	71.7	39.7	46.1	66.7
Servicios de riego	141.0	140.7	149.1	143.2	151.8	173.9
Total	9,161.0	10,183.8	8,896.5	10,349.7	12,198.8	11,876.7

Concepto / Año	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Uso o aprovechamiento de aguas nacionales	6,907.1	7,436.2	7,043.3	7,059.5	6,673.2	7,114.3
Público urbano <sup>(a)</sup>	983.4	1,468.2	1,502.9	1,673.1	1,529.1	1,710.2
Industrial	3,542.8	4,185.3	4,654.2	4,291.1	4,875.0	4,957.9
Comercial <sup>(b)</sup>	206.1	185.2	179.6	207.3	214.2	196.5
Diversos <sup>(c)</sup>	241.7	120.1	81.1	81.2	121.1	93.8
Uso de cuerpo receptor	64.1	74.1	73.0	55.0	50.0	57.2
Servicios de riego	174.6	159.2	162.3	166.5	159.4	189.9
Total	12,119.8	13,628.3	13,696.4	13,533.7	13,622.0	14,319.8

Fuente: Registro público de derechos de agua (REPDA) 2008.

<sup>(a)</sup> Incluye pago de organismos operadores y colonias que tienen concesión.

<sup>(b)</sup> Incluye balnearios, clubes deportivos y otros servicios.

<sup>(c)</sup> Incluye servicios de trámite, regularización y multas, entre otros.

De esta forma, se plantea un nuevo enfoque en el cobro de descargas industriales orientada a la limitación de contaminación, y no medición de la evolución de la contaminación descargada.

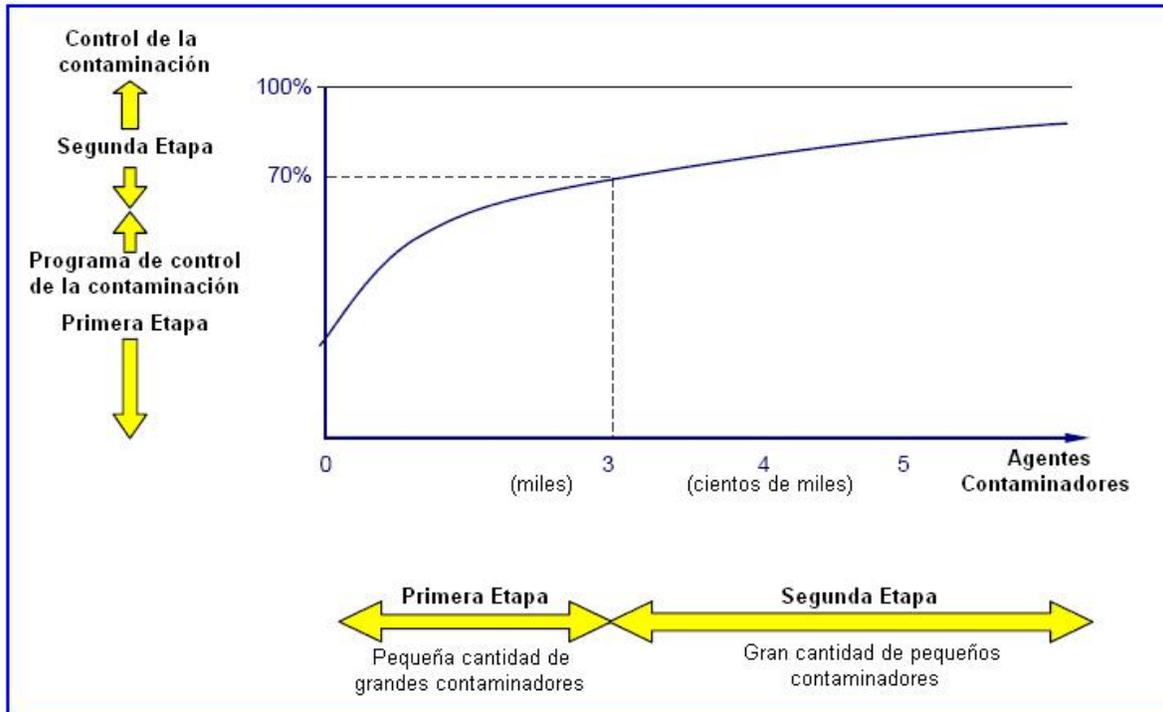
De forma inicial se debe partir que el 70% de la contaminación en los cuerpos de agua se origina a través de las ciudades más pobladas y de las industrias establecidas en el país.

Si se observa la problemática como una curva de Pareto, entonces, la reducción de la contaminación hídrica debe hacerse a través de etapas.

De tal forma, que la primera etapa debe apuntalarse sobre los agentes económicos que contaminan más y después irse con aquellos agentes que contaminan en menor cantidad.

63

Figura 3.1 Curva de Pareto de la contaminación por agentes económicos.



Fuente: Yann Laurens, Stéphanie Blanc. "Directive cadre sur l'eau, analyse économique de la récupération des coûts", 2000.

### 3.1.2 PRINCIPIO DE QUIEN CONTAMINA PAGA

Se propone la aplicación de un impuesto denominado "**Polluters-Pay-Principle**" (PPP)<sup>64</sup>, que es el *principio de quien contamina paga*, esto implica un nuevo enfoque administrativo para el pago de vertidos de aguas residuales, respetando el marco normativo actual.

Este objetivo se enfrenta a la comúnmente poca capacidad de las industrias a pagar por su contaminación. Este aspecto es de carácter político y depende de la voluntad gubernamental para hacer frente a este obstáculo; los argumentos que puede usar el Estado para superar la reticencia por parte de los industriales son los siguientes:

63 André Wulf – le droit de l'environnement au travers de quelques texts, CNAM, oct. 2001

64 Mi Ambiente, Sept. 2002.

- a) Los impuestos, que serán cobrados a la industria, no deben considerarse como un ingreso, sino como un esfuerzo mutuo para luchar contra un desafío nacional: la contaminación del agua.
- b) La mayor parte posible de los ingresos fiscales se abordarán en forma de subvenciones y préstamos a los industriales contribuyentes, con el fin de facilitar el control su contaminación a través de inversiones en infraestructura.

### 3.1.3 COMO FUNCIONA EL PPP

El PPP es un método que funciona bajo el sistema de incentivos, que establezca un desarrollo paralelo entre el crecimiento económico de la industria y una mejor protección de la salud pública y del medio ambiente. Y no como un sistema fiscal que reduzca el desarrollo industrial, sino la obtención de un desarrollo sustentable.

A continuación se presenta la metodología desarrollada por Buchot (2002), para la obtención del impuesto PPP.

El impuesto (**T**) bajo el criterio del PPP es el resultado de dos figuras:

- La contaminación vertida **D**
- La tasa de la unidad de la contaminación de **r**

$$T = D * r$$

La contaminación vertida **D**, puede ser vista como:

La diferencia de la contaminación producida, menos la contaminación eliminada por una planta de tratamiento, entonces se obtiene un coeficiente de contaminación **k**. O en su defecto, la multiplicación por un coeficiente de remoción **q**.

$$D = \text{Contaminación Inicial} - \text{Eliminación de la contaminación}$$

$$D = \text{Contaminación Inicial} (1 - k)$$

Ahora si:

$$D = q, \text{ Contaminación Inicial}$$

Entonces:

$$q = 1 - k$$

Ahora si consideramos los tipos de tratamiento existentes, entonces tenemos los siguientes coeficientes:

- Para un tratamiento primario **k = 30%**, **q = 70%**
- Para un tratamiento secundario **k = 70%**, **q = 30%**
- Para un tratamiento terciario **k = 90%**, **q = 10%**
- Para un tratamiento de reciclaje **k = 100%**, **q = 0**

En resumen:

- Quien contamina paga, cuando no existe planta de tratamiento,  $k = 0$ ,  $q = 100\%$ , y el impuesto a pagar es el máximo).
- Quien no contamina no paga, cuando el tratamiento es eficiente en su totalidad,  $k=100\%$ ,  $q=0$ .

La complejidad que implica el pago de los impuestos por contaminación requiere de las siguientes consideraciones para poder ser aceptada por las industrias.<sup>65</sup>

- El presupuesto previsto de las industrias, para no generar un desequilibrio entre ingresos y egresos de las mismas.
- La posibilidad y la aceptación de los usuarios industriales para pagar los impuestos a la contaminación.
- Las tasas más altas deben dirigirse a las zonas industrializadas, con el objeto de que estos recursos sean reincorporados en esas zonas, con infraestructura de saneamiento, para reducir al mínimo los efectos de la contaminación.

La desventaja de un sistema impositivo PPP, consiste en que el usuario final es quien pagará este impuesto. Ya que el sector industrial trasladará este costo a través del precio final, en la adquisición del bien; entonces, la industria pasará a ser un recaudador de impuestos y buscará obtener beneficios financieros de estos recursos, previa entrega al Estado.

En la aplicación práctica de ese tipo de impuestos en otros países, la aplicación de este principio en términos generales ha sido positiva, al contar con un órgano específico especializado para gestionar el control de la contaminación, o aún mejor, que desarrolle la gestión integral del agua a través de protección de los recursos hídricos, abastecimiento de agua potable, control de contaminación y prevención de inundaciones.<sup>66</sup> Esta función puede ser desempeñada por la CONAGUA u otro órgano que tenga la responsabilidad de:

- a. Los ingresos fiscales (los derechos sobre el agua o impuestos a la contaminación).
- b. Las subvenciones (subsidios y/o préstamos), que cubren estudios de costos de las infraestructuras.

Si el dinero recaudado se destina a acciones de recuperación de la calidad del agua, el impuesto representará un beneficio económico a la sociedad y no una carga impositiva ya que al mantener la sustentabilidad ambiental de las fuentes de abastecimiento y cuencas, se consigue la sustentabilidad de la misma sociedad y de sus actividades que contaminan, lo que permite mantener los empleos, la riqueza económica que se genera y el bienestar social, lo que se traduce en un ambiente saludable. Esto implica una mejor utilización del agua a más

---

<sup>65</sup> WMO/PROMMA Report No. 138; Proyecto de Reglamento para una Cuenca Sobreexplotada; Pierre Tènière Buchot , 2002.

<sup>66</sup> Direction des Etudes et de l'Evaluation Environnementale. Pôle évaluation et prospective. Agence de, 2005.

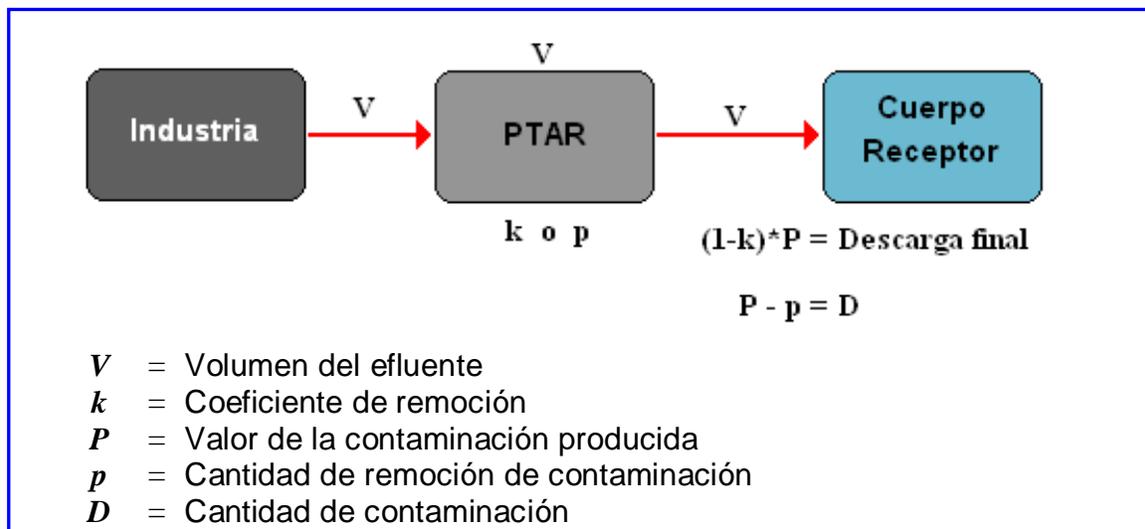
consumidores, incremento de la productividad de las empresas, mayor capacidad económica de la sociedad y por ende mayor recaudación de impuestos. Si la política pública impositiva considerara compensar el peso de estos impuestos contra el peso de otros gravámenes no tendrían por qué incrementarse los costos de los bienes y servicios y en consecuencia no se trasladaría al consumidor final en forma significativa un incremento en los precios.

Por otra parte las grandes erogaciones que el estado realiza y los impuestos que paga la sociedad en su conjunto por los problemas que ésta contaminación representa, podrían destinarse a otros programas sociales; y los responsables directos de la contaminación ocuparse del impacto que generan al medio ambiente.

### 3.1.4 PROCEDIMIENTO DEL PAGO DE IMPUESTO

El procedimiento del pago de impuesto sería el siguiente:

Figura 3.2 Procedimiento de cobro del PPP.



Fuente: Pierre F. Ténière-Buchot. *Water and Ethics: perspectives, chapter 12 financing water programs*, UNESCO, 2006.

Es necesario no mezclar descargas municipales con las industriales en el efluente, lo que implica establecer plantas de tratamiento específicas para las aguas  $v_1$  y  $v_2$ , y enfocarse en peso o unidades de contaminación durante un determinado período de tiempo <sup>67</sup>.

$$V = \sum_{i=1}^n v_i$$

<sup>67</sup> Evaluación Técnica del PROMMA 2002, CNA, World Bank, OMM, 2002,

.Donde:

- $V$  = Volumen de los efluentes cuando hay varios efluentes, por ejemplo:  
 $v_1$  = Volumen del efluente del proceso industrial de aguas residuales poco contaminadas.  
 $v_2$  = Volumen del Proceso industrial de aguas residuales muy contaminadas.

Entonces, para transformar a *valor* una contaminación que no cumpla con la Norma en peso, existen dos posibilidades.

- a) Si el valor de la contaminación producida por la empresa es conocida, entonces:

$$P = \sum_{i=1}^n p_1 + p_2 + \dots + p_i$$

Donde:

$P$	= Contaminación global producida por la empresa.
$p_2$	= Corresponde a los términos de peso o volumen de SST, DQO, DBO <sub>5</sub> , CF, GyA, pH, P, N,.. <sup>68</sup> .
$p_2 = SST_2 + DQO_2 + DBO_2 + GyA_2 + P_2 + N_2 \dots$	
$p_3$	= Concierne esencialmente por metales tóxicos (Arsénico y Mercurio).
$p_3 = As_3 + Hg_3$	

Estas medidas o evaluaciones se dan en mg, g o Kg. por día o por año, a veces en toneladas por año cuando la unidad de la contaminación debe ser expresada por un peso determinado. En resumen, la contaminación global se expresa por pesos y unidades heterogéneos.

- b) La otra posibilidad consiste en realizarse una evaluación del valor de la contaminación en términos de concentración de la siguiente forma:

$$P = CV = \sum_{i=1}^n c_i v_i$$

Donde:

$P$	= Contaminación global producida por la empresa.
$C$	= Valor global de la contaminación en términos de concentración
$V$	= Volumen de los efluentes
$c_i$	= Valor de la contaminación en términos de concentración del proceso industrial de aguas residuales poco contaminadas.
$v_i$	= Volumen del efluente del proceso industrial, de cada uno de los efluentes producidos.

<sup>68</sup> Coliformes Fecales (CF), Fósforo (P), Grasas y Aceites (GyA), Metales Pesados (MP), Nitrógeno (N), pH, entre otros

Lo que da lugar a:

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n c_i v_i}{\sum_{i=1}^n v_i}$$

Donde:

- $C$  = Valor global de la contaminación en términos de concentración.
- $c_i$  = Valor de la contaminación en términos de concentración del proceso industrial de cada uno de los efluentes producidos.
- $v_i$  = Volumen del efluente del proceso industrial, de cada uno de los efluentes producidos.

A diferencia de la ecuación de la primera posibilidad, las concentraciones no son conceptos aditivos, tal como los pesos y volúmenes.

Un muy importante aspecto a considerar es la eficacia de la planta de tratamiento, si la contaminación  $p$  es la cantidad de remoción de contaminación de la planta de tratamiento, entonces contaminación  $D$  en términos de cantidad es la siguiente:

$$D = P - p = \sum_{i=1}^n P_i - \sum_{i=1}^n p_i = \sum_{i=1}^n (P_i - p_i)$$

Donde:

$D$	=	Contaminación en términos de cantidad.
$P$	=	Contaminación global producida por la empresa.
$p$	=	Cantidad de remoción de contaminación de la planta de tratamiento.
$P_i$	=	Contaminación producida del proceso industrial de cada uno de los efluentes producidos.
$p_i$	=	Cantidad de remoción de contaminación del proceso industrial de cada uno de los efluentes producidos

$$d_i = P_i - p_i$$

Donde:

- $d_i$  = Contaminación en términos de cantidad del proceso industrial de cada uno de los efluentes producidos
- $P_i$  = Contaminación producida del proceso industrial de cada uno de los efluentes producidos.
- $p_i$  = Cantidad de remoción de contaminación del proceso industrial de cada uno de los efluentes producidos

$$D = \sum_{i=1}^n d_i$$

Donde:

**D** = Contaminación en términos de cantidad.

**d<sub>i</sub>** = Contaminación en términos de cantidad del proceso industrial de cada uno de los efluentes producidos

De esta forma, es más fácil medir la eficacia de una planta de tratamiento parámetro por parámetro, en lugar de usar la concentración.

Entonces solo sería necesario seleccionar los parámetros de contaminación, una opción es considerando las tecnologías más utilizadas por las plantas de tratamiento.

En el caso en que se desconozca la eficacia de la planta de tratamiento, es posible obtener el valor por el coeficiente de eficacia **k** de remoción de contaminación:

La ecuación de eliminación de contaminación es la siguiente:

$$p = kP$$

Donde:

<b>p</b>	= Cantidad de remoción de contaminación de la planta de tratamiento.
----------	--

<b>k</b>	= Coeficiente de eficacia de remoción de contaminación
----------	--

<b>P</b>	= Contaminación global producida por la empresa.
----------	--

La descarga de contaminación es:

$$D = P - kP = (1 - k)P$$

Donde:

<b>D</b>	= Contaminación en términos de cantidad.
----------	--

<b>P</b>	= Contaminación global producida por la empresa.
----------	--

<b>k</b>	= Coeficiente de eficacia de remoción de contaminación
----------	--

$$k = \frac{p}{P} = \frac{\sum_{i=1}^n p_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = V \frac{\sum_{i=1}^n c'_i}{\sum_{i=1}^n c_i v_i}$$

Donde:

**k** = Coeficiente de eficacia de remoción de contaminación.

- $p$  = Cantidad de remoción de contaminación de la planta de tratamiento.  
 $P$  = Contaminación global producida por la empresa.  
 $p_i$  = Cantidad de remoción de contaminación del proceso industrial de cada uno de los efluentes producidos.  
 $P_i$  = Contaminación producida del proceso industrial de cada uno de los efluentes producidos.  
 $V$  = Volumen de los efluentes mixtos.  
 $c'_i$  = Concentración eficazmente removida de cada uno de los parámetros de contaminación dentro de la planta de tratamiento.  
 $c_i$  = Concentración de cada uno de los efluentes producidos  
 $v_i$  = Volumen del efluente del proceso industrial, de cada uno de los efluentes producidos.

$$\sum_{i=1}^n c'_i \neq 1$$

Donde:

- $c'_i$  = Concentración eficazmente removida de cada uno de los parámetros de contaminación dentro de la planta de tratamiento.

La utilidad del coeficiente  $k$  es por razones administrativas. Se puede decir que:

- $k = 0.30$  a  $0.44$  para un tratamiento primario;
- $k = 0.45$  a  $0.74$  para un tratamiento secundario;
- $k = 0.75$  a  $0.90$  para un tratamiento terciario.

Para transformar la evaluación física en el impuesto PPP existen dos formas posibles:

Primera:

$$T = Dr = (1 - k)Pr$$

Donde:

- $T$  = Impuestos [pesos / año]  
 $D$  = Contaminación [Kg./año]  
 $r$  = Derecho [pesos / kg]  
 $k$  = Coeficiente de eficacia de remoción de contaminación.  
 $P$  = Contaminación global producida por la empresa.

Segunda:

$$T = (1 - k)cVr$$

Donde:

- $T$  = Impuestos [pesos / año]  
 $k$  = Coeficiente de eficacia de remoción de contaminación.  
 $c$  = Concentración [kg / m<sup>3</sup>]

$V$  = Volumen [ $m^3$  / año]  
 $r$  = Derecho [pesos / kg]

La primera fórmula es mejor que la segunda, por la razón de que se conocen valores de peso y de remoción, lo cual no sucede en la segunda ecuación.

Otra fórmula es la siguiente:

$$T = Dr'$$

Donde:

$T$  = Impuestos [pesos / año]  
 $D$  = Contaminación [ $m^3$  / año]  
 $r'$  = Derecho en pesos/ $m^3$

Esta fórmula para elaborar una tasa impositiva, se enfoca al consumo de agua, pero no para controlar su contaminación.

Retomando la primera fórmula posible para transformar la evaluación física en el impuesto PPP:

$$T = (1 - k) \sum_{i=1}^n (P_i r_i) = \sum_{i=1}^n (P_i - p_i) r_i = \sum_{i=1}^n d_i r_i$$

Donde:

$T$  = Impuestos [pesos / año]  
 $k$  = Coeficiente de eficacia de remoción de contaminación.  
 $P_i$  = Contaminación producida del proceso industrial de cada uno de los efluentes producidos.  
 $r_i$  = Derecho [pesos / kg]  
 $p_i$  = Cantidad de remoción de contaminación de cada uno de los efluentes producidos.  
 $d_i$  = Contaminación en términos de cantidad del proceso industrial de cada uno de los efluentes producidos.

De esta forma el coeficiente  $r$  no solo tiene un papel de control de la contaminación, sino que puede adoptar distintas formas de incentivos económicos, de acuerdo a los parámetros de contaminación elegidos.

### 3.2 EJEMPLO DE UN IMPUESTO DE PPP

De forma inicial es necesario establecer los valores impositivos por contaminante y por industria (ver anexo 4). Dado que en nuestro ejemplo estamos tomando una mezcla de las descargas de distintas industrias debido a que el parque industrial Resurrección no cuenta con separación de efluentes, se tomarán los valores impositivos determinados para la industria química (ácidos, bases y sales) debido a que son los más altos de nuestro estudio.

Aplicar los valores impositivos más altos para el parque industrial será un incentivo más para que los industriales separen los efluentes y cuenten con plantas de tratamiento de aguas residuales por tipo de industria.

Tabla 3.2 Valores impositivos por agentes contaminantes para la industria de Química<sup>69</sup> (ácidos, bases y sales) con un gasto de 101-250 l/seg.

Coeficiente	Valor impositivo de contaminante sin PTAR	Valor impositivo de contaminante con PTAR
$r_1$	6.101 pesos/ kg DQO	5.811 pesos/ kg DQO
$r_2$	2.988 pesos/ kg SST	2.846 pesos/ kg SST
$r_3$	5.730 pesos/ kg DBO <sub>5</sub>	5.458 pesos/ kg DBO <sub>5</sub>
$r_4$	0.426 pesos/ kg N	0.406 pesos/ kg N
$r_6$	0.111 pesos/ kg GyA	0.107 pesos/ kg GyA
$r_7$	0.684 pesos/ kg p	0.652 pesos/ kg p

Primero es necesario obtener el peso anual de los contaminantes vertidos:

Contaminantes vertidos: 2,438.12 kg / año<sup>70</sup>

Partiendo del supuesto de que el parque industrial carece de planta de tratamiento de aguas residuales, y que las industrias actualmente mezclan sus vertidos, tomaríamos los valores impositivos más altos con el objeto de motivar a las industrias a que instalen su propia planta de tratamiento en lugar de mezclar los vertidos, entonces su tasa impositiva sería la siguiente:

T =	(Carga contaminante*Costo de Vertido) para cada $r_i$
T =	15,782,811.51 de pesos anuales <sup>71</sup> .

69 Véase Anexo 4

70 Véase Anexo 2

71 Véase Anexo 3-A

Bajo el supuesto de que el parque industrial cuente con una planta de tratamiento secundario, con una eficacia del 55% se tendría el beneficio de que los valores impositivos son 5% más bajos, la tasa impositiva sería la siguiente:

T=	15,033,168.34 de pesos anuales
T' = (1 - k) T =	6,764,925.75 de pesos / anuales <sup>72</sup>

El ejercicio toma mayor relevancia si se compara el cobro que efectúa CONAGUA, SOAPAP y cálculo del PPP por el vertido de las descargas del parque industrial.

*Tabla 3.3 Comparación de recaudación entre CONAGUA, SOAPAP y el PPP al parque industrial Resurrección.*

		CONAGUA	SOAPAP	PPP
Monto a cobrar por el vertido del parque industrial "Resurrección". (millones de pesos)	Mensual	.388	.404	.552
	Anual	4.66	4.85	6.76

Fuente: Diseño y desarrollo de propuestas de instrumentos económicos, financieros, legislativos y de planeación de políticas públicas para apoyo al sector hídrico. E. F. Donath, H. D. Camacho, G. A. Ortiz. IJMTA 2008. Informe Final. Y datos obtenidos del desarrollo de este trabajo.

Como se observa en la tabla 3.3 la propuesta tarifaria, no solo presenta mejoras en la recaudación, sino que implica un incentivo a los usuarios industriales a tratar de contaminar menos y de esta forma poder recuperar cuerpos de agua.

Las ventajas de esta metodología son:

- Esta evaluación es posible realizarla de forma individual a cada industria.
- Permite establecer un cobro para las descargas particulares vertidas por cada industria.
- Es un incentivo para que el sector industrial logre mayores eficiencias en las plantas de tratamiento existentes.
- Es una metodología de impulso ambiental, para la recuperación de cuerpos de agua.

<sup>72</sup> Véase Anexo 3-B

### 3.3 LITIGIOS ENTRE EL ESTADO Y LOS USUARIOS

Uno de los puntos medulares son los litigios entre el Estado y los usuarios industriales por la aplicación del impuesto, por ende, la regla a prevalecer es la siguiente:<sup>73</sup>

- I. Cuando exista inconformidad por la cantidad de contaminación producida el usuario industrial, deberán ser medidos todos los efluentes  $v_i$  y la concentración son  $c_i$ .

Cuando  $P_i = \sum c_i v_i$  es superior a la estimación de  $P_i$  el usuario industrial va a pagar el costo de medición y, por consiguiente, pagar el impuesto sobre la base de  $P_i$

Cuando  $P_i = \sum c_i v_i$  es inferior a  $P_i$  el ente administrativo asumirá el costo de medición la medida y cambiará el coeficiente de pago industrial al nuevo  $P_i$  medido.

- II. El mismo concepto será aplicado en caso de inconformidad sobre el coeficiente de remoción de la planta de tratamiento  $k$ .

$$k = V \frac{\sum_{i=1}^n c'_i}{\sum_{i=1}^n c_i v_i}$$

Cuando  $k$  sea superior al valor estimado, entonces los costos de medición son pagados por el órgano del Estado y el impuesto es sobre la base de una menor  $(1-k)$ .

En contraparte, si el valor  $k$  es superior al valor estimado, el impuesto se paga al valor  $k$  obtenido y el costo de medición es pagado por el usuario industrial.

<sup>73</sup> "Pollution des eaux, redevances, législation et réglementation", les Éditions des Journaux Officiels, 1999

## 4. RESULTADOS

### 4.1 UNA NUEVA POLÍTICA SUSTENTABLE EN MATERIA DE AGUA PARA DESCARGA DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES

La creación de un impuesto recaudador para las aguas residuales puede ser aceptado siempre y cuando exista una política que otorgue recursos para financiar proyectos de tratamiento<sup>74</sup>

Esta política debe guiarse bajo dos enfoques: *financiero y técnico*.

1. *El enfoque financiero* considera que los recursos monetarios son escasos, y la experiencia internacional demuestra que las inversiones para el agua necesitan todo tipo de fuentes de financiamiento, por lo tanto, en las condiciones actuales es necesario revisar dichas fuentes de financiamiento de los proyectos de inversión en saneamiento.

La utilización de alguna de estas fuentes de financiamiento está en función de la naturaleza de la obra, región y zona específica del Estado o zona a la cual será destinada la obra, asimismo, se relaciona el nivel de desarrollo económico e ingresos de la población, que esté en capacidad de pagar un servicio público o el desarrollo del mismo.

En los últimos años se han utilizado los siguientes esquemas de financiamiento por parte de los organismos operadores, en las que participan también gobiernos estatales y municipales.

- a. Contratación de deuda
- b. Bursatilización de deuda
- c. Programas Gubernamentales

La relevancia del enfoque de un amplio programa financiero de agua residual, consiste en que las opciones técnicas se ven influenciadas por los recursos monetarios.

- a. En el caso de contratación de deuda, es un mecanismo con obligaciones derivadas de la celebración de empréstitos concertados a plazos. La banca comercial, es la fuente tradicional de financiamiento, pero con algunas dificultades como las garantías exigidas por la banca o los plazos a los que se pueden otorgar los financiamientos.
- b. A últimas fechas ha avanzando el esquema de la bursatilización de la deuda, concepto referido fundamentalmente a la obtención de recursos de financiamiento para la inversión mediante operaciones en mercado abierto, es

---

74 La qualité de l'eau et de l'assainissement en France Office parlementaire d'évaluation des choix scientifique et techniques, rapport n°215, Sénat, n°705 Assemblée Nationale.

decir los mercados financieros y, más específicamente, el mercado de dinero, en el cual, existe una importante cantidad de ahorro financiero del país, como el que se deriva de las cuentas de fondos de ahorro para el retiro. La ventaja del esquema de financiamiento mediante la bursatilización de la deuda, consiste en el manejo del largo plazo, las menores tasas de interés que esto implica y los plazos más largos de amortización, por lo que no constituyen presiones grandes sobre las finanzas públicas estatales. Otra característica del esquema de bursatilización de deuda, que debe tomarse más como ventaja que desventaja es que, por un lado los organismos reguladores del mercado abierto de dinero, como es la Comisión Nacional Bancaria y de Valores (CNBV), además de la Bolsa Mexicana de Valores (BMV) y, por otro lado someterse a la certificación de empresas especializadas en la materia, como Fitch Ratings, Standard and Poors's y Moody's.

- c. El Estado puede implantar políticas de inversión de plantas de tratamiento en usuarios industriales, a través del uso de los montos recaudado por el cobro de la tarifa impositiva.

## 4.2 FUENTES DE RECUPERACIÓN

El aspecto más relevante para recuperar los montos de inversión que van efectuarse es a través de una “*tarifa de saneamiento*”, Este componente tiene como objetivo permitir que la empresa o institución que va a realizar la inversión, sea autosustentable financieramente en el largo plazo al tener una tarifa basada en los costos reales.

En este contexto, la sustentabilidad depende de la disponibilidad de recursos para financiar el funcionamiento, el mantenimiento y la inversión necesaria para mejorar el servicio para los usuarios existentes y futuros.

Un aspecto a considerar en la política tarifaria de un monopolio natural (saneamiento) es regularlo y lograr la eficiencia económica. Ya que no es adecuado que la ineficiencia del servicio se traslade a las tarifa; pues ello generaría el rechazo de los consumidores e ineficiencia económica.

Por consiguiente, las siguientes directrices y observaciones deben ser tenidas en cuenta para llevar a cabo una evaluación financiera del servicio:<sup>75</sup>

- a) El ingreso por concepto del servicio de saneamiento en el largo plazo, debe ser más que suficiente para cubrir los costos de los servicios de operación, mantenimiento, administración, depreciación, y retribución del capital invertidos.
- b) La generación interna neta de caja debe ser excedente, con objeto de evitar el endeudamiento para atender los gastos corrientes. Lo que significa que los ingresos operativos deben ser superiores a los costos operativos con la finalidad de disponer de excedentes para atender los costos de los activos: servicio de la deuda y retribución de los capitales propios. Aunque la relación apropiada entre ingresos y costos operativos debe ser calculada en cada caso, la experiencia indica que cuando los ingresos operativos no exceden a los costos operativas en al menos un 15%, los ingresos de los servicios no son suficientes para atender los costos de los activos.
- c) El programa de inversiones debe tener en cuenta la capacidad de generación de fondos y las necesidades de los servicios. Cuando los servicios tengan una capacidad limitada de generar flujos de caja puede ser recomendable dar prioridad a las inversiones que aumenten el flujo de caja.

Otras variables necesarias que fomenten un clima favorable para las inversiones en el saneamiento y que faciliten el acceso a los recursos financieros y reduzcan el costo del capital son:

---

75 Banco Interamericano de Desarrollo (BID), 2008.

- a) La eficiencia en el uso de los recursos, es decir, utilizar los recursos necesarios para el servicio evitando despilfarros.
- b) Ofertar volúmenes de agua que sea intercambiable.
- c) Que la tarifa refleje el costo del saneamiento a largo plazo tanto para retribuir todos los costos en que se incurre como para asegurar un uso eficiente y racional del agua.

Otras recomendaciones establecidas por el Banco Mundial (BM) para establecer un programa de sustentabilidad financiera en el diseño y análisis de un proyecto de saneamiento son las siguientes:

- a) El flujo de caja operativo es un indicador recomendable para analizar los avances de un programa de sustentabilidad financiera sobre todo en las fases iniciales.
  - b) Los análisis de la capacidad financiera del servicio para atender el servicio de la deuda deben ser los mismos cualquiera que sea la naturaleza, pública o privada, de la empresa que suministra el servicio.
  - c) Las tarifas tienen que ser suficientes para cubrir los costos de operación, mantenimiento administración y las obligaciones financieras de los servicios. Por obligaciones financieras se entiende el pago de intereses y amortización del principal y retribución del capital. No obstante, no es aconsejable que la tarifa cubra la amortización de créditos o préstamos a corto plazo cuando estos pueden ser refinanciados y su amortización distribuida en varios períodos.
  - d) Un sistema estable para el cálculo de las tarifas reduce los elementos de arbitrariedad y mitiga los riesgos de un cálculo inapropiado de las mismas. Se entiende por sistema estable un sistema cuyos principios están incluidos en una ley, sus detalles están regulados por normas de suficiente rango cuya modificación requiere un procedimiento claro y transparente y de acuerdo con el rango de la modificación.
  - e) La retribución de los capitales invertidos debe estar de acuerdo con las condiciones efectivas del mercado de cada país: disponibilidad, plazo y costo.
  - f) El sistema para determinar las tarifas debe incluir un mecanismo ágil para dirimir disputas entre los reguladores y las empresas prestadoras de los servicios.
2. *El enfoque técnico* no solo consiste en el diseño de las distintas infraestructuras sanitarias, es necesario desarrollar un conocimiento de la gama de precios, lo que implica desarrollar estudios específicos sobre el costo de tecnologías.

En la tabla 4.1 se muestran los costos para los países europeos<sup>76</sup> estos *números* deben ser considerados como un ejemplo y no como una referencia. Sin embargo, muestran la importancia que tiene el saneamiento, ya que requiere de mayores recursos financieros para establecerse.

*Tabla 4.1 Costos agua potable y saneamiento (pesos/m<sup>3</sup>).*

<b>Costos de operación (pesos/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Suministro de agua potable</b>	<b>Saneamiento</b>	<b>Presupuesto total</b>
Costos financieros	4.2	5.0	9.2
Costos técnicos operativos (salarios, consumibles, entre otros)	5.0	3.3	8.3
Otros costos (protección al medio ambiente, comunicación)	0.3	0.5	0.8
<b>Total</b>	<b>9.5</b>	<b>8.8</b>	<b>18.3</b>

Fuente: Communication de la Commission Européenne du 2000 au Conseil, au Parlement et au Comité Economique et Social sur la tarification et la gestion durable des ressources en eau

---

<sup>76</sup> Estos países deben cumplir con normas de vertido de aguas residuales de la Unión Europea.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 ASPECTOS JURÍDICOS Y LA LEGITIMIDAD

En los capítulos anteriores, no se ha propuesto ningún cambio a las leyes y declaraciones jurídicas existentes, solo se ha hecho referencia a la creación de un *impuesto ambiental*, que no significa que deba sustituir el pago de derecho de "uso de cuerpo receptor"; esta propuesta propone complementar la legislación actual.

Este derecho, se paga para obtener la autorización para descargar un volumen utilizado, en un cuerpo de agua. La concentración del agua utilizada se limita a determinadas concentraciones, que señala el artículo 278-B de la LFD (2008) en la parte correspondiente a los parámetros a considerar como carga contaminante en unidades de masa sobre tiempo y de rangos asignados de descarga. Así que si los vertidos exceden los LMP de concentración autorizado, la actividad industrial debe ser suspendida.

La propuesta se enfoca a que el impuesto de gravamen producto de las inspecciones realizadas por el órgano, se sustente en el peso de la contaminación, cualquiera que sea la cantidad. Y el pago impositivo no sería un derecho a contaminar, sino una contribución mutua para control de la contaminación.

El concepto detrás del nuevo impuesto se basa en la modificación del concepto de derecho de vertido aguas, ya no como un bien libre, sino como un bien económico y consiste en:

*“Como punto central de las estrategias para alcanzar un aprovechamiento del agua eficiente, equitativo y ambientalmente aceptable, se refuerza el concepto del agua como un bien económico en sustitución del concepto del agua como un bien libre. De ahí que la política hidráulica comprenda la introducción de sistemas de precios y otros incentivos económicos.”<sup>77</sup>*

El objetivo del derecho actual parte de cubrir los costos *promedio* de tratamiento, su aplicación es general y estricta, este impuesto complementaría en forma individual lo que debería pagarse por cualquier grado de contaminación adicional, que por la eficiencia de remoción o la tecnología instalada no es suficiente, para así internalizar todo el costo de tratamiento específico de la actividad industrial de que se trate.

La idea de este impuesto es que sea recaudado a nivel local (estatal o municipal) de esta manera se estaría estableciendo una sana competencia regional; en lugares que se contaminan más las aguas debido a los procesos de tratamiento ineficientes, el nivel de cobro será mayor y viceversa, un buen desempeño ambiental en el que todos cumplen con los costos totales reales de responsabilidad por contaminación significaría pagar menos impuestos.

---

<sup>77</sup> Programa Hidráulico 2001 – 2006, en la sección “Mecanismos Económicos y Financieros”. 2º edición.

Los bienes y servicios internalizarían la totalidad de los costos en el sistema económico de precios de forma transparente, explícita y directa eliminando los subsidios y las distorsiones de mercados que actualmente se presenta en la que paga toda la sociedad la insuficiencia de algunos.

## 5.2 CATEGORIZAR INDUSTRIAS POR CONTAMINANTE

1. El programa de control puede mostrar resultados a mediano plazo (2 años) de llevarse a cabo las siguientes acciones:<sup>78</sup>
  - a) Establecer un límite inferior de tasa impositiva sobre contaminación, de esta forma se genera un incentivo para eliminar muchos contaminantes vertidos en pequeñas cantidades.
  - b) Establecer una *categorización* de empresas con respecto a la contaminación producida, de tal forma que sean monitoreadas y paguen de acuerdo a su contaminación vertida.

Sobre este último punto, se agrega como propuesta la tabla 5.1, en la cual se propone que las industrias sean categorizadas de acuerdo a la contaminación que generan y poder aplicar así el sistema impositivo complementario.

*Tabla 5.1 Propuesta de categorización de empresas con respecto a su contaminación.*

Industria	Propuesta
<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Aluminio</li><li>▪ Minerales metálicos</li><li>▪ Minerales no metálicos</li><li>▪ Siderúrgica</li></ul>	CATEGORÍA 1
<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Automotriz</li><li>▪ Bienes de Capital y metal mecánica</li><li>▪ Electrodomésticos</li><li>▪ Manufacturas Eléctricas</li><li>▪ Electrónica y Comunicaciones</li><li>▪ Equipo Médico y Paramédico</li><li>▪ Industria Naval</li><li>▪ Transporte Marítimo</li><li>▪ Juguetes y artículos deportivos</li></ul>	CATEGORÍA 2
<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Química inorgánica básica</li><li>▪ Plástico</li><li>▪ Petroquímica</li><li>▪ Jabones, detergentes y cosméticos</li></ul>	CATEGORÍA 3

<sup>78</sup> Recomendaciones del Programa PROMMA, OMM, 2007.

Industria	Propuesta
<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Cristalería</li><li>▪ Farmacéutica</li><li>▪ Fibras-Textil-Vestido</li><li>▪ Joyería</li><li>▪ Vidrio</li></ul>	
<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Construcción</li><li>▪ Muebles y productos de madera</li><li>▪ Productos de cerámica</li></ul>	CATEGORÍA 4
<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Abonos y fertilizantes</li><li>▪ Cuero y calzado</li><li>▪ Forestal, celulosa, papel, editorial e imprenta</li></ul>	CATEGORÍA 5
<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Aceites y grasas vegetales</li><li>▪ Hule</li></ul>	CATEGORÍA 6
<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Azúcar</li><li>▪ Malta y Cerveza</li><li>▪ Refrescos</li><li>▪ Tequila</li><li>▪ Dulces y chocolates</li></ul>	CATEGORÍA 7
<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Carnes frías y embutidos</li><li>▪ Conservas alimenticias</li><li>▪ Harina de trigo, pan, galletas y pastas</li><li>▪ Harina – masa y tortilla</li><li>▪ Leche y derivados lácteos</li></ul>	CATEGORÍA 8

Para el éxito de esta propuesta se requiere de personal con un perfil de comercialización con el objeto de explicar el ajuste tarifario al gremio industrial y de esta forma facilitar la información de los alcances de la medida.

### 5.3 MUESTREOS

Para efecto de los muestreos, la CONAGUA acepta muestras de laboratorios acreditados por la Entidad Mexicana de Acreditación A.C. (EMA), pero con frecuencia los laboratorios están vinculados con empresas que implementan plantas de tratamiento; lo que implica un conflicto de intereses, ya que muchas de ellas deben ser medidas por empresas relacionadas. Para este aspecto se propone que una entidad distinta realice las evaluaciones en conjunto con la CONAGUA, la cual podría ser las Universidades Públicas, que cuentan con laboratorios y son ajenas a las empresas constructoras de plantas de tratamiento.

## 5.4 PROGRAMA DE COMUNICACIÓN

El impuesto sin duda será criticado, por ende, debe hacerse énfasis de la importancia del pago por contaminar y que el impuesto es un obligación de aquellos que afectan el recurso hídrico, aunado a un programa de comunicación que podría seguir el formato elaborado por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO).<sup>79</sup>

Tabla 5.2 Programa de Comunicación, UNESCO.

Nº	Recomendaciones durante la implementación de políticas de gestión del agua
1	Identificar a los distintos interlocutores locales y hacerlos partícipes para el arranque de la política a implementar.
2	Evaluar las necesidades de la población.
3	Supervisar la aplicación de las acciones acordadas, en la negociación entre la comunidad.
4	Definir y establecer, con la colaboración de la población los alcances y la relevancia de la participación.
5	Asegurarse de que cada acción, debe ser sustentada por una política educativa e informativa.
6	Realizar periódicamente reuniones con la población en donde se puedan plantear experiencias internacionales.
7	Establecer las bases para crear un fondo financiero y un conjunto de normas necesarias, para llevar a cabo acciones de desarrollo

Fuente: Abstract from Water and Ethics, UNESCO

<sup>79</sup>Abstract from Water and Ethics, UNESCO

## **6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Instituto Nacional de Ecología. Indicadores ambientales. INEGI 2008.

La qualité de l'eau et de l'assainissement en France Office parlementaire d'évaluation des choix scientifique et techniques, rapport n°215, Sénat, n°705 Assemblée Nationale.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2007.  
Coordinación de Políticas Públicas de la Presidencia, 2008

Estímulos para el uso del agua tratada en el Distrito Federal”, Ortiz & López, 2002.

Sawyer, C.; McCarty, P. “Chemistry for Environmental Engineering”. McGraw Hill, New York, 1996.

D. Pokhrel, T. Viraraghavan. “Treatment of Pulp and Paper Mill Wastewater-A Review”. Science of the Total Environment. Vol. 333. 2004. pp. 37-58.

E. Almeida, M. R. Assaline, M. A.Rosa. “Tratamiento de Efluentes Industriais por Processos Oxidativos na presença de ozônio”. Química Nova. Vol. 27. 2004. pp. 818-824.

D. V. Savant, R. L. Abdul-Rahman, D. R. Ranade. “Anaerobic Degradation of Adsorbable Organic Halides (AOX) from Pulp and Paper Industry Wastewater”. Bioresource Technology. Vol. 97. 2006. pp. 1092-1104.

C. B. C. Raj, H. L. Quen. Advanced Oxidation Process for Wastewater Treatment: Optimization of UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> process through statistical technique”. Chemical Engineering Science. Vol. 60. 2005. pp. 5305-5311.

Computer Assisted Procedure for Design and Evaluation of Wastewater Treatment System (CAPDET) desarrollado por la EPA y el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los EUA (U.S. Corps of Engineers).

Informe sobre cálculo de costos financieros del endeudamiento con los organismos multilaterales, año 2006.

Manual para el diseño de cualquier planta de tratamiento de aguas residuales realizado por la Environment Protection Agency. [www.epa.gov](http://www.epa.gov)

J.A. Cortés, M.T. Alarcón, M. Villacaña. XV Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y ciencias Ambientales. “Tratamiento del agua residual en la industria de la celulosa” 2006.

McDonald, Ronald M. “Pulp and Paper Manufacture” Vol. II, McGraw Gill, Edición 1990.

Ávila Sánchez Marcos Alejandro, Moreno Álvarez José Roberto, Villafuerte Villegas Luis Eduardo, Zepeda Basurto Mario Enrique y Prof. Fernando Sancén Contreras "Uso y reuso del agua en la ciudad de México, una solución al abasto". México, 2005.

Seóñez M., "Depuración de las aguas residuales, con tecnologías de bajo costo". Ediciones Mundi-Prensa.

Wang, Lawrence K., Shammass Nazih, K., Hung, Yung-tse. "Waste Treatment In The Metal Manufacturing, Forming, Coating, And Finishing Industries" 2008.

Hart, Groves, Bucley & Southworth. "A Guide for the planning design and implementation of wastewater treatment plants in the textile industry", 1995

Manual de ICAYS, "The treatment of effluents generated by textile industry", 1997. Obaya, M.C; Valdés, E; Ramos, J. "Uso de las aguas residuales de la industria azucarera y derivados en Cuba", Cuba, 1995.

R.Corbitt, "Estandar Handbook of Environmental Engineering", MacGraw-Hill, 1989.

Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos Artículo 73 Fracción XVI.

Código Fiscal de la Federación para el ejercicio fiscal 2007.

Ley Federal de Derechos. Artículos 276, 278.

Ley de Ingresos de la Federación.

Ley de Aguas Nacionales.

Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Artículos 11 y 12.

Ley Federal sobre Metrología y Normalización Artículo 2.

NOM-127-SSA1-1994, "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano- límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización"

NOM-001-SEMARNAT-1996. Que establece los límites permisibles de calidad y los tratamientos de potabilización del agua para uso y consumo humano, que deben cumplir los sistemas de abastecimiento públicos y privados o cualquier persona física o moral que la distribuya, en todo el territorio nacional

NOM-002-SEMARNAT-1996. Que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.

NOM-003-SEMARNAT-1997. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público.

Esquema general del agua en México. A. Q. R., 1977 SHCP, en el que se incluye el primer proyecto de decreto por la obligación de pago por “productos” por el uso, explotación, o aprovechamiento de las aguas nacionales de vasos, corrientes, lagunas y esteros, así como el arrendamiento y la extracción de materiales de las zonas federales correspondientes.

Reformas a la legislación Fiscal en materia de aguas. A. Olaiz, et. Al., revista de ingeniería Hidráulica en México. Enero/abril de 1986

Marco para un nuevo Régimen fiscal del Agua en México, Tesis de Licenciatura, Instituto Politécnico Nacional. 1982. G.A. Ortiz Rendón.

Programa de devolución de derechos de agua, implementado por CONAGUA, 2008.

AquaSBR Design Manual, 2004.

Yann Laurens, Stéphanie Blanc. “Directive cadre sur l’eau, analyse économique de la récupération des coût”, 2000.

André Wulf – le droit de l’environnement au travers de quelques texts, CNAM, oct. 2001

WMO/PROMMA Report No. 138; Proyecto de Reglamento para una Cuenca Sobreexplotada; Pierre Tènière Buchot , 2002.

Direction des Etudes et de l’Evaluation Environnementale. Pôle évaluation et prospective. Agence de, 2005

Pierre F. Tènière-Buchot. Water and Ethics :perspectives, chapter 12 financing water programs, UNESCO, 2006.

Evaluación Técnica del PROMMA 2002, CNA, World Bank, OMM, 2002

Pollution des eaux, redevances, législation et réglementation”, les Éditions des Journaux Officiels, 1999.

La qualité de l'eau et de l'assainissement en France Office parlementaire d'évaluation des choix scientifique et techniques, rapport n°215, Sénat, n°705 Assemblée Nationale.

Página oficial del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), 2008.

Communication de la Commission Européenne du 2000 au Conseil, au Parlement et au Comité Economique et Social sur la tarification et la gestion durable des ressources en eau.

Programa Hidráulico 2001 – 2006, en la sección “Mecanismos Económicos y Financieros”. 2° edición

Recomendaciones del Programa PROMMA, OMM, 2007

Abstract from Water and Ethics, UNESCO

Diseño y desarrollo de propuestas de instrumentos económicos, financieros, legislativos y de planeación de políticas públicas para apoyo al sector hídrico. Eduardo F. Donath, Héctor D. Camacho, Gustavo A. Ortiz. IMTA 2008. Informe Final.

Estadísticas del Agua en México. Ediciones 2005 al 2009. CONAGUA-SEMARNAT.

Agua, medio ambiente y sociedad. J. Carabias, R. Landa, J. Collado, P. Martínez. Primera edición, 2005.

## 7. ANEXOS

### 7.1 ANEXO 1

*Descargas del fraccionamiento industrial Resurrección hacia la barranca San Antonio.*

No.	No. de título	Titular	Actividad Industrial	Vol. diario (m <sup>3</sup> /día)	Volumen (m <sup>3</sup> /año)	Procedencia de la descarga	Fecha de inicio del título	Fecha de término del título	Parámetros NOM-001-SEMARNAT-1996
1	04PUE110109/18FMGE99	PEPECHAMACO S.A. DE C.V.	TEXTIL	18	5184	PROCESOS, SERVICIOS SANITARIOS, LAVADO	07/10/2000	07/10/2010	NO CUMPLE
2	04PUE110014/18FRGE99	PRODUCTOS CONVIL S.A. DE C.V.	QUÍMICA	3.4	1142.4	PROCESOS, SERVICIOS SANITARIOS	23/09/2001	23/09/2011	NO CUMPLE
3	04PUE108228/18FMGE98	LA MAISON S. DE R.L.	QUÍMICA	0.77	221.76	PROCESOS, SERVICIOS SANITARIOS, LAVADO	29/12/1999	29/12/2009	NO CUMPLE
4	04PUE108851/18FMGE99	JANA TEXTIL S.A. DE C.V.	TEXTIL	2.06	648	PROCESOS, SERVICIOS SANITARIOS	09/04/1999	09/04/2009	CUMPLE
5	04PUE108850/18FMGE99	MUBALD S.A. DE C.V.	QUÍMICA	0.22	66	PROCESOS, SERVICIOS SANITARIOS	09/04/1999	09/04/2009	NO CUMPLE
6	04PUE108849/18FMGE99	TAURO TEXTIL S.A. DE C.V.	TEXTIL	3.74	1272	PROCESOS, SERVICIOS SANITARIOS	09/04/1999	09/04/2009	CUMPLE
7	04PUE111900/18FMGE01	MASTER-DENIM S.A. DE C.V.	TEXTIL	88.3	30100	PROCESOS, SERVICIOS SANITARIOS	02/08/2001	02/08/2011	NO CUMPLE
8	04PUE108367/18FQGE99	DAMON S.A. DE C.V.	TEXTIL	330	65000	PROCESOS, SERVICIOS SANITARIOS	25/01/1999	25/01/2009	CUMPLE
9	04PUE112863/18FMGE03	BIMBO DEL GOLFO S.A. DE C.V.	ALIMENTICIA	95	34675	PROCESOS, SERVICIOS SANITARIOS	27/08/2003	26/08/2013	CUMPLE
10	A5PUE101582/18FMGR95	LUK DE PUEBLA S.A. DE C.V.	QUÍMICA-AUTOMOTRIZ	79.7	20722	PROCESOS, SERVICIOS SANITARIOS	22/12/1995	22/12/2005	NO CUMPLE
11	04PUE113669/18FMGE04	GAS DE ORIENTES S.A. DE C.V.	QUÍMICA	24	8656	PROCESOS, SERVICIOS SANITARIOS	21/09/2004	21/09/2014	NO CUMPLE
12	04PUE113568/18FMGE04	SABORMEX S.A. DE C.V.	ALIMENTICIA	792.6	24729.12	PROCESOS, SERVICIOS SANITARIOS	08/07/2004	08/07/2014	CUMPLE
13	OF.BOO.E14.1.0980/4	LUNKOMEX S.A. DE C.V.	QUÍMICA-AUTOMOTRIZ	19	6709	PROCESOS, SERVICIOS SANITARIOS	25/01/2006	25/01/2016	CUMPLE

No.	No. de título	Titular	Actividad Industrial	Vol. diario (m <sup>3</sup> /día)	Volumen (m <sup>3</sup> /año)	Procedencia de la descarga	Fecha de inicio del título	Fecha de término del título	Parámetros NOM-001-SEMARNAT-1996
14	04PUE108222/18FMGE98	GARTE TEXTIL S.A. DE C.V.	TEXTIL	2.85	790	PROCESOS, SERVICIOS SANITARIOS	28/12/1998	28/12/2008	CUMPLE
15	04PUE108250/17FMGE99	TEXTILES NUEVA ERA S.A. DE C.V.	TEXTIL	1.44	337	PROCESOS, SERVICIOS SANITARIOS	07/01/1999	07/01/2009	CUMPLE
16	04PUE100350/19FQGE09	FIDEICOMISO INGENIO DE ATENCINGO S.A.	AZUCARERA	10.1	3686.5	PROCESOS, SERVICIOS SANITARIOS	12/10/1999	12/10/2009	CUMPLE
17	OF.BOO.E.14.1.2114/2003	ALUMINIO CONESA, S.A. DE C.V.	QUÍMICA	15	5475	PROCESOS, SERVICIOS SANITARIOS	15/09/2004	15/09/2014	NO CUMPLE
18	5PUE100794/18FMGE94	EMBOTELLADORA HERDOMO, S.A. DE C.V.	ALIMENTICIA	467.3	145797.6	PROCESOS, SERVICIOS SANITARIOS	01/02/2003	01/02/2013	CUMPLE
19	04PUE113287/18FMGR04	CONVERMEX, S.A. DE C.V.	QUÍMICA	72.38	25550	PROCESOS, SERVICIOS SANITARIOS	02/02/2004	02/02/2014	CUMPLE
20	04PUE114353/18FMDL07	FEDERAL MOGUL, S.A. DE C.V.	QUÍMICA	102	30600	PROCESOS, SERVICIOS SANITARIOS	14/09/2007	14/09/2017	NO CUMPLE
21	04PUE101439/18FMGE00	EMBOTELLADORA FERSAN S.A. DE C.V.	ALIMENTICIA	250	78000	PROCESOS, SERVICIOS SANITARIOS	13/11/2000	12/05/2005	CUMPLE

Volumen total de la descarga: 489,361.38

Fuente: Registro Público de Derechos de Agua, con datos tomados en el año 2009

## 7.2 ANEXO 2

*Descargas del fraccionamiento industrial Resurrección hacia la barranca San Antonio.*

<b>Observaciones</b>	<b>DQO</b> (mg/l)	<b>DBO</b> (mg/l)	<b>SST</b> (mg/l)	<b>N</b> (mg/l)	<b>GyA</b> (mg/l)	<b>P</b> (mg/l)	<b>Carga Contaminante</b> kg/m <sup>3</sup>
1	210.56	41.14	25.33	3.24	12.24	5.22	108.67
2	495	151.2	29.6	9.18	17.8	12.4	261.04
3	478.5	139.56	45.23	28.34	22.77	15.28	266.33
4	195	91.25	58.35	19.56	13.01	3.48	138.94
5	66.5	8	9	0	0	0	30.48
6	46.7	31.8	4	18.57	7	2.27	40.27
7	70.4	690	350	75.7	94.5	13.64	472.40
8	602.24	169.33	132.5	72.66	34.56	20.78	376.71
9	89.23	45.36	39.16	5.12	10.28	1.65	69.64
10	0	48.56	54	2.24	4	0.65	39.95
11	77.52	39.17	16.39	15.5	12.51	4.11	60.30
12	241.36	102.63	97.23	16.87	15.63	8.45	175.99
13	50.8	29.56	31.43	8.43	8.6	2.16	47.81
14	98.3	87	122	4.5	8.5	2.8	117.93
15	388		71.4	89.92	5.38	15.86	208.25
16	15	8	9	18.5	8.7	4.93	23.41
<b>Σ =</b>	<b>3,125.11</b>	<b>1,682.56</b>	<b>1,094.62</b>	<b>388.33</b>	<b>275.48</b>	<b>113.68</b>	<b>2,438.12</b>

## 7.3 ANEXO 3

Tabla 3-A. Propuesta de cobro por agentes contaminantes para la industria química (plaguicidas, resinas y hule sintético) sin Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

Concepto	Unidad	DQO	DBO	SST	N	GyA	P	
Contaminantes vertidos	mg/l	3,125.11	1,682.56	1,094.62	388.33	275.48	113.68	
Contaminantes vertidos	kg/m <sup>3</sup>	3.13	1.68	1.09	0.39	0.28	0.11	
Contaminantes vertidos	kg	1,529,308.1 4	823,379.88	535,664.75	190,033.7 0	134,809.2 7	55,630.60	
Valor impositivo por kg sin tratamiento	\$	6.101	5.730	2.988	0.426	0.111	0.684	
Pago por contaminante	\$	9,330,308.9 8	4,717,966.7 3	1,600,566.2 8	80,954.36	14,963.83	38,051.33	
Pago anual sin PTAR	\$							<b>15,782,811.5 1</b>

*Tabla 3-B. Propuesta de cobro por agentes contaminantes para la industria química (plaguicidas, resinas y hule sintético) con Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.*

Concepto	Unidad	DQO	DBO	SST	N	GyA	P	
Contaminantes vertidos	mg/l	3,125.11	1,682.56	1,094.62	388.33	275.48	113.68	
Contaminantes vertidos	kg/m <sup>3</sup>	3.13	1.68	1.09	0.39	0.28	0.11	
Contaminantes vertidos	kg	1,529,308.1 4	823,379.88	535,664.75	190,033.7 0	134,809.2 7	55,630.60	
Valor impositivo por kg sin tratamiento	\$	5.811	5.458	2.846	0.406	0.107	0.652	
Pago por contaminante	\$	8,886,809.6 1	4,494,007.4 0	1,524,501.8 9	77,153.68	14,424.59	36,271.15	
Base	\$							15,033,168.3 4
Eficiencia de remoción de la PTAR	%							55.00
Pago anual con PTAR	\$							<b>6,764,925.75</b>

## 7.4 ANEXO 4

*Valores impositivos de contaminantes por cada tipo de industria*

1. Celulosa y Papel				
Parámetro	mg/l	kg/m <sup>3</sup>	Costos base para industrias que si cuentan con PTAR (\$)	Costos base para industrias que no cuentan con PTAR se aplica incremento del 5% para incentivar construcción de PTAR (\$)
Volumen de la descarga	4174.03	4.17403		
Grasas y Aceites	227	0.227	0.184	0.193579466
Sólidos Suspendidos Totales	1140.38	1.14038	0.926	0.97248525
Demanda Bioquímica de Oxígeno <sub>5</sub>	1784	1.784	1.449	1.521346996
Nitrógeno Total	6.28	0.00628	0.005	0.005355414
Fósforo Total	3.37	0.00337	0.0027	0.002873845
Demanda Química de Oxígeno	1013	1.013	0.823	0.863859028
Suma			3.390	3.560

2. Siderúrgica				
Parámetro	mg/l	kg/m <sup>3</sup>	Costos base para industrias que si cuentan con PTAR (\$)	Costos base para industrias que no cuentan con PTAR se aplica incremento del 5% para incentivar construcción de PTAR (\$)
Volumen de la descarga	1839.52	1.83952		
Grasas y Aceites	86.54	0.08654	0.474	0.497923023
Sólidos Suspendidos Totales	393.93	0.39393	2.159	2.266545142
Demanda Bioquímica de Oxígeno <sub>5</sub>	605.74	0.60574	3.319	3.485231017
Nitrógeno Total	14.95	0.01495	0.082	0.086017439
Fósforo Total	6.36	0.00636	0.0349	0.036593372
Demanda Química de Oxígeno	732	0.732	4.011	4.211690006
Suma			10.080	10.584

<b>3. Acabados en textiles de algodón</b>				
Parámetro	mg/l	kg/m <sup>3</sup>	Costos base para industrias que si cuentan con PTAR (\$)	Costos base para industrias que no cuentan con PTAR se aplica incremento del 5% para incentivar construcción de PTAR (\$)
Volumen de la descarga	2280.9	2.2809		
Grasas y Aceites	19.91	0.01991	0.051	0.053342983
Sólidos Suspendidos Totales	91.29	0.09129	0.233	0.244584677
Demanda Bioquímica de Oxígeno <sub>5</sub>	999.27	0.99927	2.550	2.677249757
Nitrógeno Total	16.9	0.0169	0.043	0.045278574
Fósforo Total	4.53	0.00453	0.0116	0.012136801
Demanda Química de Oxígeno	1149	1.149	2.932	3.078407208
Suma			5.820	6.111

<b>4. Acabados en textiles de lana</b>				
Parámetro	mg/l	kg/m <sup>3</sup>	Costos base para industrias que si cuentan con PTAR (\$)	Costos base para industrias que no cuentan con PTAR se aplica incremento del 5% para incentivar construcción de PTAR (\$)
Volumen de la descarga	2530.49	2.53049		
Grasas y Aceites	40.5	0.0405	0.094	0.098645618
Sólidos Suspendidos Totales	62.25	0.06225	0.144	0.151621968
Demanda Bioquímica de Oxígeno <sub>5</sub>	1100	1.1	2.552	2.6792637
Nitrógeno Total	9.18	0.00918	0.021	0.022359673
Fósforo Total	3.56	0.00356	0.0083	0.008671072
Demanda Química de Oxígeno	1315	1.315	3.050	3.202937969
Suma			5.870	6.164

<b>5. Azucarera</b>				
Parámetro	mg/l	kg/m <sup>3</sup>	Costos base para industrias que si cuentan con PTAR (\$)	Costos base para industrias que no cuentan con PTAR se aplica incremento del 5% para incentivar construcción de PTAR (\$)
Volumen de la descarga	2930.89	2.93089		
Grasas y Aceites	219.16	0.21916	0.511	0.537040667
Sólidos Suspendidos Totales	460.18	0.46018	1.074	1.127648175
Demanda Bioquímica de Oxígeno <sub>5</sub>	1049.47	1.04947	2.449	2.571673976
Nitrógeno Total	7.08	0.00708	0.017	0.017349187
Fósforo Total	3	0.003	0.0070	0.007351351
Demanda Química de Oxígeno	1192	1.192	2.782	2.920936644
Suma			6.840	7.182

<b>6. Química (ácidos, bases y sales)</b>				
Parámetro	mg/l	kg/m <sup>3</sup>	Costos base para industrias que si cuentan con PTAR (\$)	Costos base para industrias que no cuentan con PTAR se aplica incremento del 5% para incentivar construcción de PTAR (\$)
Volumen de la descarga	7395.32	7.39532		
Grasas y Aceites	51.6	0.0516	0.107	0.111945176
Sólidos Suspendidos Totales	1377.5	1.3775	2.846	2.988458917
Demanda Bioquímica de Oxígeno <sub>5</sub>	2641.45	2.64145	5.458	5.730573363
Nitrógeno Total	196.7	0.1967	0.406	0.426736747
Fósforo Total	315.65	0.31565	0.6522	0.684796412
Demanda Química de Oxígeno	2812.42	2.81242	5.811	6.101489385
Suma			15.280	16.044

<b>7. Química (resinas, plaguicidas y hule sintético)</b>				
Parámetro	mg/l	kg/m <sup>3</sup>	Costos base para industrias que si cuentan con PTAR (\$)	Costos base para industrias que no cuentan con PTAR se aplica incremento del 5% para incentivar construcción de PTAR (\$)
Volumen de la descarga	9746.67	9.74667		
Grasas y Aceites	105.99	0.10599	0.144	0.15083452
Sólidos Suspendidos Totales	416.89	0.41689	0.565	0.593276755
Demanda Bioquímica de Oxígeno <sub>5</sub>	4458.75	4.45875	6.043	6.345253494
Nitrógeno Total	55.3	0.0553	0.075	0.078697509
Fósforo Total	24.54	0.02454	0.0333	0.034922909
Demanda Química de Oxígeno	4685.2	4.6852	6.350	6.667514813
Suma			13.210	13.871