

ADMINISTRACION DE LOS RECURSOS HIDRAULICOS EN AREAS INDUSTRIALES CON ESCASEZ DE AGUA,

Eloy Urroz, J.

Ingeniero civil de la Universidad Nacional Autónoma de México. Maestro en Salud Ambiental de la Universidad de Texas en Austin, USA. Profesor de Ingeniería Ambiental en la UNAM. Miembro de varias organizaciones de ingeniería sanitaria y ambiental. Actualmente Director General de Eco-Ingeniería, S.A., Ingenieros Consultores, México, D.F. México.

Resumen

En el presente trabajo se propone un esquema integrado de planeación para el manejo del agua en áreas industriales con poca disponibilidad de este recurso.

El modelo incluye una breve explicación de la interacción de 5 bloques conceptuales (Inventarios, Planeación Prospectiva, Restricciones, Programación y Acción), lo que permite aplicar el enfoque de sistemas de desarrollo y administración del agua en zonas eminentemente industriales.

Se hace especial énfasis en los aspectos de extrapolación de los factores inherentes y en la predicción de demandas, en relación con la oferta de agua; todo esto dentro de un contexto de metas y objetivos específicos para cada región o país. Además, se mencionan las restricciones del sistema, que obviamente afectan la dirección del desarrollo socio-industrial hacia las metas preestablecidas.

Por último, se hace particular énfasis en los usos del agua en la industria, en las posibilidades del reuso y/o recirculación del agua así como el costo asociado a este reuso.

SUMMARY

RESUMEE

CONTENIDO

Capítulo		Página
I.	Modelo global para la administración del agua	2
1.1	El inventario.	4
1.2	Restricciones.	5
1.3	Planeación prospectiva	7
1.4	Programación	8
1.5	Acción	8
II.	Como se usa el agua en la industria.	13
III.	Recirculación y reutilización del agua. Implicaciones económicas . . .	23

I. MODELO GLOBAL PARA LA ADMINISTRACION DEL AGUA

A nadie escapa el hecho de que el constante crecimiento de la población mundial y, en particular, la de los países en vías de desarrollo ha creado una continua demanda de bienes y satisfactores, que son producidos en forma masiva por las diferentes industrias, como una respuesta al constante incremento de ese fenómeno.

Una industria no es más que un mecanismo transformador de recursos naturales en productos necesarios para la vida de las colectividades; de todos los recursos naturales, el agua es sin duda el elemento más indispensable. Por desgracia, el agua es un recurso de flujo limitado, que aunque esté presente en una región en forma casi constante, es altamente degradado, lo que conduce al agotamiento acelerado de su calidad.

En el futuro próximo, el agua dulce será, a nivel mundial, un recurso limitante para el crecimiento, tanto biológico como económico y social. El agua por lo tanto, es y será el elemento natural más importante, el más atendido y estudiado por la humanidad.

Por lo tanto, nunca será excesivo la búsqueda de fórmulas, métodos, sistemas y políticas para mejorar la administración global del recurso agua.

Es probable que en todos los países o casi todos los países del mundo se estén aplicando modelos de administración del uso del agua; a continuación se presenta un resumen de los aspectos más importantes que cualquier modelo (por sencillo o complicado que sea) deberá incluir. En la figura 1.1, se presentan 5 bloques que, de alguna manera explícita o implícita, se deben considerar en la administración de este recurso.

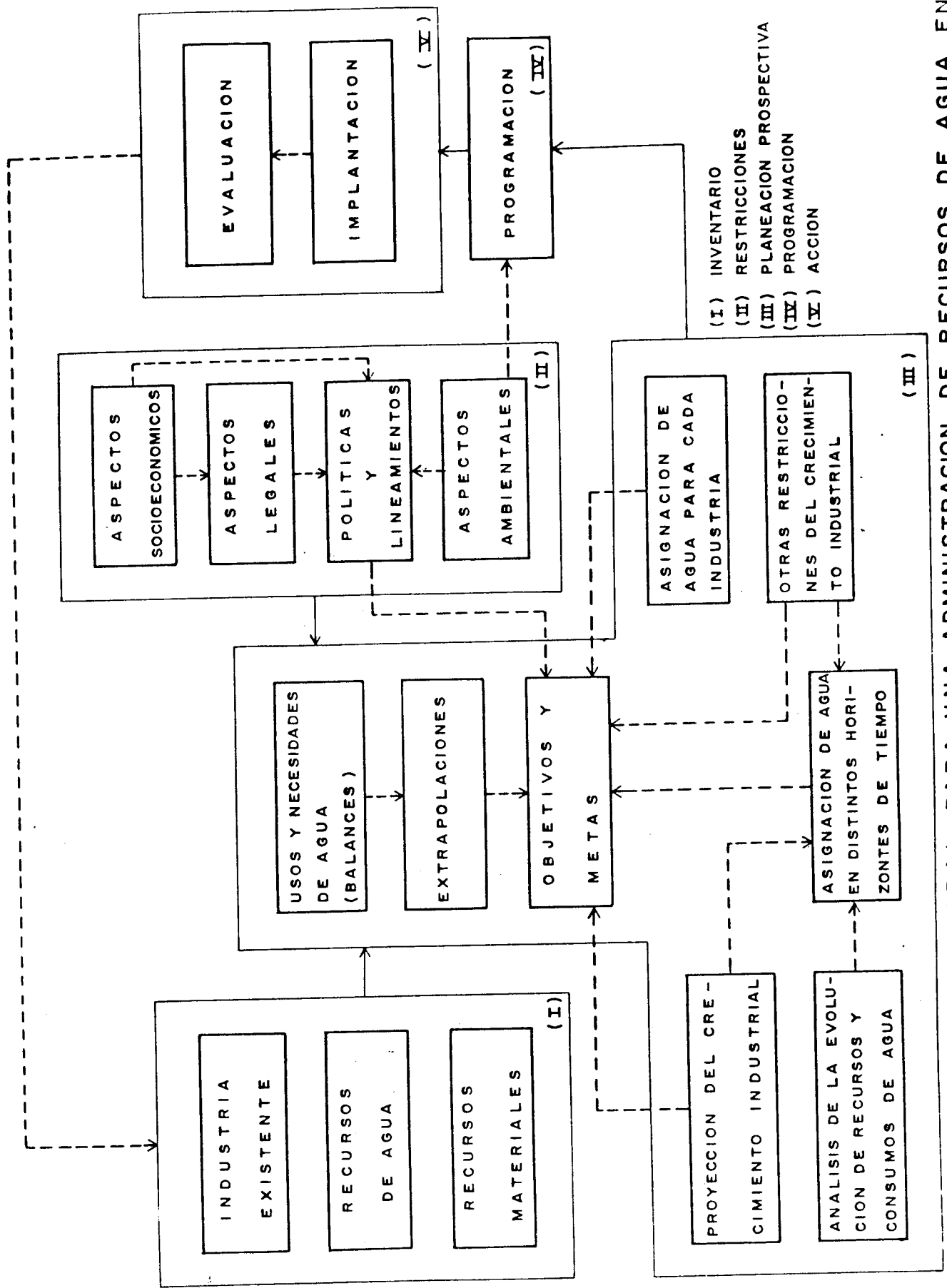


FIGURA 1.1 MODELO GLOBAL PARA UNA ADMINISTRACION DE RECURSOS DE AGUA EN ZONAS INDUSTRIALES.

1.1 EL INVENTARIO(1)

El inventario de los recursos de agua es la base con la cual, en una primera instancia, se puede determinar la viabilidad de un desarrollo industrial, urbano-industrial, o urbano-agrícola-industrial. La disponibilidad de agua, por otra parte, debe considerarse a la luz de la tecnología actualmente disponible; ésto incluye agua superficial (dulce y salada), agua subterránea (dulce y salobre), aguas residuales (municipales e industriales) y agua meteorológica.

Además del crecimiento del inventario cuantitativo actual, es necesario clasificar, en el espacio y en el tiempo, la disponibilidad del agua.

Existen técnicas altamente sofisticadas para conocer en el tiempo, el régimen de escurrimientos de una corriente, así como para planear la operación de sistemas hidrológicos de usos múltiples, a saber: modelos de simulación con hidrología estocástica, optimización de los usos del agua a la luz de objetivos económicos preestablecidos con las restricciones físicas, políticas o sociales que cada región o país imponga.

Probablemente, el concepto de disponibilidad de los recursos de agua tenga un valor mucho más significativo en los países o zonas altamente desarrolladas que en países con poco desarrollo. Sin embargo, en todos los casos el ahorro económico supuesto en un país en vías de desarrollo, provocado por la falta de uso de tecnologías avanzadas en la industria y en el desarrollo del proyecto hidráulico, tiene un impacto ecológico-ambiental que, a la larga, puede resultar más costoso en su re-tauración, con el peligro de no lograrlo nunca, que el adoptar desde el principio la mejor tecnología compatible con las características del país.

Sin duda, aquí se distingue la diferencia entre los términos eficiencia y eficacia. Mientras que en países en vías de desarrollo preocupa la eficacia, en un país o zonas industrializadas la parte económica se convierte en la variable decisoria, la cual implica una alta eficiencia en todos los aspectos, a partir del conocimiento exacto y preciso de la disponibilidad total del agua en zonas industriales.

Dentro del bloque de "inventarios" y una vez conocidos los recursos con los que se cuenta, resulta indispensable tener información precisa de la localización y clasificación de la industria, tipificándola por producto, materias primas e incluye, por eficiencia en el uso del agua; este último aspecto resulta relevante al hablar de la asignación final de este recurso a cada industria.

También, es necesario conocer el estado del arte que guarda la tecnología de procesos de cada industria a la luz de los consumos que resultan en cada uno de ellos. Las industrias con tecnología con cero descarga serán las que resulten idealmente eficientes, económicamente hablando; las industrias que no puedan reducir los volúmenes de descarga, se verán en serios problemas, debido a que siempre serán atacadas y perseguidas por los habitantes de la zona, con las consiguientes consecuencias políticas y sociales.

Así pues, la investigación de tecnologías futuras aplicables al uso y descarga de agua en cada sector industrial, será

cada día más necesaria.

Esta investigación requerirá registrar la mayor cantidad de información relativa al agua, tal como:

- a) Calidad del agua requerida para los diferentes usos que tendrá la industria.
- b) Producción de las aguas residuales en la zona.
- c) Calidad del agua residual por industria y producto.
- d) Localización de puntos de descarga, topografía e hidrología general.
- e) Tratabilidad de las aguas residuales.
- f) Factibilidad de reciclaje (directo) o reuso masivo del agua tratada.
- g) Factibilidad del intercambio de agua potable o de otros usos por residuos industriales tratados.
- h) Competitividad en el costo del agua de primer uso para la agricultura y otras industrias con el costo de agua tratada para usos, no necesariamente potables, en la zona industrial.

Por último, debemos estar de acuerdo en que, sin un inventario completo de los recursos materiales con los que cuenta la zona industrial en cuestión, poco o muy poco de los planes que se establezcan se podrán implementar.

La aplicación de los modelos requerirá información específica relativa a las fuentes de abastecimiento; estado que guardan las estructuras de control hidráulico en una cuenca; estado que guardan los sistemas de control de la contaminación en la cuenca; las plantas de bombeo y las plantas potabilizadoras de agua. Para esto, será necesario preparar tablas que registren el tiempo en uso, la vida útil de los equipos y estructuras, sus capacidades y los costos asociados a cada uno de estos datos.

Esta información permitirá proyectar y establecer metas y objetivos de producción de la industria de la zona y, por lo tanto, relacionarla con las metas y objetivos socio-económicos y ecológicos de la región.

1.2 RESTRICCIONES (II)

En cualquier lugar o zona industrial existen, y habrá que hacerlas explícitas, restricciones que obviamente afectan su desarrollo económico, tales como lineamientos y políticas generales del país, aspectos legales, socio-económicos y ecológico-ambientales. Probablemente estas restricciones se encuentren traducidas o convertidas en leyes, siendo las más comunes las encaminadas a dirigir el desarrollo económico ambiental. También se presentan fuertes restricciones que imponen el nivel educativo y tecnológico con que cuenta una región o un país entero; lo cual se refleja en la competencia que se presenta en

la mano de obra con respecto a sueldos y salarios de otras zonas industriales con características similares de bienestar y calidad de vida.

En todo tipo de sociedad, la legislación se convierte en el elemento primario de ordenamiento que requiere el uso y desarrollo del recurso hidráulico y, por lo tanto, desarrollo industrial.

En México, básicamente se legisla la utilización total del agua. Constitucionalmente, las aguas son propiedad del Estado; sin embargo, éste a través de su Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos puede "asegurar" (a poblaciones) o "concesionar" (a particulares) el agua necesaria para los usos benéficos. El consumo humano, es y deberá ser el número uno en la relación del recurso; el segundo lugar corresponde a la agricultura y el tercero a la industria; este enfoque en el uso del agua es diferente en otros países y lo ha sido para México en otras épocas. Probablemente los dos usos, industrial y agrícola cambien prioridades, dependiendo de la zona, de la escasez del agua y de las características ecológicas de la región; es aquí donde el concepto de eficiencia-eficacia tiene mayor relevancia. En la mayoría de las veces ni la industria, ni la agricultura requieren de agua clara, potable o de primer uso. La legislación debe tomar en cuenta que sólo un análisis económico tecnológico y ambiental podrá determinar el orden y la magnitud en que se podrá y deberá usar el agua en la agricultura y/o en la industria. En este análisis no debe perderse de vista el agua residual de las poblaciones o centros urbanos de la región.

Todo lo anterior exige la preparación de leyes y reglamentos que obliguen a las autoridades responsables del manejo del recurso a efectuar análisis detallado de la "eficiencia espacial y temporal" del uso del agua en las zonas industriales o urbano-industriales. Esta situación se explica en el bloque (III) de Planeación Prospectiva.

La conservación de la calidad del agua y del aire, así como la integridad del patrimonio cultural e histórico, en un marco general de calidad de vida es ahora más que nunca prioritario en la planeación, construcción y operación de los desarrollos económicos. Tradicionalmente, las zonas industriales han resultado en áreas contaminadas y sucias; esto resulta por la simple razón de que el objetivo tradicional ha sido el "producto económico".

Parece ser que a la fecha no se tiene ninguna otra herramienta para la protección del ambiente que el establecimiento de objetivos de calidad y normas en las emisiones de residuos. Las normas ambientales (aire, agua y suelo) son pues, parte tan importante como los mismos indicadores económicos de producción e ingreso. El hombre sabe ya, que el producto de un desarrollo económico no conlleva implícitamente bienestar y salud ni una mejor calidad de vida.

En el futuro, el desarrollo de la tecnología, deberá orientar sus esfuerzos hacia una ADECUACION SOCIO-ECOLOGICA de la industria y las normas ambientales. Resulta pues, prioritaria la investigación de normas de calidad ambiental, junto con un monitoreo intenso del ambiente.

Al presente, tal vez no existe otro problema de la humanidad que demande tanta participación e interés popular que la

ecología y el ambiente. Esta cuestión hace indiscutible que el interés popular sea la restricción más importante en el uso y cuidado de los recursos naturales, incluyendo el agua.

1.3 PLANEACION PROSPECTIVA (III)

Indudablemente ésta es la parte del modelo que requiere mayor reflexión y experiencia de las personas que actúan y toman las decisiones finales. En este bloque, tres son los aspectos determinantes: metas y objetivos; balance (uso y necesidades) del agua; y extrapolaciones de crecimiento general.

Las metas y objetivos resultan indispensables para marcar toda acción. Es necesario el conocimiento de las metas generales del país pero también es indispensable fijar los objetivos particulares y locales; sin la existencia de éstos no podría planearse el desarrollo industrial eficiente y eficaz.

Muchas son las técnicas para llevar a cabo los balances del agua. Una vez conocido el inventario, se requiere conocer la demanda; ésto no es fácil, es aquí donde se requiere un análisis detallado en el espacio y en el tiempo, ambos a la luz de la evolución de la tecnología y economía de la región que determinan las demandas escalonadas, ya sea determinística o probabilística, de tal suerte que sea factible conocer la potencialidad del desarrollo y el tamaño de las obras e inversiones.

Para poder estar en condiciones de proponer metas y objetivos reales, es menester, además de conocer los balances entre disponibilidad y demanda (demanda estática), hacer las "proyecciones del crecimiento industrial"; estas extrapolaciones de crecimiento harán posible el análisis del balance con una demanda dinámica que permitirá planear el uso y asignación del agua escasa en los diferentes horizontes de tiempo.

Aunque el crecimiento económico ha sido el objetivo del desarrollo, los enfoques modernos de planeación tienden a orientarse hacia el desarrollo "humano". Bajo este contexto, muchos países han establecido prioridades en el uso de los recursos naturales; algunos países, colocan a los usos industriales del agua en una prioridad inferior a la de los usos municipales y a los usos en la agricultura.

En regiones con escasos recursos hidráulicos en que tal tipo de política rige en la planeación, la disponibilidad de agua de primer uso para la industria es muy restringida. En tales casos, la aplicación de los modelos clásicos de optimización para la asignación de agua para distintos usos, resultan prácticamente inoperantes, debido a la obvia dificultad que existe para introducir en ellos a las variables de tipo social cuya valoración es, en la mayoría de los casos, de carácter subjetivo. Esta situación demanda el uso de modelos más flexibles, como los de simulación de sistemas dinámicos. En este caso, el objetivo de su aplicación es determinar las asignaciones futuras de agua a la industria, considerando todas las fuentes tecnológicamente factibles de ser explotadas.

Bajo estas circunstancias, la asignación de agua de primer uso para la industria tenderá a decrecer a través del tiempo, por lo que algunas medidas, como la importación de agua de otras regiones, el reciclaje de residuos de la propia industria y el reuso, de las aguas negras municipales y de los retornos agrícolas, tenderá a decrecer.

Las proyecciones al futuro corresponderán esencialmente a aquellas variables que reflejen el crecimiento industrial y sus necesidades de agua; las restricciones serán las determinadas previamente en relación con la disponibilidad de este elemento, en los horizontes de tiempo correspondientes.

La asignación de agua por tipo de industria en distintos horizontes de tiempo, podrá ser definida posteriormente mediante la aplicación de cualquier modelo clásico de asignaciones que permita optimizar, por ejemplo, la relación costo beneficio. Enfocado el problema de esta manera, las variables de relevancia en el modelo serán de tipo técnico y económico y se habrán reducido a un mínimo.

Los métodos de proyección de las variables relacionadas con el crecimiento industrial, podrán seleccionarse de acuerdo con el criterio del modelador, de entre la amplia gama existente (tabla 1.1 y 1.2) procurando, desde luego, establecer las interrelaciones que resulten necesarias entre las variables de relevancia. Las metas y objetivos del crecimiento industrial podrán ser orientados por las disponibilidades de agua en los horizontes correspondientes; y los valores de las variables en cada estado así definido, se podrán aplicar al modelo de asignación por tipo de industria.

1.4 PROGRAMACION (IV)

La programación de las acciones e inversiones, una vez determinadas las metas y los objetivos, así como las fuentes a desarrollar (agua superficial, subterránea, de reuso y otras) en los diferentes horizontes de tiempo, debe resultar en una acción clara y fácil de ser ejecutada.

Probablemente, el concepto de "simultaneidad de las obras" se convierte en la tarea a vigilar, ya que la efectividad de las mismas dependerá de que las diferentes partes que componen el sistema hidro-económico entren a funcionar en forma simultánea, tal y como se conciben en la fase de planeación. En los países en vías de desarrollo, principalmente por falta de capacidad financiera, se realizan buenos planes de desarrollo industrial, tomando en cuenta factores tanto internos como externos e inclusive factores ambientales, aunque posteriormente se les asignen posibilidades muy bajas de llevarse a cabo; además cuando se entra a la etapa de programación, se encuentra escasez de recursos económicos, lo que obliga a una programación definida en la ejecución de obras, dando como resultado "otro" plan de desarrollo diferente. Los resultados obviamente no son los originalmente esperados.

De lo anterior, se considera que la integración financiera con el plan de desarrollo debería ser hecha en una misma oficina o, por lo menos, estar sometidos a una doble "pasada" de la oficina de planeación (estudios y proyectos) a la oficina de programación financiera.

1.5 ACCION (V)

Dentro de esta parte, dos son los aspectos más relevantes: la implantación y la evaluación. Mientras no existan sistemas o programas continuos de evaluación, no se podrá saber si todo el trabajo anterior fue productivo y redituable y si cumplió con

Tabla 1.1

TECNICAS PARA EXTRAPOLACION(1)

Tipo	Año	Aplicación
A ojo Nacimientos sobre defunciones Logísticas	1930	Ingenieros y demógrafos
Aritméticas Geométricas Por incrementos Teoría de población Curvilínea	1940	Ingenieros
Síntesis poblacional Análisis regional Modelo de demandas	1950	Economistas
Modelo de abastecimiento Análisis de factores y componentas Análisis "Cohort" Análisis inusmo-producto	1960	Economistas
Por metas Técnicas econométricas	1970	Estudios de Reid

(1) Profesor George Reid. Universidad de Oklahoma, USA.

Tabla 1.2

TECNICAS PARA EXTRAPOLACION (1)

Tipo	Proyección pasada		Metas demográficas	Metas económicas	Demográficas	Restricciones económicas	Físicas
	Una	Más					
A ojo	x						
Nacimientos/defunciones		x					
Aritméticas	x						
Geométricas	x						
Por incrementos	x		x				
Teoría de población	x		x			x	
Curvilínea				x			x
Síntesis de población	x					x	
Análisis regional	x						
Modelo de demandas	x			x			
Modelo de abastecimiento	x						
Factor de análisis	x						
Análisis "Cohort"	x						
Insumo-producto	x		x			x	
Metas (Reid)	x						

(1) Profesor George Reid. Universidad de Oklahoma, USA.

con las normas sociales y ambientales preestablecidas. La evaluación debe ser hecha por el mismo organismo o agencia encargada de autorizar los gastos. Es premisa importante que "no se puede ser juez y parte"; agencia ejecutora del proyecto de abastecimiento y asignación del agua y no debe ser responsable de la evaluación.

Probablemente, es en la distribución de agua en zonas con escasez de este recurso, donde la implantación de modelos preestablecidos en la etapa de planeación prospectiva, tendrán mayor éxito. Si estos modelos, que deberán ser matemáticos, se diseñan en la etapa de planeación, se condicionan en la presupuestación y se reglamentan en la acción.

La naturaleza de esta ponencia no permite, obviamente, hacer referencia específica a todos los factores que deben ser considerados en el proceso de planeación para la administración de los usos del agua; ni establecer las interrelaciones que ocurren entre unos y otros. El esquema de la figura 1.1, que no pretende ser exhaustivo, tiene como único propósito, inducir a quienes me escuchan, a meditar sobre la complejidad del problema que es materia de este Simposio, del cual indudablemente resultarán contribuciones muy útiles en lo que respecta al aprovechamiento y conservación del recurso más valioso de la humanidad, que es el agua.

II. COMO SE USA EL AGUA EN LA INDUSTRIA

Hasta antes de la Segunda Guerra Mundial, los dos principales usos a los que se destinaba el agua eran para el abastecimiento doméstico y para irrigación de cultivos. Sin embargo, los avances tecnológicos logrados durante el período de lucha, aceleraron considerablemente el desarrollo industrial mundial, iniciado a mediados del siglo pasado con la invención de la primera máquina de vapor.

En la última década, el crecimiento socio-económico de muchos países se ha basado, en buena proporción, en el sector industrial, el cual ocupa un lugar en la producción de bienes para satisfacer las necesidades del hombre. La industria, como factor dinámico en el desarrollo de un país, ha demandado mayor cantidad del recurso agua con objeto de satisfacer sus procesos de producción y servicios. En México, esta situación ha ocasionado que la demanda de agua por industria ocupe el tercer lugar, como se muestra en la tabla 2.1.

Aunque en México el incremento en la demanda de agua para fines domésticos es notorio en los últimos años, comparado con Estados Unidos, país altamente industrializado, esta demanda es baja, como se muestra en la tabla 2.2.

De acuerdo con el volumen total de agua que demandan los diferentes procesos que operan en una industria, es factible determinar áreas industriales de mayor consumo y áreas de mayor descarga con objeto de implementar medidas tendientes a disminuir gastos e incrementar los índices de recirculación.

Los principales usos a que se destinan las aguas en una industria son para la generación de vapor o energía, a través de calderas; para enfriamiento, a través de ciclos cerrados, donde el agua de enfriamiento no entra en contacto con el producto que está siendo enfriado y, a través de ciclos abiertos, donde

Tabla 2.1

CONSUMO DE AGUA PARA MEXICO EN EL
PERIODO 1950-2000 (1)

Uso	Consumo (millones de m ³ /año)		
	1950	1975	2000(2)
Agrícola	23,600	38,000	71,300
Servicio doméstico	200	1,100	4,200
Industrial	100	971	3,400
Generación de energía	0	100	1,600
Total	23,900	39,871	80,500

(1) Comisión del Plan Nacional Hidráulico. Secretaria de
Agricultura y Recursos Hidráulicos. 1976.

(2) Estimación.

Tabla 2,2

DEMANDA PER CAPITA DE AGUA POR LA INDUSTRIA

País	1965	Demanda (l/hab/día)		
		1980	2000	2020
México(1) (2)	30	46	85 (3)	235 (4)
Estados Unidos (2)	136	150	162	631

(1) Comisión del Plan Nacional Hidráulico. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.1976.

(2) Secretaría de Recursos Hidráulicos "Usos del Agua en las Ciudades" 1974.

(3) Se estima una población de 110,000,000 habitantes.

(4) Se estima una población de 140,000,000 habitantes.

el agua de enfriamiento tiene contacto directo con el producto; durante el proceso, que incluye el agua incorporada en la manufactura del producto terminado, así como el agua utilizada como el elemento de transporte o como ayuda en la fabricación del producto y, por último, el agua para usos generales, que incluyen operaciones de limpieza y uso sanitario y, en algunas ocasiones, irrigación de jardines de las fábricas. La tabla 2.3 muestra los usos a los que se destinan las aguas en los principales sectores industriales en México.

Los sectores industriales más importantes en México desde los puntos de vista económico, del tipo de producto que elaboran, del tamaño de la planta, de la demanda de agua y de la cantidad y composición del agua residual generada, incluyen a la celulosa y papel, hierro y acero, textil, curtiduría, acabado de metales, química, beneficiadora de café, azucarera, de alimentos y del petróleo. La tabla 2.4 muestra la relación entre producción, demanda y descarga de agua en estas industrias. Como se observa en esta tabla, las dos industrias que demandan mayor cantidad de agua son la azucarera, con una demanda de 294.32 m³ de agua por tonelada producida y la fabricación de celulosa, con una demanda de 159.97 m³ de agua por tonelada producida.

Es importante notar que las descargas de aguas residuales de estas dos industrias, al igual que el de la mayoría de las otras industrias, representan más del 80% de sus demandas de agua.

El empleo del agua dentro de la industria azucarera comienza con el lavado de la caña y para lavar el bagazo que sale de los molinos. Durante el proceso de clarificación del bagazo, se añaden pequeñas cantidades de agua al adicionar la cal que neutraliza los ácidos volátiles y precipita las pectinas. El líquido clarificado se manda a los evaporadores, donde pierde parte del agua y, posteriormente, se transfiere a los cristalizadores, donde se realiza una evaporación controlada por vacío, mediante la condensación del vapor en la cabeza de unas columnas barométricas, que son accionadas por el agua de enfriamiento. Gran parte de la demanda de esta industria se utiliza para el enfriamiento de estas columnas.

Las refinerías de azúcar requieren entre un 40 y 60% más de agua que las fábricas de azúcar crudo. La tabla 2.5 presenta un resumen de los usos del agua en la industria azucarera mexicana.

La otra industria que requiere grandes volúmenes de agua es la industria de la celulosa. La mayoría de las industrias papeleras utilizan procedimientos químicos para la obtención de la pulpa, los cuales consisten en el conocimiento de un licor junto con las astillas de madera en unos digestores cilíndricos, donde la mezcla es transferida a un tanque, a presión atmosférica, en donde las fibras se separan formando una masa fibrosa. La pulpa también se puede preparar utilizando un proceso semiquímico, que es una combinación entre los procesos químicos y mecánicos.

El blanqueo de la pulpa se obtiene utilizando dióxido de cloro (ClO₂) o gas cloro, seguido de la aplicación de sosa para la remoción de materiales solubilizados (compuestos de cloro y productos de la oxidación), y, por último, procesos de lavado para la remoción de impurezas. La pulpa a procesar, para la

Tabla 2.3

DEMANDA DE AGUA PARA DIVERSOS USOS DENTRO DE LOS
PRINCIPALES SECTORES INDUSTRIALES EN MEXICO (1980) (1)

Sector industrial	Enfriamiento (10 ⁶ /m ³ año) (%)	Proceso (10 ⁶ /m ³ año) (%)	Calderas (10 ⁶ /m ³ año) (%)	Otras (10 ⁶ /m ³ año) (%)	Total (10 ⁶ /m ³ año) (%)
Alimenticia	1,551	1,227	121	137	3,036
Química	692	158	21	33	905
Metálica	619	52	7	49	727
Celulosa y papel	136	249	7	4	396
Petróleo	97	4	5	1	107
Total (2)	3,095 (98.1)	1,690 (53.6)	161 (5.1)	224 (7.1)	5,171 (164.0)

(1) "Reuso del agua en la Agricultura, la Industria, los Municipios y en la Recarga de Acuíferos". Subsecretaría de Planeación, Secretaría de Recursos Hidráulicos. 1975 (en base al estudio relativo al "Uso del Agua en la Industria, Evaluación de la Situación Regional Actual y Estimación de la Demanda en 1980, para la Industria de Transformación". Plan Nacional Hidráulico, SRH, 1973).

(2) Las cifras en paréntesis representan las demandas en m³/seg.

Tabla 2.4

RELACION ENTRE PRODUCCION DEMANDA Y DESCARGA EN LAS PRINCIPALES RAMAS INDUSTRIALES EN MEXICO (1)

Industria	Producción	Demanda (106 m ³ /año)	Indice de demanda (m ³ /Ton)	Descarga (106 m ³ /año)	Indice de descarga (m ³ /Ton)
Celulosa	513.2 (10 ³ ton/año)	82.1	159.97	66.7	130
Papel	1,112.7 (10 ³ ton/año)	40.6	36.49	35.1	31.5
Hierro y acero	4.760 (106 ton/año)	70.9	14.87	38.4	8.07
Textil	81.8 (106 m ² /año)	28.94	0.354 (2)	21.81	0.267 (2)
Curtiduría	175.8 (10 ³ ton/año)	12.84	73.04	12.44	70.76
Acabado de metales	1.618 (106 m ² /año)	2.18	1.35 (2)	2.18	1.35
Química	951 (10 ³ ton/año)	39.9	32.50	21.35	22.45
Del café	222 (10 ³ ton/año)	5.05	22.75	4.69	21.16
Azucarera	2.589 (106 ton/año)	762	294.32	620	239.47
De alimentos	223.94 (10 ³ ton/año)	11.94	53.32	11.13	49.7
Petróleo	207.9 (106 barriles/año)	66.7	0.321 (3)	31.5	0.152 (3)

(1) Bonilla, D.U. y Contreras M.R.J. (algunos de los datos se obtuvieron de los estudios sobre el Uso del Agua, Métodos y Costos para el Control de la Contaminación del Agua Residual en las Industrias Respectivas"; otros, se calcularon y tabularon conforme lo indicado en esta tabla.

(2) Unidades m³/m².

(3) Unidades m³/barril.

Tabla 2.5

USOS DEL AGUA EN LA INDUSTRIA AZUCARERA EN MEXICO (1)

Concepto	Azúcar cruda			Azúcar refinada		
	m ³ /día	m ³ /Ton Caña molida	m ³ /Ton Azúcar producida	m ³ /día	m ³ /Ton Caña molida	m ³ /Ton Azúcar producida
Enfriamiento	5,443	2.2	24.2	6,211	0.57	8.6
Calderas	-	-	-	2,246	0.20	3.1
Procesos	54,518	39.3	416.6	23,655	2.17	33.0
Servicios	-	-	-	3,888	0.35	5.4
Total	59,962	25.2	266.9	36,000	3.30	50.2
Recirculación	39,053	16.4	173.8	-	-	-
Descarga	60,394	25.3	268.8	-	-	-

(1) Secretaría de Recursos Hidráulicos. "Usos del Agua en la Industria Azucarera". México, 1975.

preparación del papel, se suspende en agua y se le añaden productos formadores, tintas, encolantes y otros productos con objeto de rellenar los poros que pueden quedar entre las fibras.

Posteriormente, la pulpa pasa a un proceso de refinamiento, donde la fibra se corta al tamaño deseado, se almacena y se ajusta a la consistencia deseada; a continuación se pasa por mallas para remover impurezas y se distribuye por una malla fina, donde una pequeña cantidad del agua contenida en la pulpa escurre a través de esta malla; después, se pasa a través de un rodillo, se seca, se prensa y se le da el acabado final. La tabla 2.6 muestra la cantidad de agua utilizada en la fabricación de celulosa en México.

Como se observa de lo expuesto anteriormente, las necesidades de agua varían ampliamente en cada sector industrial y aún, las demandas de agua de industrias similares establecidas en un país, varían. Para ejemplificar este concepto, se puede referir a la industria del hierro y del acero en México, la cual está representada por tres grandes complejos que son Fundidora Monterrey, localizada en el estado de Nuevo León en una zona con escasez de agua y la cual consume $166.3 \text{ m}^3/\text{Ton}$ producida; Hojalata y Lámina, S.A. (Hylsa) localizada en el estado de Puebla, la cual consume $139.1 \text{ m}^3/\text{Ton}$ producidas y; por último, Siderúrgica Lázaro Cárdenas-las Truchas (Sicartsa), la cual se localiza en el estado de Michoacán, en la desembocadura del río Balsas, el cual es uno de los ríos más caudalosos del país y la cual consume $105 \text{ m}^3/\text{Ton}$ producida.

Esta variación en la demanda de agua en estos complejos industriales se debe principalmente a la eficiencia de sus sistemas de enfriamiento que es la operación que mayores volúmenes de agua requiere.

Al comparar la demanda de agua de diferentes industrias en diferentes países (como se muestra en la tabla 2.7), se observa que se presentan amplias variaciones debido, principalmente, al tipo de tecnología utilizada, a la abundancia de agua en la zona donde se localiza la industria y al tipo de producto que se elabora, entre otros.

Tabla 2.6

MANEJO DE AGUA EN LA FABRICACION DE CELULOSA EN MEXICO (1)

Concepto	Agua (m ³ /Ton)		
	Demanda (agua fresca)	Descarga	Recirculada
Celulosa kraft (blanqueada)	89.6	135.2	187.3
Celulosa kraft (sin blanquear)	37.7	62.3	27.4
Celulosa kraft sulfito y mecánica (blanqueada)	17.5	61.8	192.5

(1) Secretaría de Recursos Hidráulicos. "Usos del Agua en la Industria de la Celulosa y Papel". México 1975.

Tabla 2.7

DEMANDA DE AGUA POR DIFERENTES INDUSTRIAS EN DIFERENTES PAISES

Industria	Agua requerida por unidad producida (m ³ /Ton)			
	México (1)	Tecnología africana (2)	Italia (3)	Estados Unidos (4)
Celulosa	159.97	50-150		250-800
Papel	36.49	200-1,000	184.6	120-160
Hierro y acero	14.87	10-50	52.2	
Textil	0.354 m ³ /m ²		272.6	200-300
Curtiduría	73.04		443.5	
Química	32.50	10-500	84.3	7-800
Petróleo	0.321 m ³ /barril	10-30 m ³ ton/petroleo crudo		

(1) Bonilla, D.U. y Contreras M.R.J. México.

(2) Adaptado del Departamenteo de Economía y Bienestar Social, Naciones Unidas. 1965 (Datos obtenidos del estudio "The Role of Water Resources Development in Industrial Development: a Perspective for Africa" por Kenneth, M Strzepek .

(3) Merli, C et al. "Water Use in Industry". Roma, 1973. (Datos obtenidos del estudio "Assessment of Industrial Water Demand: Some Regional Surveys Experiences" por Fausto María Spaziani.

(4) Metcalf and Eddy, Inc. "Wastewater Engineering. Treatment/Disposal/Reuse". 1979.

III. RECIRCULACION Y REUTILIZACION DEL AGUA. IMPLICACIONES ECONOMICAS

En algunas regiones del mundo, la relativa escasez de agua originada por la tasa de crecimiento de su población y las diversas actividades industriales y comerciales que desarrollan, han originado que en las últimas décadas las aguas residuales sean consideradas como una fuente más de abastecimiento sobre todo para aquellos fines en que no se requiere agua de alta calidad, aunque en un futuro no lejano, será necesario disponer de las aguas residuales para fines domésticos.

El reuso del agua en la industria es factible ya que las demandas de agua por el sector industrial permanecen constantes durante el año; existen diversos tratamientos que permite obtener diferentes calidades de agua para operaciones industriales; y, en algunos procesos industriales, las aguas residuales pueden sustituir a aguas de mejor calidad, principalmente en zonas con escasez del recurso y donde gran parte de éstas se destinan para fines domésticos.

Por otro lado, la práctica de recirculación de agua en la industria soluciona, en gran medida, el problema de abastecimiento de agua industrial, implicando ventajas económicas para este sector. Se ha estudiado y demostrado que el agua simplemente recirculada de un proceso a otro o tratada, es más barata que el consumo de agua potable.

En los últimos años, en México se ha dado el reuso del agua, principalmente en zonas urbano-industriales, donde el agua clara es indispensable para abastecimiento doméstico. Dentro de estas zonas, se encuentra el valle de México que se localiza aproximadamente a 2,400 msnm y que cuenta con el mayor complejo urbano-industrial de la república mexicana y del mundo contando actualmente con una población de cerca de 16 millones

de habitantes y más de 40,000 establecimientos industriales cuya producción representa el 48% del total del país.

En el año de 1974, la cuenca del valle de México requería de cerca de 1,356 millones de metros cúbicos de agua, de los cuales 725 millones (aproximadamente el 52%) se destinaban para fines domésticos y 480.8 millones de metros cúbicos de agua se destinaba a la industria, de los cuales 444.9 millones eran descargados como aguas residuales.

Las inversiones requeridas para traer un metro cúbico por segundo de agua a la ciudad de México, utilizando las fuentes de abastecimiento existente en 1974, se estimaron en 150 millones de pesos, cifra que se incrementó a 350 millones para 1980.

El valle de México, lugar donde se localiza la capital del país, es probablemente el lugar con la relación más desfavorable entre demanda de agua para la industria y su disponibilidad.

Los costos con que se abastece el agua a una zona industrial, como la del valle de México, hacen forzoso la implantación de todos los programas posibles de manejo óptimo del reuso. El reuso y la recirculación directa, en adición a modificaciones en algunos procesos, hacen que los ahorros de agua potable para consumo humano sean cuantiosos, a nivel regional.

Se realizaron encuestas y estudios en esta zona, encontrándose un volumen factible de reuso inmediato de $2.0 \text{ m}^3/\text{seg}$ a un costo de inversión de 200 millones de pesos el m^3/seg cubriendo este costo la captación, conducción, sistema de tratamiento y sistema de distribución. Este programa dió por resultado un ahorro neto entre 400 y 600 millones de pesos y el uso de $2.0 \text{ m}^3/\text{seg}$ de aguas claras o potables para otros fines que requieren de agua de alta calidad. Sin embargo, los volúmenes totales entre el reuso y reutilización (o reciclaje) pueden llegar a ser entre 6.0 y $10 \text{ m}^3/\text{segundo}$.

La figura 3.1 muestra el incremento en la reutilización del agua para fines industriales.

Sin embargo, la mayoría de las industrias establecidas en México, al igual que en la mayoría de los países, están acostumbradas a consumir agua de calidad muy cercana a la potable, aún cuando los procesos que la demandan, no requieren de una calidad tan buena, como en el caso de los sistemas de enfriamiento.

Por lo tanto, el reuso del agua dentro de la industria se incrementará notablemente conforme se desvanezca la costumbre de utilizar, en cualquier proceso industrial, agua de alta calidad.

Como es sabido, los posibles aprovechamientos de agua están influenciados principalmente por la disponibilidad del recurso y su calidad, factores que inciden directamente en la eficiencia del uso del agua y en los costos del acondicionamiento necesario para un fin determinado.

El desarrollo económico, basado en las actividades productivas del hombre, depende en gran medida de los recursos naturales. Si se desea un modelo de desarrollo autosostenido, es necesario contar con los insumos requeridos, para lo cual, en el caso del recurso agua, se cuenta con las alternativas de modificar los procesos productivos o modificar los esquemas de utilización del recurso, implicando una racionalización del uso

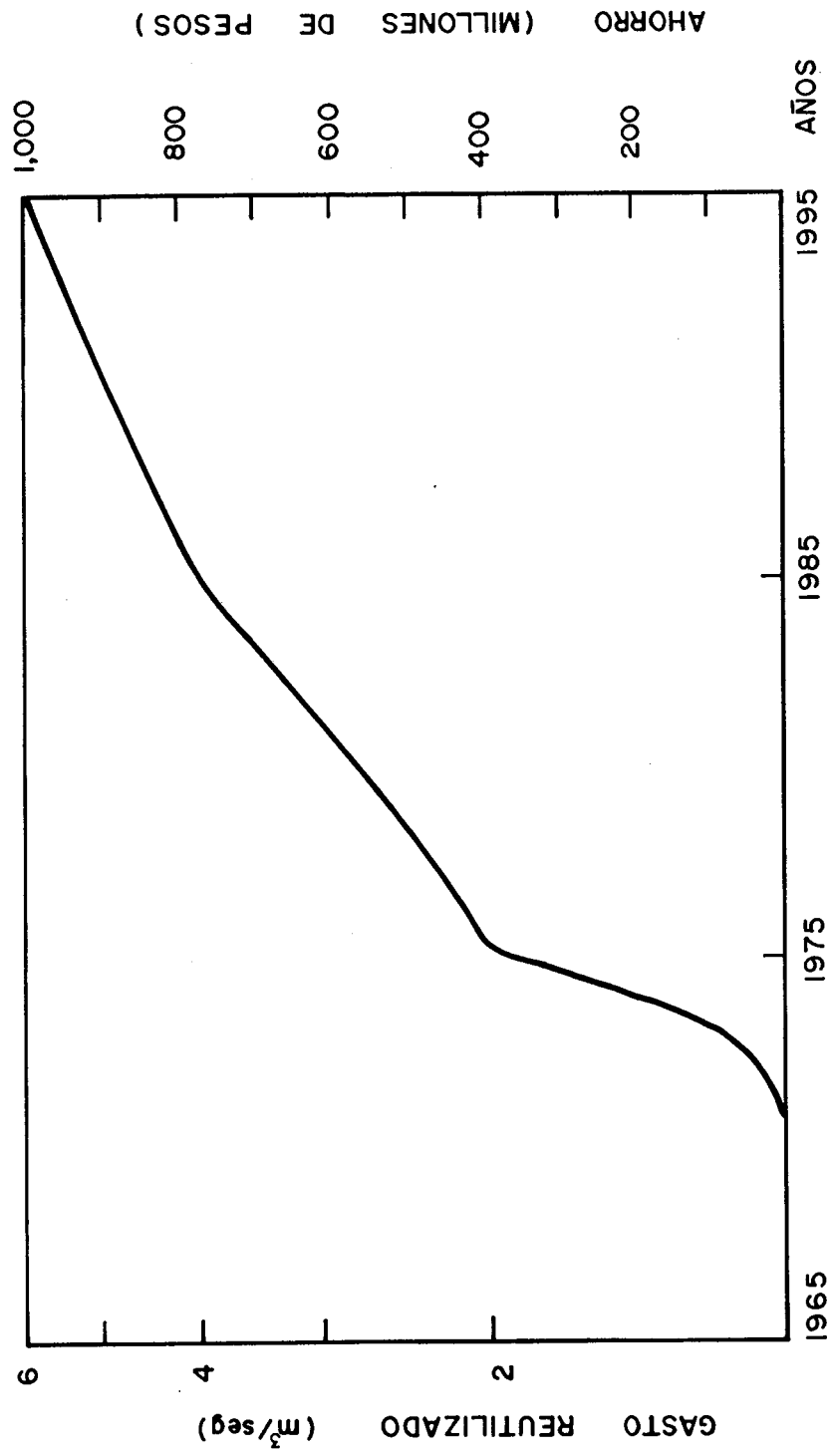


FIGURA 3.1 INCREMENTO EN EL REUSO DEL AGUA EN EL VALLE DE MEXICO

en función de los volúmenes demandados y la calidad requerida. El hablar de modificaciones en los procesos productivos, sugiere un análisis particular de cada caso, ya que depende de factores socio-económicos, políticos y tecnológicos.

Por otra parte, racionalizar el uso del agua en función de sus características de calidad, el volumen demandado y su consumo, conduce al reuso y la recirculación del agua. Sin embargo, estas prácticas implican un tratamiento, en ocasiones costoso, para lograr obtener agua con la calidad requerida.

En la tabla 3.1 se muestran los costos unitarios relativos de diferentes sistemas de tratamiento, en donde se toman como base el tratamiento de lodos activados para una unidad de $3,875 \text{ m}^3/\text{día}$ (1,000 gal/día). Como se observa en esta tabla, existen economías de escala significativas al aumentar el volumen de agua tratada.

Atendiendo a esta información, en la tabla 3.2 se muestran los niveles de tratamiento propuestos, a nivel general, para diversas actividades. Del análisis de estas tablas pueden obtenerse gráficas de costo de tratamiento y calidad del agua deseada, con objeto de definir el nivel de tratamiento requerido, el volumen necesario y las prioridades de abastecimiento. La figura 3.2 muestra un ejemplo cualitativo de este caso.

Por lo anterior, es necesario balancear las economías de escala de las plantas de tratamiento; las demandas y consumos de agua por actividad; la disponibilidad del recurso agua; las condiciones tecnológicas, socio-políticas y económicas; y los modelos de desarrollo deseados con objeto de optimizar el uso del agua dentro de la industria.

Tabla 3.1

COSTO UNITARIO RELATIVO AL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (1)

Sistema de tratamiento	3.875 x 10 ³ m ³ /día (1 MGD)	38.75 x 10 ³ m ³ /día (10 MGD)	193.75 x 10 ³ m ³ /día (50 MGD)
Tratamiento primario(2)	35.00	13.69	9.97
Lodos activados	100.00	39.10	28.15
Filtros rociadores (1.8 m, medio de roca)	112.32	54.35	42.82
Discos biológicos sin nitrificación	112.90	68.13	58.46
con nitrificación	139.69	53.86	39.00
Aereación extendida	55.91	36.66	-
Nitrificación-denitrificación	164.91	72.43	53.57
Intercambio iónico selectivo	215.35	99.22	65.88
Filtración de efluente secundario	142.42	49.07	36.46
Alumbre añadido a depósito aereado	155.33	59.53	46.14
Cloruro férrico añadido a primario	151.32	56.21	43.01
Tratamiento terciario con cal	189.05	74.00	57.48
Tratamiento con cal, efluente nitrificado	219.26	77.22	47.58
Tratamiento con cal e inter- cambio iónico	251.42	109.09	80.55
Adsorción con carbón, efluente secundario filtrado	198.83	71.75	55.13
Carbón efluente terciario con cal	244.09	96.87	76.25
Carbón terciario con cal, efluente nitrificado	274.67	99.90	76.83
Carbón, terciario con cal, intercambio iónico	307.72	131.87	99.51

Tabla 3.1 (cont.)

Sistema de tratamiento	3.875 x 10 ³ m ³ /día (1 MGD)	38.75 x 10 ³ m ³ /día (10 MGD)	193.75 x 10 ³ m ³ /día (50 MGD)
Osomosis inversa de efluente terciario	475.95	245.65	202.74
Sistemas fisicoquímicos, cal	271.26	99.71	82.21
Sistemas fisicoquímicos, cloruro férrico	284.75	109.38	83.28
Irrigación (condiciones favorables)	58.36	37.34	30.60
Infiltración-percolación (condiciones favorables)	44.28	20.63	15.64
Flujo sobre tierra (condiciones favorables)	50.73	3.09	24.44

(1) Culp, Wesner, Culp. "Water Reuse and Recycling. vol.2 Evaluation of Treatment Technology". 1979.

(2) Se estima que el costo del tratamiento primario es de un 35% del tratamiento con lodos activados.

Tabla 3.2

NIVELES DE TRATAMIENTO PROPUESTOS PARA REUSO DEL AGUA (1)

Uso	Tratamientos alternativos
1. Irrigación de forrajes	Lodos activados; filtros rociadores; discos biológicos sin nitrificación.
2. Irrigación de cultivos de consumo directo	Lodos activados; filtros rociadores; discos biológicos sin nitrificación.
3. Irrigación de parques y jardines urbanos	Secundario más filtración.
4. Generación de energía y enfriamiento	Lodos activados; filtros rociadores; discos biológicos sin nitrificación. Secundario más coagulación con cal más intercambio iónico.
5. Calderas	Secundario nitrificado más coagulación con cal; coagulación con cal más intercambio iónico. Secundario, más adsorción con carbón activado, más coagulación con cal, más intercambio iónico.
6. Industrial	Secundario con nitrificación-denitrificación; secundario más filtración. Lodos activados; filtros rociadores; discos biológicos sin nitrificación. Terciario con cal; terciario con cal más adsorción con carbón activado. Adsorción con carbón, efluente de secundario filtrado; adsorción con carbón efluente terciario con cal; secundario nitrificado más coagulación con cal, más intercambio iónico; ósmosis inversa de efluente terciario.
7. Piscicultura	Coagulación con cal de efluente nitrificado; coagulación con cal más intercambio iónico. Coagulación con cal de efluente nitrificado; coagulación con cal más intercambio iónico.

Tabla 3.2 (cont)

Uso	Tratamientos alternativos
8. Recreativo a) sin contacto primario b) con contacto primario	Filtración de efluente secundario coagulación con alumbre añadido a depósitos aireados; primario con coagulación con cloruro férrico; secunda- rio más coagulación con cal; coagulación con cal más intercambio iónico.
9. Abastecimiento doméstico a) recarga de acuíferos por aspersores b) recarga de acuíferos por inyección c) recarga de acuíferos por disposición super- ficial	Infiltración- percolación. Osmosis inversa de efluente terciario. Secundario con nitrificación más coagulación con cal y adsorción con carbón activado; terciario con cal; adsor- ción con carbón e intercambio iónico; sistemas físico- químicos con cal; sistemas físicoquímico con cloruro férrico.

(1) Culp, Wesner, Culp. "Water Reuse and Recycling, vol. 2: Evaluation of Treatment Technology". 1979.

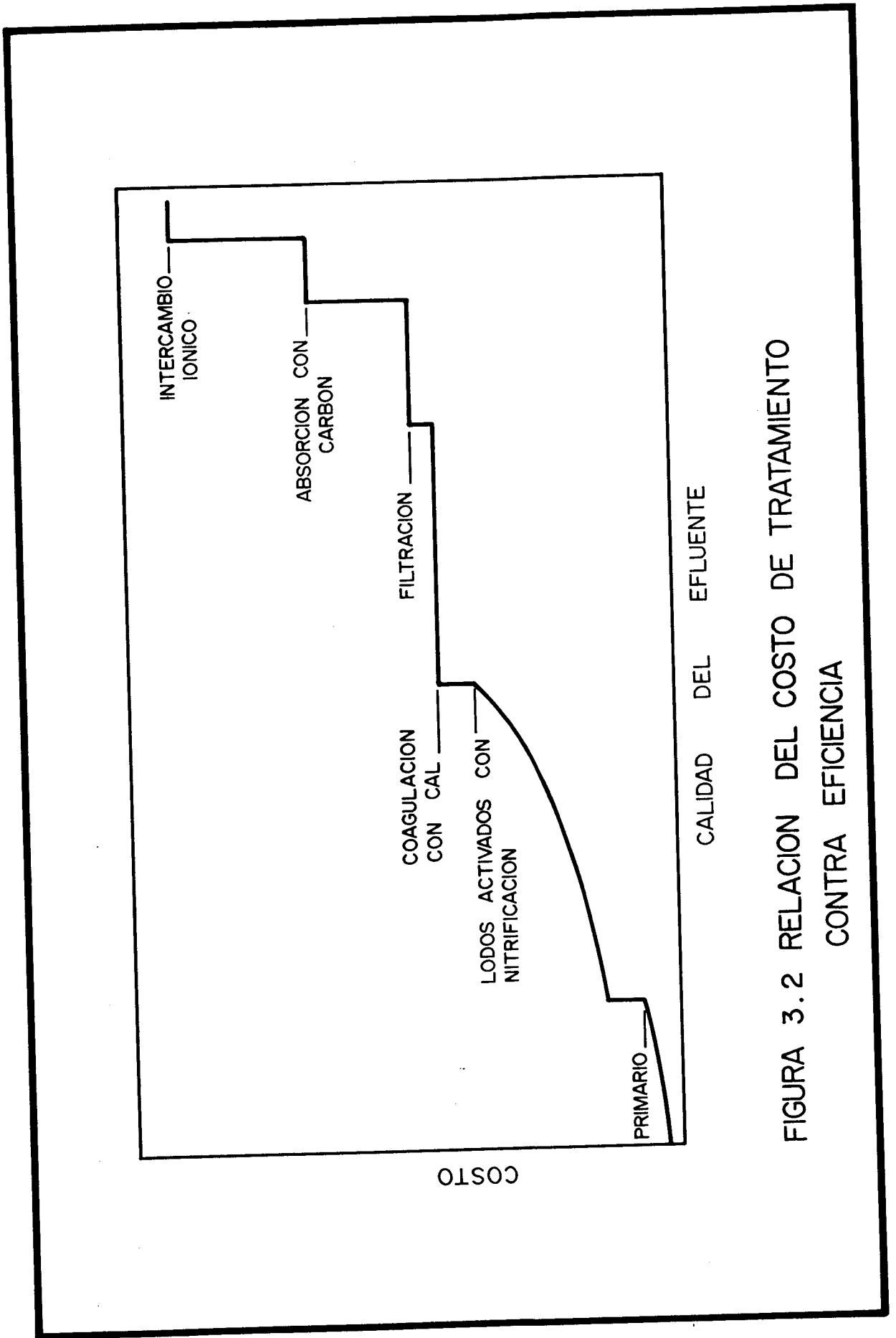


FIGURA 3.2 RELACION DEL COSTO DE TRATAMIENTO
CONTRA EFICIENCIA

BIBLIOGRAFIA

- SRH Bases para la Planeación del Abastecimiento de Agua en el Sector Industrial. 1976. México.
- SRH (Felipe Ochoa y Asociados). Modelos de la Reglamentación y de Decisión bajo Incertidumbre para la Resolución de Solicitudes de Uso del Agua. 1974. México.
- SRH (Corporación de Planificación, S.A.). Patrones de Comportamiento de los Diversos Usos del Agua en las Concentraciones Urbanas para la Detección de Variables de Control en los Problemas de Demanda a Corto y Largo Plazo. 1975. México.
- IWRA Water for Human Needs. 2nd World Congress on Water Resources. 1975. New Delhi, India.
- ONU Sistemas Nacionales de Administración de Aguas. 1977. USA.
- SRH Legislación Relativa al Agua y su Contaminación. México.
- SRH Ley Federal de Aguas. Índice Temático y Alfabético. 1976. México.
- National Institute for Water Research. A Guide to Water Conservation and Water Reclamation. 1969. Petroria, South Africa.
- USEPA Health Guidelines for Water Resources and Related Land Use Management. 1971. USA. NTIS: PB-230 180.
- USEPA A Demonstration of Areawide Water Resources Planning. Users Manual. 1979. USA. NTIS: PB-286 205.