

## **RESUMEN Y CONCLUSIONES**

### **1. Origen, justificación y objetivos del estudio**

La contaminación de ríos, lagunas, presas y otros cuerpos receptores de aguas residuales se ha constituido en una preocupación de primer orden en virtud de su incidencia sobre la calidad de vida de la población y el desarrollo de las actividades económicas que requieren del uso del agua de tales cuerpos. Esta preocupación ha dado lugar al surgimiento de un esquema jurídico-administrativo para la regulación de este problema, el que, a su vez, ha estimulado el crecimiento de las inversiones en proyectos de saneamiento ambiental. Si se considera que el uso de estos recursos significa un alto costo de oportunidad, resulta muy importante elevar la calidad de tales inversiones a través del mejoramiento de su rentabilidad social.

Aun cuando la técnica de evaluación socioeconómica es una herramienta que contribuye a tomar las decisiones adecuadas para lograrlo, actualmente, en la evaluación de proyectos de saneamiento, se aplica el análisis de mínimo costo, lo que implica suponer: a) que estos proyectos tienen VAN positivo, y b) todas las opciones de proyectos tienen beneficios iguales.

Ahora bien, dado que la calidad de las aguas residuales originadas en la ciudad de Puebla, que son descargadas directamente sobre los ríos Atoyac y Alseseca, rebasan los parámetros permisibles establecidos en la norma oficial mexicana NOM-067-ECOL-1994, que entrará en vigor el 1 de enero de 1997, el Sistema Operador de los servicios de Agua Potable y Alcantarillado del municipio de Puebla propuso la construcción de cinco plantas de tratamiento de aguas residuales, con la finalidad de mejorar la calidad de las descargas y cumplir así con las condiciones exigidas en la citada norma, evitando de esta manera el pago de los derechos que implicaría su incumplimiento.

El proyecto fue otorgado a la sociedad denominada Agua Purificada de Puebla, S.A. de C.V., bajo la figura de un contrato de obra y prestación de servicios. En virtud de que el Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos, S.N.C., participará financieramente en dicho proyecto, encargó al Centro de Estudios para la Preparación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos (CEPEP)-Instituto Tecnológico Autónomo de México (ITAM) la evaluación socioeconómica del mismo.

En este orden de ideas, los objetivos que persigue el presente estudio son los siguientes:

- a) Proponer una metodología que constituya una aproximación al enfoque costo-beneficio para la evaluación socioeconómica de plantas de tratamiento de aguas residuales.
  - b) Aplicar la metodología propuesta al proyecto de construcción de las cinco plantas de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Puebla.
2. Metodología costo-beneficio para la evaluación socioeconómica de plantas de tratamiento de aguas residuales

### 2.1 Consideraciones generales

En la medida en que la generación de aguas residuales puede ser vista como una externalidad negativa provocada por el consumo de agua potable, es muy importante tener en cuenta todas aquellas medidas que pueden alterar la demanda de esta última y, por tanto, los volúmenes de generación de aguas residuales. La micromedición de los consumos de agua potable y el cobro de éstos mediante una tarifa (N\$ por cada m<sup>3</sup>) es una medida que no sólo reduciría los volúmenes producidos de aguas residuales (como consecuencia de una disminución de la cantidad demandada de agua potable), sino que, además, reduciría el tamaño de diseño requerido para una planta de tratamiento de aguas residuales y generaría beneficios por sí misma al ahorrar los recursos que se emplean en la producción de agua potable que, eventualmente, se dejaría de consumir.

### 2.2 Proyectos de tratamiento de aguas residuales

La generalidad de los proyectos de tratamiento de aguas residuales tienen como principal objetivo la descontaminación de los cuerpos de agua que reciben las descargas de aguas residuales domésticas e industriales, y como todo proyecto, implican incurrir en costos con el objeto de obtener beneficios.

Los principales beneficios de este tipo de proyectos pueden ser considerados como *intangibles* en la medida en que se refieren al mejoramiento de la calidad de vida de la población a través del mejoramiento del ambiente, eliminando los malos olores, las plagas, los focos de infección y todos los aspectos indeseables, permitiendo, asimismo, el desarrollo de la flora y la fauna. El carácter de intangible proviene de la dificultad que significa la cuantificación y la valoración de los beneficios percibidos por las personas. Y es que para el análisis de los *bienes ambientales* no existe un mercado

donde sea posible observar las cantidades y los precios transados de los mismos.

A pesar de ello, es posible considerar que las personas que se beneficiarían con los proyectos tienen una *disposición a pagar* por la obtención de tales beneficios. Una manera de estimar esa disposición es a través de la aplicación de técnicas tales como las metodologías de *valuación contingente* y de *precios hedónicos*, cuya utilización permitiría eliminar ese carácter de intangible.

La metodología de valuación contingente<sup>1</sup> consiste en la elaboración de un cuidadoso proceso de entrevistas a los potenciales beneficiarios, con la finalidad de establecer su máxima disposición a pagar por el bien que ofrecerá el proyecto, sometiendo la información a un riguroso proceso econométrico. Ésta, a su vez, permite construir una curva de demanda que muestra el valor que los consumidores atribuyen a dichos beneficios.

Por su parte, la metodología de precios hedónicos<sup>2</sup> puede ser aplicada en los casos en que existe información de transacciones de mercado y tiene como base un enfoque de demanda que distingue dos aspectos relevantes de la misma: a) Quién demanda (el consumidor), y b) Qué es lo que se demanda (el bien). Sostiene que el interés de los consumidores radica en las características del bien, no en el bien en sí mismo. Se establece la denominada función hedónica, donde el precio del bien es la variable dependiente y los atributos del bien son las variables independientes, determinando la forma y el monto en que cambia el precio como consecuencia de cambios observados en los atributos, lo cual puede ser apreciado como un efecto atribuible al proyecto. Un ejemplo lo puede constituir el *incremento en el valor de los predios no agrícolas aledaños a los cuerpos de agua que serán saneados*.

Existe, sin embargo, una forma alternativa para medir ese incremento de valor que consiste en la estimación de esos efectos buscando el *con proyecto en la realidad*; es decir, buscando una situación ya existente, que pueda ser observada, y que pueda simular la situación sin contaminación que sería posible con el proyecto, comparando los valores monetarios de ambas situaciones se tendría en cambio porcentual esperado con la ejecución del proyecto.

---

1 MIDEPLAN, División Planificación, Estudios e Inversiones; documento del seminario Metodologías alternativas para la valoración de beneficios en la evaluación socioeconómica de proyectos públicos de inversión.

2 Idem.

De esta manera se estarían midiendo y valorando *una parte* de los beneficios que habían sido señalados como intangibles. Sin embargo, es posible avanzar más y medir otro segmento de los efectos generados por este tipo de proyectos.

*Ahorro de costos derivado de la reducción de los índices de morbilidad de la población.* Un proyecto de saneamiento probablemente contribuiría de manera parcial a la disminución de los índices de morbilidad de la población, lo que se traduciría en incrementos de la productividad laboral y en ahorro de gastos médicos.

Para medir y valorar estos efectos es necesario conocer, en la situación sin proyecto, el estado que guarda la salud de la población del área de influencia. Posteriormente se debe verificar si el tratamiento de las aguas residuales logrará reducir las concentraciones de contaminantes a un nivel que permita que las enfermedades detectadas disminuyan o desaparezcan. La determinación del beneficio obtenido por la disminución de las enfermedades vinculadas con la contaminación de los cuerpos receptores de aguas residuales, se puede realizar multiplicando el número de casos por los costos en que se incurre en cada uno de ellos.

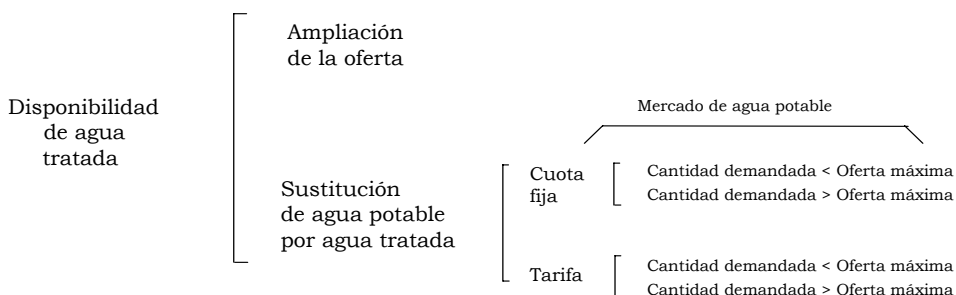
Ahora bien, es posible considerar que el agua tratada que estaría disponible como consecuencia del proyecto puede tener usos diversos que generarían beneficios adicionales como el siguiente.

*Incremento en el valor de la producción agrícola.* Para medir y valorar estos efectos es necesario determinar si la calidad del agua utilizada para riego, en la situación sin proyecto, impide o restringe los cultivos, de acuerdo con la normatividad vigente en el lugar y en el momento del estudio. Posteriormente, se debe determinar si el tratamiento de las aguas residuales logrará reducir las concentraciones de contaminantes a un nivel que permita el cambio en el patrón de cultivos hacia aquéllos de mayor rentabilidad.

El beneficio del proyecto de saneamiento sería el incremento en el valor de la producción agrícola, calculado como la diferencia entre el valor de la producción de los nuevos cultivos de la situación con proyecto y el valor de la producción del cultivo de la situación sin proyecto.

Por otra parte, de manera adicional al objetivo de la descontaminación, estos proyectos entregan como producto agua tratada que puede ser utilizada en actividades tales como el riego de áreas verdes, el lavado de automóviles, algunas actividades

industriales, y otras. El análisis de los efectos generados por la disponibilidad de esta agua tratada debe distinguir, como punto de partida, las dos situaciones básicas que se presentan en la figura 2.1.



**Figura 2.1**

1. Cuando significa la *aparición* o la *ampliación* de la oferta de agua tratada, el proyecto permitiría la realización de consumos que anteriormente eran imposibles en virtud de las restricciones de la oferta y como consecuencia de esto se observaría, entonces, un *beneficio por el bienestar asociado a la satisfacción de una demanda por agua tratada*.
2. Cuando hace posible la sustitución de agua potable por agua tratada, si el proyecto permite que se disponga de ésta a un costo de producción más bajo que el del agua potable, se obtendría un *beneficio por el diferencial de costos*.

La sustitución de agua potable por agua tratada tendría como consecuencia efectos sobre el propio mercado del agua potable. Y para el análisis de éste es importante distinguir las situaciones particulares que prevalecen con relación a la modalidad del precio que se cobra y al balance entre la oferta y la demanda, como ya se indicaba en la figura 2.1.

- i. Si el precio es una cuota fija y la demanda de agua potable es menor que la oferta máxima del sistema, el costo marginal de consumir un  $m^3$  adicional de agua potable es igual a cero, pero, en la medida en que se emplean recursos para producir ese  $m^3$ , el costo en que incurre la sociedad es mayor que cero, por tanto el proyecto generaría, como efecto neto, un beneficio por la liberación de recursos empleados en la producción del agua potable que se deja de consumir.
- ii. Si el precio es una cuota fija, la demanda es mayor que la oferta máxima y hay restricción administrativa del consumo (tandeo), el proyecto generaría un beneficio por el ahorro del costo provocado

por el racionamiento administrativo del consumo, ya que si el proyecto disminuye la demanda por agua potable hasta un punto en que pueda ser satisfecha por la oferta, desaparecen las condiciones que originan el tandeo y, por tanto, los costos asociados a él.

- iii. Si el precio es igual a una tarifa establecida de acuerdo con el costo marginal social de producción y la demanda de agua potable es menor que la oferta máxima del sistema, el proyecto generaría un efecto en el que el costo y el beneficio son exactamente iguales y, por tanto, el efecto neto es neutro.
- iv. Si el precio es igual a una tarifa establecida de acuerdo con el costo marginal social de producción y la demanda de agua potable es mayor que la oferta máxima del sistema, el proyecto generaría un beneficio por el ahorro del costo provocado por la imposición de un precio de *restricción*, puesto que si el proyecto disminuye la demanda por agua potable hasta un punto en que pueda ser satisfecha por la oferta, desaparecen las condiciones que imponen ese precio y, por tanto, los costos asociados a él.

Finalmente, debe señalarse que los proyectos aquí expuestos implican incurrir en costos por concepto de inversión para la construcción de las plantas de tratamiento, así como por los conceptos de mantenimiento y operación de las mismas. Estos costos deben ser valorados a precios sociales y pueden ser desagregados de la siguiente manera:

- i) Inversión
  - Comerciables (equipo electromecánico de importación)
  - No comerciables (obra civil)
- ii) Mantenimiento y operación
  - Mano de obra (calificada, semicalificada y no calificada)
  - Materiales y suministros (comerciables y no comerciables)
- iii) Costos fijos (gastos administrativos y patentes)

### 3. Situación actual en la ciudad de Puebla

#### 3.1 Localización del proyecto

El proyecto se localiza en la ciudad de Puebla y cuenta con una extensión de 13,000 has. aproximadamente (24.8% de la extensión total del municipio), con una precipitación pluvial anual de 800 mm.

Se estima que en 1994, el municipio contaba con una población de 1,161,775 habitantes, la cual, podría llegar a 1,337,866 habitantes en el año 2000.

Los ríos Atoyac y Alseseca cruzan la ciudad de norte a sur y sus aguas desembocan en la presa Valsequillo.

La actividad económica es importante, principalmente en el sector industrial, donde predominan las del ramo metal-mecánica y textil.

### 3.2 Agua potable

En la actualidad, el abastecimiento de agua potable en la ciudad de Puebla se realiza mediante la explotación de fuentes subterráneas a cargo SOAPAP; además, existen pozos independientes operados directamente por algunos usuarios.

#### a) Infraestructura física

El sistema muestra, en términos generales, las siguientes características: conexiones inadecuadas en algunas partes de la red de conducción, falta de medición de los caudales de agua extraída en los pozos, mantenimiento inadecuado en la red de distribución y descarga de las aguas residuales directamente y sin tratamiento previo a los ríos Atoyac y Alseseca.

En 1994<sup>3</sup>, la cobertura de los servicios de agua potable y alcantarillado fue del 81.8 y 80%, respectivamente, para un total de 250,595 viviendas.

#### b) Oferta y demanda de agua potable

La producción de agua potable en 1994 fue de 3.5 m<sup>3</sup> por segundo. Las pérdidas físicas de agua, principalmente en la red de distribución, ascendieron a 0.88 m<sup>3</sup> por segundo, lo que representa 29% de la producción del sistema; si se descuentan las pérdidas físicas, el suministro fue de 2.65 m<sup>3</sup> por segundo: 2.15 m<sup>3</sup> por segundo del sistema y 0.5 m<sup>3</sup> por segundo de los pozos independientes, este monto constituye la *oferta efectiva* que enfrenta a la demanda de agua potable.

---

3 Estimación propia con base en el X y XI Censo General de Población y Vivienda, 1980 y 1990, INEGI.

Cabe señalar que la inexistencia casi generalizada de micromedición y macromedición, impide disponer de datos exactos sobre esta materia, por lo que se tiene que trabajar con estimaciones proporcionadas por personal técnico del SOAPAP.

La oferta efectiva de agua potable es de 6.98 millones de m<sup>3</sup> mensuales y la demanda de 8.61 millones de m<sup>3</sup>; por lo tanto, el déficit asciende a 1.63 millones de m<sup>3</sup> mensuales, lo que obliga a racionar el suministro mediante interrupciones periódicas del servicio (tandeo).

La cantidad demandada futura de agua potable en el horizonte del proyecto se estimó con base en la tasa media anual de crecimiento poblacional experimentada en la década de los ochenta y considerando una dotación promedio de agua de 250 litros/habitante/día, además se supuso que el actual sistema de cobro sobre la base de cuotas se mantiene en el futuro (ver cuadro No. 3.1).

**Cuadro No. 3.1** Demanda futura de agua potable

Año	Población	Demanda Mensual (millones de m <sup>3</sup> )
2000	1'337,866	10.17
2005	1'504,833	11.44
2010	1'692,638	12.87
2015	1'903,880	14.48

Fuente: Elaboración propia con base en datos de INEGI, X y XI Censo de Población y Vivienda, 1980 y 1990.

Los precios por el suministro del agua potable en la ciudad de Puebla contemplan las modalidades de *cuotas fijas* y *tarifas por servicio medido*. En el sector doméstico, la proporción que guardan ambas modalidades es del 99 y 1%, respectivamente, en tanto, en el sector comercial e industrial la proporción es de 92 y 8%.

### 3.3 Aguas residuales municipales

El sistema de alcantarillado municipal de la ciudad de Puebla es combinado (pluvial y sanitario) y descarga directamente sobre los ríos Atoyac y Alseseca sin tratamiento alguno; las aguas residuales vertidas a los ríos mencionados son básicamente de origen doméstico, sin embargo, también descargan industrias cuyos procesos productivos generan aguas residuales con material orgánico.

El volumen de las aguas residuales, en 1994, fue de aproximadamente  $2.4\text{m}^3$  por segundo. Se estima que para el año 2000, dicho volumen podría alcanzar los  $2.71\text{m}^3$  por segundo. Del consumo de agua potable, aproximadamente sólo el 70 % es desalojada a través del sistema de drenaje, correspondiendo el 30% restante a las pérdidas por derrames, infiltraciones y evaporaciones.

De acuerdo con los parámetros de la Norma Oficial Mexicana NOM-067-ECOL/1994, la cual establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los cuerpos receptores provenientes de los sistemas de alcantarillado o drenaje municipal, las descargas actuales de la ciudad de Puebla rebasan el máximo permitido en DBO Y SST; por lo tanto, el SOAPAP está obligado al pago del derecho por uso de los cuerpos receptores de aguas residuales.

Cabe mencionar que la normatividad específica en donde se establecen de manera específica los parámetros y sus valores a cumplir para las personas físicas o morales que descarguen sus aguas residuales a cuerpos receptores, son "las condiciones particulares de descarga". Posiblemente en éstas se establezca un valor máximo para los coliformes totales, dado que las aguas de la presa Valsequillo, que se usan en el riego agrícola, provienen en su mayoría de los ríos Atoyac y Alseseca.

Sin embargo, cabe señalar que la Ley que obliga a dicho pago, también exonera del mismo a los municipios que les sea autorizado por la Comisión Nacional del Agua, un programa de construcción de obras de control de la calidad de sus descargas. La situación mencionada anteriormente es la que prevalece actualmente en la ciudad de Puebla.

### 3.4 Cuerpos receptores

Desde el punto de vista topográfico, la ciudad de Puebla presenta zonas de lomeríos suaves<sup>4</sup> con pendientes hacia dos cauces, el río Atoyac y el río Alseseca.

El *río Atoyac* es el principal cuerpo receptor que cruza el municipio de Puebla, nace de los deshielos y escurrimientos del volcán Iztaccihuatl; en su recorrido por el valle de Puebla recibe como tributarios a los ríos Xopanac, Zanja Real y La Cadena, así como al río Zahuapan.

El caudal medio anual diario antes de la descarga en la presa Valsequillo es de 6.7m<sup>3</sup>/segundo<sup>5</sup>, El caudal medio anual de las aguas residuales de Puebla es de 1.73 m<sup>3</sup>/segundo<sup>6</sup>. De acuerdo a la información anterior, la participación de las aguas residuales representan el 26% del caudal medio anual del río Atoyac.

El *río Alseseca* nace de las numerosas barrancas y corrientes intermitentes que descienden de las faldas de la montaña Malinche; se forma básicamente con las descargas del drenaje sanitario de la ciudad de Puebla, su caudal medio anual es de 0.8 m<sup>3</sup>/segundo<sup>7</sup>, compuesto por 0.7 m<sup>3</sup>/segundo de descargas de alcantarillado sanitario (88%) y 0.1 m<sup>3</sup>/segundo de otros escurrimientos (12%).

*La presa Valsequillo* es el punto terminal de las cuencas descritas, tiene una capacidad de almacenamiento de 400 millones de m<sup>3</sup> anuales; en los últimos 5 años se estima una captación de 235 millones de m<sup>3</sup>, de los cuales el río Atoyac aporta un total de 210 millones (89%) y el río Alseseca 25 millones (11%)<sup>8</sup>.

El desarrollo poblacional e industrial de la región a generado la contaminación donde se reportan las concentraciones medias anuales de contaminantes y caudales reportados por la Comisión Nacional del Agua en los ríos y en la presa Valsequillo.

Los niveles de contaminación del río Atoyac y los ríos tributarios muestran un aumento significativo conforme se van integrando las

- 
- 4 Significa que el suelo no es completamente plano, sino que tiene pequeños bordes y pendientes ligeras, que conducen el agua de manera natural hacia los cuerpos receptores.
  - 5 Estimado en base a la captación anual de la presa Valsequillo: 235 millones de metros cúbicos por año y el 89% son aportaciones del río Atoyac.
  - 6 Grupo Mexicano de Desarrollo
  - 7 Estimado en base a la captación anual de la presa Valsequillo: 235 millones de metros cúbicos por año y el 11% son aportaciones del río Alseseca.
  - 8 Comisión Nacional del Agua Distrito de Riego 030 Valsequillo

descargas de agua residual de los 36 municipios que se localizan en la cuenca, principalmente aguas arriba de la ciudad de Albatros (ver cuadro 3.2).

**Cuadro 3.2** Municipios en la cuenca hidrológica por estado de la presa Valsequillo

Municipio	Habitantes*	Porcentaje
<i>PUEBLA</i>		
PUEBLA	1'268,945	58.22
SAN MARTIN	113,365	5.20
TEXMELUCAN	93,812	4.30
PEDRO CHOLULA		
Otros 7 municipios	167,643	1.32
SUBTOTAL	1'643,765	75.40
<i>TLAXCALA</i>		
26 MUNICIPIOS	535,641	24.60
SUBTOTAL	535,641	24.60
TOTAL	2'179,406	100.00

Fuente: Elaboración propia con base en datos del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), Anuario Estadístico de la ciudad de Puebla, 1994.

\*/ población estimada con base en información de INEGI, Censo de Población y Vivienda, 1990.

Por otra parte, en el área de influencia se localizan 12 parques industriales, los cuales albergan aproximadamente a 226 industrias de diversas ramas entre las que destacan la textil, química, materiales de construcción, electromecánica y automotriz.

### 3.5 Tierras agrícolas

La producción del distrito de riego 2000 se realiza en 20,617 hectáreas; considerando la norma señalada en el apartado anterior, los cultivos se concentran mayormente en granos básicos, siendo su distribución la que se muestra en el siguiente cuadro:

**Cuadro 3.3** Valor de la producción por hectárea del distrito de riego 2000 "Valsequillo" (nuevos pesos de mayo de 1995)

Cultivo	Superficie (Has)	%	Rendimiento (Ton/Ha)	Precio Medio Rural	Valor de la Producción N\$	Costo de producción N\$	Utilidad de producción N\$
Maíz	13,884	67.0	3.7	650	2,405	1,890	515
Frijol	3,289	16.0	1.3	2,000	2,600	1,500	1,100
Alfalfa	2,670	13.0	70.0	100	7,000	3,300	3,700
Chile	774	4.0	1.1	3,000	3,300	2,900	400
Total							1,017*

Fuente: Comisión Nacional del Agua, Reporte Anual de Resultados, 1994. Tipo de cambio: N\$6.05 por US dlls.

\* Corresponde al promedio ponderado por la participación porcentual de los cuatro cultivos.

### 3.6 Salud de la población

Es posible que la contaminación de los cuerpos receptores haya contribuido al desarrollo de enfermedades infecciosas y parasitarias del aparato digestivo; durante 1994, de una población total de 1'161,775 habitantes, se detectaron en la ciudad de Puebla 11,763 casos; es decir, un caso anual por cada 99 habitantes: 6,103 de amibiasis; 3,572 de ascariasis; 693 de oxiuriasis; 574 de intoxicación alimentaria; 384 de giardiasis; 213 de fiebre tifoidea; 102 de paratifoidea y otras salmonelas; 94 de shigelosis y 28 de cólera.

Debido a la falta de estadísticas, fue muy difícil llevar a cabo una comparación de las enfermedades mencionadas anteriormente con las registradas en otras ciudades de características similares.

### 3.7 Programa de inversiones

Actualmente existe un programa de inversiones en agua potable y saneamiento ambiental para la zona metropolitana de Puebla, a ejecutarse en tres años, en el cual se contemplan las siguientes acciones:

- Rehabilitación y ampliación de la infraestructura del sistema de agua potable y alcantarillado, incluyendo la macro y micromedición.
- Tratamiento de las aguas residuales que descargan en los ríos Atoyac y Alseseca. En este componente se incluyen las cinco plantas de tratamiento de aguas residuales a construir en la ciudad de Puebla.
- Fortalecimiento institucional del SOAPAP.
- Programa de educación ambiental y comunicación social, así como el control de las descargas del sector industrial.

Este programa contempla la realización simultánea de dichas acciones. Sería conveniente ver la posibilidad de poder modificar la secuencia de su ejecución de tal manera que previo a la construcción de las cinco plantas de tratamiento de aguas residuales, se pudieran realizar las acciones en el sector del agua potable (rehabilitación de la red de distribución y la macro y micromedición), en virtud de que estas medidas seguramente podrían ocasionar una disminución en el

consumo de agua potable y por ende en la producción de aguas residuales.

La rehabilitación de la infraestructura de saneamiento con que se cuenta en varios municipios del estado de Tlaxcala que también forman parte de la cuenca, podría ser otra de las medidas que valdría la pena analizar para su ejecución antes de la construcción de las plantas de tratamiento, ya que posiblemente contribuiría a disminuir el nivel de contaminación del río Atoyac antes de su paso por Puebla.

Los efectos de ambas medidas, podrían reflejarse en el aplazamiento de las inversiones en nuevas fuentes de captación y en modificaciones en el diseño de las plantas de tratamiento.

#### 4. Definición de proyectos

##### 4.1 El proyecto propuesto

Actualmente, la calidad de las aguas residuales originadas en la ciudad de Puebla, que son descargadas directamente sobre los ríos Atoyac y Alseseca, rebasan los valores permisibles de los parámetros establecidos en la norma oficial mexicana NOM-067-ECOL-1994 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las descargas de aguas residuales de origen municipal, que entrará en vigor el 1 de enero de 1997. En este sentido, el SOAPAP propuso la construcción de cinco plantas de tratamiento de aguas residuales con la finalidad de mejorar la calidad de las aguas que son descargadas, para cumplir, así, con las condiciones normativas señaladas y evitar ser objeto de las sanciones previstas en la ley.

El proyecto consiste en la construcción de dos sistemas de tratamiento formados por cinco plantas, tres localizadas sobre las márgenes del río Atoyac (El Conde, San Francisco y Atoyac Sur) y Alseseca (Parque Ecológico y Alseseca Sur). Se ha planteado que, en conjunto, el sistema tendría una capacidad de tratamiento de 2,707 litros por segundo (que es la estimación de generación de aguas residuales para el año 2000) e incluiría la construcción de 133.4 kms. de colectores para conducir las aguas residuales de la ciudad hasta las plantas de tratamiento. Cabe señalar que la producción de agua tratada de la planta Parque Unido sería destinada al riego del propio parque y, además, permitiría disponer de agua suficiente para el resto de las áreas verdes de la ciudad.

El cuadro No. 4.2 muestra algunos de los parámetros que indican la calidad actual de las descargas domiciliarias de la ciudad de Puebla,

que constituyen el influente de las plantas de tratamiento; muestra también la calidad del agua que arrojarían las plantas (efluente), así como los límites máximos permisibles de contaminantes establecidos en la norma oficial mexicana NOM-067-ECOL-1994.

**Cuadro 4.1** Características del influente y del efluente

Parámetros	Barranca del Conde	San Francisco	Atoyac Sur	Parque Ecológico	Alseseca Sur	Límite máximo permisible
<b>Caudales</b>						
Promedio diario (l/seg)	380	1,263	209	80	775	
<b>Influente (promedio anual)</b>						
DBO (mg/l)	250	291	250	250	250	50
SST (mg/l)	250	224	250	250	250	50
Coliformes totales (NMP/100 ml)	$2.5 \times 10^{15}$	$2.4 \times 10^{15}$	$2.4 \times 10^{15}$	$2.4 \times 10^{15}$	$2.4 \times 10^{15}$	-
<b>Efluente (promedio mensual)</b>						
DBO (mg/l)	< 30	< 30	< 30	< 30	< 30	50
SST (mg/l)	< 30	< 30	< 30	< 30	< 30	50
Coliformes totales (NMP/100 ml)	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	-

Fuente: Anexos del contrato de prestación de servicios entre Agua Purificada de Albatros, S.A. de C.V. y el Sistema Operador de los servicios de Agua Potable y Alcantarillado del municipio de Puebla (SOAPAP).  
Abreviaturas : SST (Sólidos suspendidos totales) Cantidad de material en estado sólido contenido en las aguas residuales. Coliformes totales. Grupo de bacterias que habitan predominantemente en el intestino del hombre.

La licitación del proyecto fue ganada por la empresa Desarrollos Hidráulicos de Puebla, S.A. DE C.V., quien construirá las plantas de tratamiento y las operará por un período de 20 años contados a partir de su puesta en marcha. Una vez transcurrido ese periodo, la empresa transferirá las plantas al SOAPAP sin costo alguno, a menos que las partes acuerden una recontractación. El monto de la inversión, a precios de mayo de 1995, asciende a N\$299.12 millones.

## 4.2 Perspectiva de la normatividad

Si los proyectos de tratamiento de aguas residuales son abordados desde esta perspectiva, la atención se centra sobre el cumplimiento de la normatividad referida a la calidad de las descargas de aguas residuales vertidas sobre los cuerpos de agua: ríos, lagos, lagunas, mares y otros.

Bajo esta visión, los proyectos de tratamiento de aguas residuales se justificarían cuando las descargas sobrepasen los límites máximos

permitidos por la normatividad respectiva, ya que ésta debe ser cumplida so pena de ser objeto de sanciones monetarias.

En este caso lo único que queda por decidir a la evaluación socioeconómica es la opción técnica de proyecto que conviene ejecutar. Es decir, el interés se reduce a un problema ingenieril para elegir la opción que implique los menores costos para la sociedad, utilizando el enfoque de costo-eficiencia.

#### 4.3 Perspectiva del análisis costo-beneficio

La aplicación del análisis costo-beneficio a la evaluación de estos proyectos implica plantear la pregunta de si es conveniente para la sociedad ejecutar un proyecto determinado. La preocupación de esta visión es si el país será más rico o más pobre como consecuencia de la ejecución del proyecto. Es decir, esta perspectiva hace explícitos los beneficios y costos que implica cumplir con la normatividad y, en el fondo, es un cuestionamiento acerca de la conveniencia de cumplir con ésta.

En virtud de que en el presente estudio se ha considerado como un supuesto que la opción técnica de proyecto que fue presentada es correcta, la visión costo-beneficio es la perspectiva con la que se aborda el proyecto de construcción de cinco plantas de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Puebla.

##### a) Definición preliminar de proyectos

Aplicando el *principio de separabilidad* de proyectos a la propuesta de construcción de las cinco plantas de tratamiento, es necesario considerar que los beneficios esperados sobre los ríos Atoyac y Alseseca, como consecuencia del saneamiento, son independientes entre sí: es decir, los efectos generados por el saneamiento del río Atoyac, no dependen de los del río Alseseca, y viceversa.

En este sentido, los sistemas de tratamiento de cada uno de los ríos deben ser considerados como dos proyectos independientes, perfectamente separables. Si se evaluarán conjuntamente, se correría el riesgo de ocultar un proyecto no rentable o de opacar un proyecto rentable. Hasta este momento, por tanto, se podrían definir dos proyectos:

i) Evaluación socioeconómica del sistema de tratamiento del río Atoyac (plantas El Conde, San Francisco y Atoyac Sur).

ii) Evaluación socioeconómica del sistema de tratamiento del río Alseseca (plantas Parque Ecológico y Alseseca Sur).

b) Definición final de proyectos

De acuerdo con la información expuesta en el capítulo anterior acerca de la calidad del agua los ríos en diferentes puntos de monitoreo, se puede afirmar que el proyecto sistema Atoyac no podrá modificar la calidad del agua del río Atoyac, debido fundamentalmente a que este río muestra niveles relativamente altos de contaminación aguas arriba de la ciudad de Albatros y, además, las descargas de aguas residuales de la ciudad sólo constituyen 12% del caudal del río. De esta manera, muy probablemente no se podrá contribuir a la dilución de su contaminación y, por tanto, a generar los beneficios esperados como consecuencia del saneamiento.

En este orden de ideas, es claro que el proyecto del sistema de saneamiento del río Atoyac sólo cobraría sentido si se llevaran a cabo las acciones pertinentes para la descontaminación integral del río, atendiendo la problemática que se presenta aguas arriba de la ciudad de Puebla. Esto quiere decir que no *conviene* ver a la construcción de las plantas del río Atoyac (Barranca del Conde, San Francisco y Atoyac Sur) como *el proyecto* que sanearía al río, sino que debe verse como una *parte* muy importante de un proyecto que contemplaría otras acciones para lograr ese objetivo.

Es importante resaltar que la *identificación* del proyecto es un punto crítico lo que implica el proceso de evaluación de los proyectos. Por tanto, no se sostiene que el sistema de tratamiento del río Atoyac sea un mal proyecto, sino que éste no es el proyecto adecuado, por lo que no conviene evaluarse aisladamente.

Por otra parte, la cuenca hidrológica, de la cual forman parte los ríos involucrados en el proyecto, desemboca en la presa Valsequillo, y ésta tampoco verá disminuido su nivel de contaminación como consecuencia de la ejecución de los proyectos que se han señalado. Esto es así porque el volumen de agua de la presa está constituido por los afluentes de los ríos Atoyac (94%) y Alseseca (6%), de los cuales el primero, que representa la mayoría de la aportación, mantendrá niveles relativamente altos de contaminación. En virtud de ello, surge como interesante, para su evaluación, el proyecto de saneamiento de la cuenca completa, que comprendería a la presa Valsequillo,

los ríos Atoyac y Alseseca, así como todos los cuerpos de agua relevantes.

Así pues, con base en estas consideraciones sería posible visualizar, para su evaluación y como definitivos, los siguientes proyectos:

- i) Evaluación socioeconómica del sistema de tratamiento del río Alseseca.
- ii) Evaluación socioeconómica de un proyecto de saneamiento integral de la cuenca que confluye en la presa Valsequillo.

## 5. Evaluación de proyectos

### 5.1 Evaluación socioeconómica del sistema de tratamiento del río Alseseca

El río Alseseca tiene un recorrido dentro de la ciudad de Albatros de 15 Km, durante su trayecto recibe las descargas de aguas residuales; adicionalmente, la población utiliza este río como depósito de desechos sólidos, lo que ha provocado malos olores, un paisaje desagradable y la proliferación de plagas de roedores.

El proyecto planta de tratamiento Alseseca Sur y Parque Ecológico tiene como objetivo mejorar la calidad del agua del río Alseseca mediante el tratamiento de las descargas de aguas residuales, adicionalmente, se tiene contemplado el abastecimiento de agua tratada para el riego de los parques y jardines de la ciudad.

La dependencia gubernamental responsable del cuidado de las áreas verdes, debido a restricciones presupuestales, sólo tiene capacidad para atender 2.6 hectáreas del total de los jardines de la ciudad.

La inversión del proyecto asciende a N\$95.4 millones; adicionalmente, para el año 2013 se requerirá una ampliación, lo que implica una inversión adicional de N\$35.9 millones.

Los beneficios que se obtendrían con el proyecto son los siguientes: todas las descargas de aguas residuales urbanas vertidas al río Alseseca serán conducidas por colectores subterráneos; se mejorará la calidad del agua del río Alseseca, desde la planta Alseseca Sur hasta su descarga final en la presa Valsequillo; asimismo, la planta Parque Ecológico reportaría beneficios por los conceptos de mejoramiento y ampliación de las áreas verdes de la ciudad.

El costo actual neto del proyecto asciende a N\$139 millones si se consideran 22.6 hectáreas para riego y se ubica en N\$158 millones si se consideran 57 hectáreas. La toma de alguna decisión se debe basar en la comparación de los beneficios y el costo actual neto.

## 5.2 Proyecto de saneamiento integral de la cuenca que confluye en la presa Valsequillo

Como resultado de la investigación realizada, surgió la necesidad de llevar a cabo el estudio de un proyecto integral de saneamiento de la cuenca hidrológica, debido a que la cuantificación y valoración de los beneficios que se podrían generar con el tratamiento de las aguas residuales que son vertidas a los ríos Atoyac y Alseseca durante su trayecto por el municipio de Puebla, requiere, además, de un proceso de saneamiento aguas arriba de dicho municipio, ya que los niveles de contaminación rebasan los límites establecidos en la Normas Oficiales Mexicanas.

Es importante señalar que el desarrollo industrial y poblacional del área de estudio, han generado un incremento en los niveles de contaminación de los principales cuerpos receptores de aguas residuales, lo anterior representa un problema complejo, en el cual los objetivos y metas de saneamiento deben ser estudiados tomando en cuenta los costos y beneficios ambientales, la salud de la población, el aumento en el valor de los predios aledaños a los ríos y los beneficios agrícolas.

Para obtener los posibles beneficios en la salud de la población y en la agricultura, es necesario que los microorganismos existentes en los ríos y la presa se reduzca a los niveles que marcan las Normas Oficiales Mexicanas. Asimismo, para los predios no agrícolas se debe considerar que las principales características que inciden son el paisaje, los malos olores, la presencia de plagas y la existencia de desechos sólidos.

El valor anual del beneficio que se atribuiría a la agricultura por el saneamiento ascendería a N\$75'964,332, dicho beneficio se obtendría paulatinamente a través de una tasa de incorporación anual; sin embargo, debido a la diferencia que existe en el precio actual de una hectárea donde se siembra maíz y de una hectárea donde se siembran hortalizas, y considerando que el precio de mercado de las hortalizas es muy variable, se elaboró un escenario menos optimista donde el precio medio rural es menor, resultando un beneficio anual de N\$20'355,708.

En cuanto a salud se refiere, no se logró determinar el valor monetario del beneficio atribuible, ya que para su cálculo se requiere conocer, por enfermedad, el número de casos que disminuirían a raíz del saneamiento de los cuerpos receptores, lo anterior no se obtuvo debido a que en el sector salud no se elaboran estadísticas sobre el comportamiento de dichas enfermedades; sin embargo, se realizaron algunos escenarios que consideran una disminución de 10 y 25% en los índices de morbilidad.

En lo que respecta al beneficio por el incremento en el valor de los predios no agrícolas, el valor ascendería a N\$100'818,978.

En los valores obtenidos en los diferentes escenarios se considera constante el beneficio obtenido en los predios no agrícolas; dichos valores se resumen a continuación:

- 1) Considerando un beneficio anual de N\$20'355,708 en la agricultura y una disminución en los índices de morbilidad de N\$566,750 (10%), el valor actual de los beneficios que se obtendrían en el proyecto integral sería igual a N\$153'277,234.
- 2) Con un beneficio anual en la agricultura de N\$20'355,708 y una disminución en los índices de morbilidad de N\$1'408,026 (25%), el valor actual de los beneficios ascendería a N\$157'786,912.
- 3) Si consideramos un beneficio anual en la agricultura de N\$75'964,332 y una disminución en los índices de morbilidad de N\$566,750, el valor actual de los beneficios se ubicaría en N\$365'903,609.
- 4) Con un beneficio anual en la agricultura de N\$75'964,332 y una disminución en los índices de morbilidad de N\$1'408,026, el valor actual de los beneficios para el proyecto integral sería de N\$370'413,286.

Es importante mencionar que los beneficios calculados en este estudio corresponden solamente a una parte de los que el proyecto integral de saneamiento de la cuenca podría generar. El valor total de los beneficios representarían el punto de referencia para el monto de la inversión a realizar desde el punto de vista de la evaluación socioeconómica.

## 6. Conclusiones, recomendaciones y limitaciones

### 6.1 Conclusiones

- a) Con relación al sistema de abastecimiento de agua potable se observa lo siguiente:
  - i) Problemas en la infraestructura de distribución que genera pérdidas físicas.
  - ii) Ausencia de medición en las fuentes de captación y en las tomas domiciliarias.
  - iii) Ausencia de un esquema de tarifas establecido de acuerdo con los costos de producción del agua potable.
- b) Debido a lo anterior, se puede afirmar que dicho sistema opera con deficiencias que se reflejan en un inadecuado suministro de agua potable y presumiblemente, en su desperdicio.
- c) La solución a la problemática de las pérdidas, significaría, de alguna manera, la ampliación de la oferta de agua potable en la medida en que habría un mejor aprovechamiento de las actuales fuentes de abastecimiento.
- d) La implementación de la medición de los consumos en las tomas domiciliarias, en paralelo con la aplicación de una adecuada política tarifaria, podría disminuir los consumos de agua potable.
- e) La realización de las acciones expuestas en los dos puntos anteriores, muy probablemente podrían contribuir a la postergación de las inversiones en nuevas fuentes de captación.
- f) El proyecto de medición, además de los beneficios que generaría por la liberación de recursos empleados en el agua que se deja de consumir, y en la medida que incide en el consumo de agua potable y por tanto en la producción de aguas residuales, también podría modificar la capacidad de diseño de las plantas de tratamiento de aguas residuales.

- g) El problema de la contaminación del río Atoyac y de la presa Valsequillo no es generado únicamente por la ciudad de Puebla, ya que contribuyen a dicho problema las poblaciones e industrias de los municipios ubicados aguas arriba de Puebla y que forman parte de la región hidrológica.
- h) Las plantas de tratamiento de aguas residuales del sistema Atoyac forman parte importante del saneamiento del río Atoyac; sin embargo, por si solas no son suficientes para lograr dicho fin, ya que éste se encuentra contaminado aguas arriba de la ciudad de Puebla y el volumen de las descargas que serán tratadas representa sólo el 26% del caudal del río.
- i) Las plantas de tratamiento del sistema Alseseca mejorará la calidad de las aguas del río Alseseca en lo que respecta a contenido de materia orgánica y coliformes, debido a que el caudal del río se forma con el 88% de las aguas residuales del sistema de alcantarillado de la ciudad de Puebla.
- j) El mejoramiento de la calidad del río Alseseca se verá limitada, en virtud de que parte del sector industrial de la ciudad de Puebla descarga sus aguas residuales directamente al cauce del río y además, en algunos tramos del mismo, se utiliza como depósito de desechos sólidos.
- k) El proyecto no incidirá significativamente sobre la calidad del agua de la presa Valsequillo, en virtud del mínimo mejoramiento de la calidad del río Atoyac, el cual contribuye aproximadamente con el 89% de las captaciones anuales de la presa.
- l) Dados los puntos anteriores, se puede decir que las cinco plantas de tratamiento de aguas residuales de Puebla deben verse como parte de un proyecto de saneamiento integral de la cuenca.
- m) Con el proyecto propuesto originalmente no se lograrán reducir los niveles de contaminación microbiológica en el agua de los ríos y de la presa, y no será posible la obtención de los beneficios esperados en los predios, en la salud y en la agricultura, debido a que los focos de infección (plagas y malos olores, principalmente) persistirán.
- n) Las plantas de tratamiento ubicadas aguas arriba de la ciudad de Puebla, sobre todo en el estado de Tlaxcala, no contribuyen al mejoramiento de la calidad microbiológica de los cuerpos de agua debido a la ausencia de procesos de desinfección.

- ñ) En virtud de que aproximadamente el 99.6% de la producción de agua tratada del proyecto será descargada sobre los ríos Atoyac y Alseseca, se está renunciando al reuso de la misma y, por consiguiente, a los beneficios asociados a su consumo.
- o) La utilización del 0.4% del agua tratada producida por la planta Parque Ecológico en el riego de las áreas verdes, permitirá obtener beneficios por el mejoramiento del paisaje.
- p) Los efectos asociados a la disminución de la demanda de agua potable requieren de que sea posible el reuso del agua tratada. Sin embargo, las áreas verdes que serán regadas con agua tratada no consumen una cantidad significativa de agua potable que pudiera ser *liberada*, por lo que los beneficios asociados a la sustitución de agua potable por agua tratada no se observarán.

## 6.2 Recomendaciones

- a) Previo a las acciones de saneamiento sería conveniente que se evalúe la posibilidad de solucionar la problemática que muestra el sistema de agua potable, principalmente en los siguientes aspectos:
  - b) Rehabilitación de la infraestructura del sistema.
  - c) Instalación de medidores en las fuentes de captación y tomas domiciliarias.
  - d) Diseño de un esquema de tarifas que tenga como criterios fundamentales los costos reales que implica el suministro, desalojo y tratamiento del agua utilizada; así como garantizar un consumo adecuado de agua potable para las familias de bajos ingresos.
- e) En virtud de los beneficios que estas acciones tienen, las mismas deben considerarse como proyectos prioritarios que pueden retrasar las inversiones en nuevas fuentes de captación, así como modificar la capacidad de las plantas de tratamiento.
- f) La rehabilitación de las plantas de tratamiento que se encuentran en el estado de Tlaxcala podría contribuir a la disminución de materia orgánica en los cuerpos receptores, por lo que es una actividad que debe ser evaluada.
- g) El proyecto integral de saneamiento debe contemplar acciones encaminadas a solucionar el problema de los desechos sólidos en las márgenes de los ríos.

- h) Las descargas industriales directas a los ríos deben ser analizadas de manera individual, debido a los diferentes contaminantes que genera cada actividad.
- i) Se propone que las estadísticas del sector salud, referentes a las enfermedades gastrointestinales que son influenciadas por la contaminación de los cuerpos receptores de aguas residuales, se publiquen regularmente y sean de fácil acceso para quien las solicite, ya que la evaluación socioeconómica de este tipo de proyectos requiere de dicha información.
- j) Diseñar un mecanismo de pago mediante el cual los potenciales beneficiarios contribuyan a la recuperación de la inversión requerida por el proyecto integral de saneamiento.
- k) Realizar una evaluación costo-beneficio de la aplicación de la normatividad relativa a los cuerpos de agua que reciben descargas de aguas residuales, particularmente para la cuenca hidrológica de la presa Valsequillo; es decir, para el proyecto integral de saneamiento.
- l) Con la finalidad de complementar la valoración de los beneficios del proyecto integral de saneamiento, particularmente referidos a la salud de la población y al valor de los predios ubicados en torno a los cuerpos de agua, es necesario considerar la situación del resto de las poblaciones ubicadas aguas arriba de la ciudad de Puebla.
- m) Es necesario contar, en México, con modelos de simulación que permitan predecir cuál sería el cambio en la calidad del agua de los cuerpos que reciben descargas de aguas residuales, como consecuencia del tratamiento de éstas.

### 6.3 Limitaciones

- a) El estudio considera que el diseño de las plantas de tratamiento de aguas residuales es la opción técnica correcta.
- b) No fue posible conseguir la información requerida para la elaboración del estudio con la calidad, cantidad y oportunidad deseable.
- c) La ausencia de un modelo de simulación, no permitió conocer con precisión los cambios esperados en la calidad del agua de los cuerpos receptores como consecuencia de la operación de las plantas de tratamiento de Puebla.