



# EL PRECIO DEL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES

Servín Jungdorf Carl Anthony, Mantilla Morales Gabriela y Hernández Cruz Norma

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua,

Paseo Cuauhnáhuac 8532, Progreso, Jiutepec, Morelos, CP 62550

[cservin@tlaloc.imta.mx](mailto:cservin@tlaloc.imta.mx); [mantilla@tlaloc.imta.mx](mailto:mantilla@tlaloc.imta.mx); [noher.eoa@gmail.com](mailto:noher.eoa@gmail.com)

## EL PRECIO DEL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES

Servín Jungdor Carl Anthony<sup>1</sup>, Mantilla Morales Gabriela<sup>2</sup>, Hernández Cruz Norma<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Paseo Cuauhnáhuac 8532. Progreso, Jiutepec, Mor. C.P. 62550.  
(777)329.36.22

<sup>1</sup>cservin@tlaloc.imta.mx, <sup>2</sup>mantilla@tlaloc.imta.mx, <sup>3</sup>noher.eoa@gmail.com

### RESUMEN

Se analiza la estructura del precio del tratamiento de aguas residuales, utilizando como modelo una planta mecanizada de lodos activados o similar, por ser este tipo de planta las que tienden a abandonarse debido al alto costo por consumo de energía. Si bien se tienen conceptos que elevan el precio, también se abre la posibilidad de incorporar operaciones que permitan generar ahorros para tener como efecto la disminución del precio, o la generación de ingresos para pagar parte o la totalidad de los costos, e inclusive tener utilidad. Se concluye que analizar integralmente el precio de tratamiento del agua residual, entendido éste como el monto que cubre la totalidad de los costos obteniendo además de generar cierto margen de utilidad, permite tener un panorama completo para establecer las políticas y acciones encaminadas a sufragar la operación del sistema de saneamiento, incluidos: la conducción, el tratamiento y la disposición y/o reúso de las aguas residuales.

**Palabras clave:** Tratamiento, agua residual, precio, costo

### Introducción

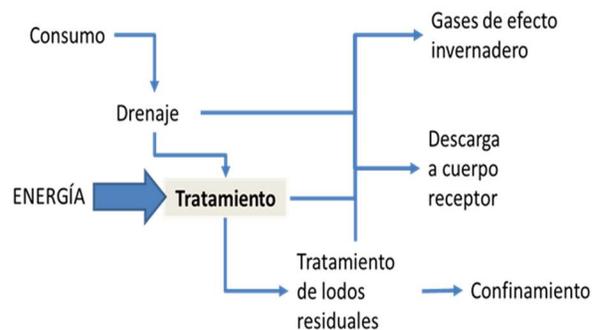
Tratar las aguas residuales, en ocasiones llega a costar tanto o más que el costo del servicio de entrega de agua de primer uso. Ahora que se pretende implantar una norma de descarga más exigente con la justificación de tratar para la conservación del medio ambiente ¿Cómo se puede justificar financieramente su implantación?

Cuando la justificación se hace a partir de la comparación de costos (costo de tratar el agua residual y costo del impacto ambiental causado por las descargas sin tratar), el problema surge en el proceso en el que se cuantifica el costo del deterioro del medio ambiente, costo que por la inexistencia de un mercado que permita cotizar la conservación ambiental es difícil de estimar. Se han desarrollado técnicas de estimación indirectas, como la denominada de “Valor Contingente”, que por medio de encuestas trata de determinar el monto que la sociedad está dispuesta a pagar para conservar el medio ambiente; o el uso de Precios Hedónicos, en los que se trata de cuantificar el valor del deterioro de su entorno mediante la estimación de la pérdida de valor de los predios afectados por el impacto ambiental; o el de Costos de Viaje, que mide la cantidad que las personas pagan para visitar una reserva natural.

En México, tratar de justificar la bondad de tratar el agua residual municipal antes de verterla a un cuerpo receptor, resulta absurdo cuando existe la disposición legal que obliga a las autoridades municipales a tratar el agua residual que se genera en su jurisdicción.

Aplicar sistemas de tratamiento de bajo costo generalmente se complica por la falta de disponibilidad de las reservas territoriales para instalar sistemas de tratamiento que requieran poca energía eléctrica para funcionar. Debido a la disponibilidad de espacio, se tiene que recurrir a sistemas mecanizados y, con ello, al consumo de grandes cantidades de energía, sobre todo en los casos en que se requieren

instalaciones de tratamiento con capacidad mayor a cien litros por segundo (lps). Un sistema de lodos activados convencional genera un efluente con menos carga contaminante y con menor demanda de oxígeno al cuerpo de agua receptor, pero también genera lodos residuales que posteriormente se confinan en algún sitio destinado para tal propósito, Figura 1. En función del tipo de proceso de tratamiento y de disposición de los lodos, se irán desprendiendo gases, ya sea de forma directa o indirecta.



**Figura 1. Esquema del manejo de las aguas residuales y sus productos.**

Debido al cambio climático, este esquema de manejo del agua residual y de la estabilización aerobia de los lodos residuales está cambiando. Si se considera un proceso de estabilización anaerobia de los lodos residuales, se permite su aprovechamiento con lo cual, lo que antes era un costo ahora se convierte en un beneficio, con la ventaja de poder reducir así el precio de tratamiento del agua residual, entendido éste como el resultado de la diferencia de los costos y los beneficios.

### Objetivo

Estimar financieramente el precio de tratamiento de aguas residuales, considerando el aprovechamiento del agua tratada,



biogás y biosólidos. Contar con un precio estimado correctamente permitirá tomar mejores decisiones.

## Desarrollo

El precio ( $P$ ) expresado en la ecuación (1) es función del costo de tratamiento ( $Ct$ ) y la utilidad ( $U$ ). La utilidad es equivalente al monto cobrado por un tercero por concepto del servicio de administración de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR).

$$P = Ct + U \quad (1)$$

El costo implica la depreciación de la inversión para la construcción de la PTAR y su infraestructura, incluida la conducción de agua residual hacia la instalación.

El costo de tratamiento ( $Ct$ ), se descompone en:

$$Ct = \delta + Ca + \alpha Cv \quad (2)$$

Donde:

$\delta$ : es la depreciación, cuya aplicación tiene como finalidad recuperar la inversión correspondiente a los préstamos utilizados para construir la PTAR. Los recursos financieros provenientes de la sociedad beneficiada, como son los impuestos no se incluyen. Desde el punto de vista económico incluir la inversión proveniente de recursos públicos implicaría un doble cobro para los beneficiarios, primero como impuesto y luego como cargo por depreciación. El pago de intereses se debe incluir ya que son parte del compromiso contraído para poder utilizar los recursos financieros prestados para realizar el proyecto

$Ca$ : son los costos de administración de la planta. Es un costo fijo independiente del volumen tratado.

$Cv$ : es el costo de los insumos, químicos y energéticos demandados por la PTAR para operar y que dependen del volumen  $\alpha$  y la carga orgánica, medida como Demanda Química de Oxígeno (DQO), del influente.

La utilidad puede establecerse como un monto fijo anual o como un acuerdo por volumen tratado. En este segundo caso el precio queda conformado de acuerdo con la ecuación (3):

$$P = \delta + Ca + \alpha Cv + \alpha Uu \quad (3)$$

Donde:

$Uu$ : es el monto adicional acordado a pagar por unidad de volumen tratado.

Para el caso del precio unitario ( $Pu$ ), el costo administrativo del periodo por analizar se dividirá entre la producción ( $\alpha$ ), ecuación (4):

$$Pu = \delta' + (Ca / \alpha) + Cv + Uu \quad (4)$$

Donde, en la ecuación (5), la depreciación ( $\delta'$ ) se estima en función de las unidades de producción en  $m^3$  que la PTAR será capaz de procesar durante su vida normal ( $n$ ), considerando que

opera a plena capacidad de diseño ( $cd$ ), expresada en  $m^3/s$  y considerando 360 días operados en el año.

$$\delta' = inversión / [31.104 \times 10^6 \times cd \times n] \quad (5)$$

## Aprovechamiento de los subproductos

Parte de estos costos se pueden financiar a partir del aprovechamiento de los subproductos del tratamiento. Una PTAR durante su operación genera gases, agua residual tratada y lodos residuales o biosólidos.

Los gases  $CO_2$ ,  $NO_x$  y  $CH_4$ , se generan como proceso de degradación de la materia orgánica contenida en las aguas residuales. Cuando se utilizan procesos anaerobios, la recuperación del gas metano ( $CH_4$ ) sirve para generar energía mediante su combustión. Al quemar el  $CH_4$  se tienen dos impactos:

- la de producción de electricidad y
- la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) derivadas de la reducción de emisiones incontroladas de  $CH_4$  y del  $CO_2$  ahorrado por sustitución de energía fósil (IDEA, 2007).

Cada molécula de metano en  $CO_2$ , éste último 30 veces con menor capacidad de efecto invernadero cuando se incorpora en la atmósfera (Tabla 1).

**Tabla 1. Propiedades de los tres gases más importantes en el efecto invernadero (Fernández A., 2009)**

|                                     | $CO_2$ | $CH_4$ | $N_2O$ |
|-------------------------------------|--------|--------|--------|
| Concentración en la atmósfera (ppm) | 360    | 1,7    | 0,3    |
| Absorción térmica relativa          | 1      | 30     | 150    |

La tendencia al alza del precio de la energía eléctrica hace aún más atractivo la recuperación del gas para generar electricidad. Los ahorros obtenidos de generar parte, el total o posiblemente excedentes de energía eléctrica, impactarán el precio del tratamiento a la baja. Pero debe tomarse en cuenta que la captura del biogás y la generación de electricidad requiere de instalaciones adicionales, que implican inversiones suplementarias (Figura 2).

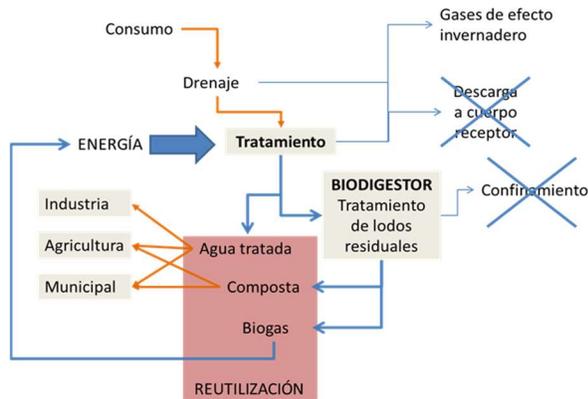
El costo por depreciación de este equipo se realiza de manera semejante al estimado para la PTAR, ecuación (5). El impacto en el precio se verá en la disminución del pago por consumo de energía eléctrica, el cual llega a representar hasta el 90% del costo variable, además del aumento del costo de la mano de obra especializada para operar el reactor anaerobio.

## Otro impacto en el precio

En el caso de la reutilización del agua residual tratada, ésta puede generar recursos adicionales para el organismo operador por su venta. En el caso de reúso por el propio municipio para riego de jardines, se considera que el beneficio es la liberación de agua de primer uso, generando un efecto de mayor disponibilidad de agua.

En resumen, el beneficio total atribuible a la sustitución de agua potable por agua tratada puede ser la suma de los beneficios por

liberación de recursos y por mayor consumo, más el beneficio por postergación de inversiones (CEPEP, 2004) para incrementar el volumen servido de agua potable.



**Figura 2. Reutilización de los productos de la PTAR**

Un beneficio adicional es el aprovechamiento como composta de los residuos sólidos generados por el biodigestor, eliminando así el empleo de fertilizantes químicos. Además, los productos ecológicos tienen mejor precio en el mercado que aquellos fertilizados con agroquímicos.

Se pueden aprovechar los biodigestores para incorporar materia orgánica proveniente de establos y porquerizas, así como residuos vegetales de recolección doméstica y mercados. Por tratarse de un subproducto del proceso de remoción, tratamiento y disposición final de los biosólidos y sólidos generados por la PTAR, parte de los costos se pueden considerar como amortizados, entendidos estos como aquellos en que se tiene que incurrir independientemente del método que se utilice para manejar la disposición de los lodos.

La ecuación (5) del precio tendrá que ajustarse con la inclusión del costo derivado de la cogeneración de energía, incluyendo la depreciación de la inversión adicional, cuando ésta aplique, para generar la ecuación (6):

$$P = \delta + \delta^c + Ca + \frac{c}{a} + \alpha Cv + U - Y \quad (6)$$

Donde los nuevos elementos son:

$\delta^c$ : es la depreciación del equipo para capturar el biogás y generar electricidad.

$C_a$ : es el costo adicional en el que se incurre debido a la cogeneración de energía, incluye mano de obra y mantenimiento.

$Y$ : son los beneficios obtenidos por los ingresos adicionales debido a la venta de agua residual tratada, o agua potable liberada por el reúso de agua tratada; ingresos por venta de composta o por ahorros en la adquisición de fertilizantes.

## Conclusiones

Dar tratamiento al agua residual es una obligación establecida en las leyes mexicanas, sobre todo cuando estas se descargarán a un cuerpo receptor de agua nacional (LAN, Art. 29 BIS II, 2016). En la práctica muchas PTARs son abandonadas debido a la falta de recursos, sobre todo las mecanizadas. Una estimación correcta del precio del agua tratada permitirá establecer las políticas y estrategias para financiar la operación y el mantenimiento de la PTAR.

El correcto cálculo del precio, aún sin tomar en cuenta sus ventajas ambientales y por ende económicas, permitirá plantear la ruta de acción para garantizar el flujo de recursos que permitan primero construir y luego financiar la operación y el mantenimiento de una PTAR.

Este análisis no consideró las aportaciones a la que deben estar obligados aquellos que utilizan el agua. Los usuarios también deben aportar recursos para sufragar los gastos de saneamiento. Tomando en cuenta esta colaboración, el precio del agua se pagará con una mezcla de recursos provenientes de:

- Las aportaciones de los usuarios para cubrir el concepto de saneamiento.
- El ingreso por la venta de agua tratada o por la liberación de agua de primer uso.
- La venta de composta o los ahorros por la eliminación del uso de fertilizantes químicos.
- La cogeneración de energía eléctrica.
- Los subsidios federales y locales provenientes del pago de impuestos

Un esquema financiero bien estructurado garantizará el funcionamiento exitoso de una PTAR.

## Referencias

Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos, S.N.C., (2004). Apuntes sobre Evaluación social de proyectos, Segunda Edición, Centro de Estudios para la Preparación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos, ISBN 968-7457-30-9, (consultado el 18 de mayo de 2017 en: <http://www.cepep.gob.mx/es/CEPEP/Materiales#Metodologias>)

Fernández Ana, (2009). Principios de Ecología Microbiana, Ciclo Biogeoquímico del Carbono en suelos, (Consultado en abril de 2017 en: <https://es.scribd.com/document/71372750/Ciclo-del-C-Ecologia-microbiana>)

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, (2007), Biomasa: Digestores anaerobios, BESEL, S.A. (Departamento de Energía), Madrid, España.

Ley de Aguas Nacionales, Texto Vigente, Última reforma publicada DOF 24-03-2016. México.