

**INSTITUTO  
DE INGENIERÍA  
UNAM**

# **WATER AND SANITATION: LAC CITIES ADAPTING TO CLIMATE CHANGE BY MAKING BETTER USE OF THEIR AVAILABLE BIOENERGY RESOURCES**

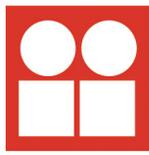
Por:

Adalberto Noyola Robles  
Leonor Patricia Güereca Hernández  
Juan Manuel Morgan Sagastume  
Flor Hernández Padilla  
Alejandro Padilla Rivera  
Chantal Carius  
Margarita Cisneros  
Elena Villalba

**INFORME TÉCNICO FINAL**

30 de Septiembre del 2013

Ciudad Universitaria, Ciudad de México



## INDICE

Número proyecto del IDRC:.....	1
Investigador:.....	1
Miembros del Equipo de Investigación.....	1
<b>1. LA PROBLEMÁTICA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>3</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>4</b>
Objetivo General.....	4
Objetivos Específicos.....	5
<b>3. METODOLOGÍA.....</b>	<b>6</b>
Ingeniería conceptual.....	8
Análisis de Ciclo de Vida.....	8
Cálculo de emisiones GEI.....	13
Prefactibilidad de aplicar un proyecto MDL en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.....	15
<b>4. RESULTADOS OBTENIDOS .....</b>	<b>16</b>
Estado del conocimiento del tratamiento de aguas en América Latina y el Caribe.....	16
Diseño de ingeniería conceptual.....	21
Análisis de Ciclo de Vida.....	23
Cuantificación de emisiones GEI.....	25
Factibilidad de las PTAR para participar en MDL.....	26
Análisis de impactos sociales.....	29
<b>5. ACTIVIDADES DEL PROYECTO .....</b>	<b>33</b>
<b>6. PRODUCTOS DEL PROYECTO .....</b>	<b>37</b>
Desarrollos tecnológicos.....	37
Publicaciones.....	37
Publicaciones en desarrollo.....	37
Cursos, talleres y seminarios organizados.....	38
Reuniones y presentaciones de difusión nacionales e internacionales y búsqueda de colaboraciones.....	39



Página Web.....	40
Difusión en medios de comunicación.....	40
Asistencia a cursos, talleres y estancia de investigación. ....	41
Presentaciones en congresos internacionales con arbitraje.....	42
Tesis concluidas.....	45
Tesis en desarrollo .....	45
Informes.....	46
<b>7. EFECTOS DIRECTOS DEL PROYECTO.....</b>	<b>47</b>
<b>8. EVALUACIÓN GENERAL Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>49</b>

## ÍNDICE DE ANEXOS

**Anexo A.** Encuestas consultores

**Anexo B.** Encuestas Naucalpan

**Anexo C.** Tecnologías representativas en América Latina y el Caribe

**Anexo D.** Evaluación de Impacto de Ciclo de Vida de las tecnologías de tratamiento de agua más representativas y sus alternativas de mejora

**Anexo E.** Factibilidad de aplicar un proyecto MDL (Mecanismo de Desarrollo Limpio) en plantas de tratamiento de aguas residuales

**Anexo F.** Prefactibilidad financiera de aplicar un proyecto MDL (Mecanismo de Desarrollo Limpio) en plantas de tratamiento de aguas residuales

**Anexo G.** Aspectos sociales en las plantas de tratamiento de aguas residuales. Caso de estudio: Naucalpan y Tepalcingo

**Anexo H.** Difusión

**Anexo I.** Manual de usuario del simulador para plantas de tratamiento de aguas residuales

**Anexo J.** Glosario

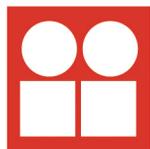


## Lista de tablas

<b>Tabla 1.</b> Cantidad de información solicitada y recibida.....	7
<b>Tabla 2.</b> Características del influente y parámetros generales para diseño de PTARs .....	11
<b>Tabla 3.</b> Caudales representativos para la muestra de PTAR en ALC. ....	19
<b>Tabla 4.</b> Parámetros promedio del agua residual municipal en América Latina y el Caribe.....	20
<b>Tabla 5.</b> Categorías de impacto ambiental consideradas en el Análisis de Ciclo de Vida.....	23
<b>Tabla 6.</b> Inversiones y gastos operativos para PTAR nuevas, dólares.....	27

## Lista de figuras

<b>Figura 1.</b> Número de plantas de tratamiento en función del tipo de tecnología en AL y C.....	17
<b>Figura 2.</b> Distribución por país de las tecnologías más usadas en AL y C. ....	18
<b>Figura 3.</b> Caudal acumulado que ingresa a plantas de tratamiento en función de la tecnología utilizada en AL y C.....	19
<b>Figura 4.</b> Matriz de escenarios con calidad de descarga de 30 mg/l de DBO, con los caudales y tecnologías representativos para ALC. Los lodos de los sistemas lagunares (anaerobia – facultativa – de pulimento) se secan en las mismas lagunas. ....	22
<b>Figura 5.</b> Comparación del perfil ambiental relativo por categoría de impacto y para cada escenario considerado. ....	24
<b>Figura 6.</b> Emisiones por m <sup>3</sup> , Línea Base vs. Proyecto. ....	26
<b>Figura 7.</b> Rentabilidad de los escenarios de tratamiento a tarifa de cobro fija (\$1.14 USD por m <sup>3</sup> ) y con venta de CER.....	28
<b>Figura 8.</b> Rentabilidad de los escenarios de tratamiento a tarifa de cobro fija (\$1.14 USD por m <sup>3</sup> ) y sin venta de CER. ....	29
<b>Figura 9.</b> Cronograma de actividades del proyecto .....	35



**INSTITUTO  
DE INGENIERÍA  
UNAM**

**Número proyecto del IDRC:**

IDRC-UNAM105701-001

**Título del proyecto del IDRC:**

WATER AND SANITATION: LAC CITIES ADAPTING TO CLIMATE CHANGE BY MAKING BETTER USE OF THEIR AVAILABLE BIOENERGY RESOURCES

**País / Región:**

México / Latinoamérica y el Caribe

**Nombre completo de la Institución investigadora:**

Instituto de Ingeniería Universidad Nacional Autónoma de México

**Dirección de la Institución investigadora:**

Circuito Escolar s/n. Ciudad Universitaria. México D.F.

**Investigador:**

Dr. Adalberto Noyola Robles (Jefe de proyecto)

**Miembros del Equipo de Investigación**

Dr. Juan Manuel Morgan Sagastume. (Responsable ejecutivo del proyecto/responsable tema Ingeniería de procesos)

Dra. Patricia Güereca Hernández (Responsable del tema de Análisis del Ciclo de Vida ambiental y social)

I.Q. María Elena Villalba Pastrana (Asistente Ejecutiva del proyecto)

M. en C. Margarita Cisneros Ortiz. (Apoyo logístico)

M. en C. Alejandro Padilla Rivera (Estudiante de Doctorado).

M. en I. Flor Hernández Padilla (Estudiante de Doctorado)

M. en C. Chantal Carius Estrada (Becaria Post Maestría)

**Información de contacto del Investigador:**

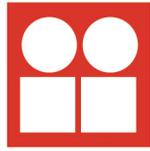
Dr. Adalberto Noyola Robles

+52 55 5623 3600 ext 3601

**Este informe se presenta tal como se recibió de parte de sus autores y participantes del proyecto. No ha sido evaluado por otros expertos ni ha pasado por otro proceso de evaluación.**

**Este trabajo se utiliza con el permiso de \_\_\_\_\_**  
(nombre del titular del derecho de autor/copyright)

**Derecho de autor / Copyright \_\_\_\_\_ (año), \_\_\_\_\_**  
(nombre del titular de derecho de autor /copyright)

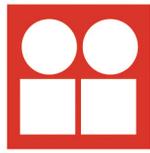


## Resumen

Este proyecto aporta una contribución a la gestión sustentable del agua y a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por los sistemas de tratamiento de aguas residuales municipales en América Latina y el Caribe. Para ello se trabajó en el establecimiento de lineamientos técnicos para la definición del procesamiento de aguas residuales con base en un análisis del ciclo de vida, en la cuantificación de gases de efecto invernadero, así como en la incorporación de elementos de análisis económico y de evaluación de impactos sociales de los sistemas de tratamiento. Los resultados muestran que en ésta región se construyen principalmente plantas chicas y la tecnología preponderante en cuanto a número son las lagunas de estabilización. El Análisis de Ciclo de Vida mostró que las lagunas de estabilización representan el mayor potencial de mitigación de GEI si se cubren y se captura el biogás, mientras que los reactores anaerobios seguidos de un postratamiento tienen la menor huella de carbono. Los MDL no son una estrategia viable de financiamiento para la región ni para el sector y dado que el precio de la tonelada de CO<sub>2</sub>e, aún en sus mejores condiciones, no constituye un apoyo para la factibilidad económica de los proyectos de mitigación.

En materia de difusión y formación de recursos humanos, hasta el momento, el proyecto ha permitido la publicación de un libro y un artículo científico, así como la generación de dos tesis de maestría terminadas y dos de doctorado en desarrollo. Adicionalmente dio pie a la presentación de los resultados en 24 foros de difusión nacionales e internacionales, 7 presentaciones en medios de comunicación, 4 cursos de capacitación en México y el extranjero, 20 congresos con arbitraje, el desarrollo de una página Web específica para el proyecto y contribuyó a la conformación de la Red Mexicana de Análisis de Ciclo de Vida.

**Palabras clave:** Tratamiento de aguas residuales municipales, Latinoamérica y el Caribe, tecnologías de tratamiento, análisis de ciclo de vida, evaluación de impactos sociales, cuantificación de emisiones GEI, mecanismos de desarrollo limpio, toma de decisiones en tratamiento de aguas.



## 1. LA PROBLEMÁTICA DE LA INVESTIGACIÓN

En 1950 aproximadamente 150 millones de habitantes en América Latina vivían en ciudades, cifra que se incrementó a cerca de 400 millones en los inicios del siglo XXI, debido al crecimiento de la población y a la intensa migración de la población rural.

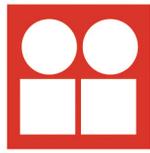
Lo anterior ha generado una creciente presión sobre los recursos agua y suelo que en muchos casos ha desbordado los esfuerzos de los gobiernos por lograr un crecimiento urbano planificado y ha obligado a atender con prioridad sólo los servicios de agua potable y alcantarillado, dejando rezagado el tratamiento de las aguas residuales (Reynolds, 2002).

Los objetivos de desarrollo del milenio, promulgados por la Asamblea General de Naciones Unidas en el año 2000 y con fecha de cumplimiento para el 2015 tienen como fin aumentar significativamente la salud y el bienestar en los países en desarrollo y las zonas más pobres del mundo, dando atención urgente a la justicia social. Entre éstos, la meta 10 del objetivo 7, establece reducir a la mitad, para el año 2015, el porcentaje de personas que carezcan de acceso sostenible a agua potable y saneamiento, lo cual implica la necesidad de desarrollo, mejoramiento y transferencia de tecnologías de saneamiento dentro de la región.

El saneamiento de aguas residuales en América Latina carece aún de una infraestructura adecuada. De acuerdo con la OPS (2009), el porcentaje de población con acceso a instalaciones mejoradas de saneamiento en América Latina y el Caribe es de 78%, mientras que el tratamiento de aguas residuales sigue siendo muy limitado, ya que se estima que el 20% de las aguas residuales recolectadas se tratan en la actualidad. Este es un claro indicador de la enorme necesidad de inversión en este ámbito y la falta de procesos de tratamiento adaptados. En los próximos años América Latina y el Caribe (ALC) demandarán más agua potable para uso urbano y más infraestructura para el tratamiento de aguas residuales.

Es evidente que los requisitos para aumentar la cobertura de abastecimiento de agua y saneamiento en ALC son enormes. Algunos programas regionales y nacionales están encaminados a reducir significativamente la fracción de la población sin acceso a estos servicios básicos, y frente a los nuevos objetivos, tales como los Objetivos de Desarrollo del Milenio, es evidente que un cambio radical debe hacerse en los problemas que se enfrentan. Además, cerca de 74% de la población vive en centros urbanos, lo que implica la necesaria centralización de los servicios de saneamiento.

El reto de mejorar las condiciones de vida y de salud de todos los habitantes de los países en desarrollo requiere de soluciones innovadoras en lo administrativo,



financiero, tecnológico y social, basadas en una comprensión clara del contexto específico de la región, acordes con sus limitaciones y capacidades.

Lo anterior resulta un reto difícil de afrontar, puesto que la decisión de cuál planta instalar no es sencilla. Son muchos los casos en que las plantas dejan de operar a solo unos meses de su arranque. Debido, entre varias causas, a la instalación de una tecnología que no es apropiada para la capacidad de pago del operador responsable, o no está bien diseñada, construida u operada. Con gran frecuencia, los costos de operación llegan a ser muy altos y no pueden ser absorbidos por los municipios u organismos operadores de agua y saneamiento.

Adicionalmente, aunque se considera que las plantas de tratamiento son instalaciones “siempre ambientalmente favorables”, esto no es totalmente cierto, ya que si bien disminuyen impactos relacionados con la eutrofización, daños a la salud humana o toxicidad acuática, pueden generar otros impactos ambientales, que, en conjunto con los aspectos técnicos, económicos y sociales, deben de ser cuidadosamente analizados para tomar las mejores decisiones en cuanto a los sistemas de tratamiento a instalar.

Debido a lo anterior, es necesario favorecer las opciones de tratamiento eficaces en términos técnicos, factibles desde el punto de vista económico, capaces de reducir los impactos ambientales, especialmente lo relacionado con cambio climático, y al mismo tiempo generar beneficios sociales para la comunidad.

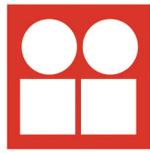
Por ello este trabajo busca responder a la pregunta: ¿Cuáles tecnologías de tratamiento de aguas residuales deben aplicarse en América Latina para asegurarse que, desde el punto de vista técnico, económico, ambiental y social, sean las más convenientes?

Lo anterior conlleva a plantearnos como objetivo el determinar las mejores tecnologías de tratamiento de aguas residuales, desde el punto de vista técnico, económico, ambiental y social para América Latina y el Caribe.

## **2. OBJETIVOS**

### Objetivo General

Contribuir a la gestión sostenible del agua y a la reducción de los gases de efecto invernadero, mediante el establecimiento de lineamientos técnicos para la definición del procesamiento de aguas residuales con base en un análisis del ciclo de vida de los sistemas de tratamiento. Asimismo, se apunta a contribuir a la generación de energía limpia a nivel municipal, así como a promover la implementación del desarrollo regional y el uso de tecnologías más sustentables.



## Objetivos Específicos

**Objetivo específico 1.** Determinar el tipo de infraestructura de tratamiento de aguas residuales en la región de América Latina y el Caribe, en particular en los países seleccionados (Brasil, Colombia, Chile, Guatemala, República Dominicana y México).

**Objetivo específico 2.** Desarrollar el diseño de ingeniería conceptual relacionado con el balance de masa y los requerimientos de energía, y realizar un análisis de ciclo de vida, para las tecnologías de tratamiento de aguas residuales más utilizadas en América Latina.

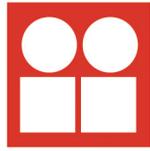
A partir de los datos recabados como parte del objetivo específico 1 y con el análisis estadístico de los mismos, se identificaron 9 escenarios de tratamiento de aguas residuales municipales representativos de ALC, a los cuales se les hizo el diseño de ingeniería conceptual considerando balance de masa y requerimientos de energía.

Lo anterior dio como resultado un conjunto de datos que se usaron como insumo para la realización del Análisis de Ciclo de Vida (ACV), el cual permitió identificar las contribuciones de cada uno de los 9 escenarios de tratamiento, a los principales impactos ambientales.

**Objetivo específico 3.** Identificar y recomendar, desde la perspectiva técnica, económica, ambiental y social, las tecnologías más apropiadas para el tratamiento de aguas residuales en América Latina, y clasificar su viabilidad para desarrollar proyectos de Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL).

Para desarrollar este rubro se partió de los resultados obtenidos en los objetivos específicos 1 y 2, ya que el simulador (herramienta desarrollada en el proyecto) permitió identificar la viabilidad técnica y aspectos económicos, mientras que el ACV determinó los impactos ambientales de los sistemas de tratamiento analizados. Para identificar los impactos sociales relacionados con los sistemas de tratamiento de aguas se realizó un estudio social comparativo de dos sistemas de tratamiento en México. Los sectores sociales analizados fueron: trabajadores, consumidores, proveedores y comunidad.

Por otra parte, dada la relevancia del Cambio Climático, este estudio evaluó dicha categoría desde dos enfoques: el ACV (ISO 14040) y la cuantificación de GEI de acuerdo a la Convención Marco sobre Cambio Climático de las Naciones Unidas (UNFCCC por sus siglas en inglés). Se cuantificaron las emisiones GEI de cada uno de los nueve escenarios de tratamiento de aguas analizados y se identificaron mejoras a nivel conceptual, para recalcular las emisiones GEI con dichas mejoras. Además, se evaluó la pre-factibilidad económica para que las plantas de tratamiento participen en proyectos de MDL.



Este proyecto busca que las tecnologías de tratamiento de aguas contribuyan a la sostenibilidad y a la mitigación del cambio climático. Para ello se desarrolló una guía de apoyo a la toma de decisiones relacionadas con el tratamiento de aguas residuales municipales para ciudades pequeñas y medianas

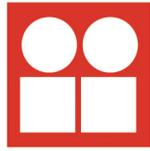
### **3. METODOLOGÍA**

#### **Objetivo específico 1**

El estado del arte en cuanto conocimiento del tratamiento de las aguas residuales en América Latina se concibe cómo la identificación de la cantidad y tipo de tecnologías usadas para el tratamiento del agua residual municipal durante los últimos 10 años. Teniendo en cuenta los recursos y tiempo disponible para el desarrollo del proyecto en América Latina y el Caribe, se propuso una muestra de seis países que por sus características demográficas y económicas, pueden representar a Latinoamérica. Con base en lo anterior, la información a obtener estuvo esencialmente centrada en los países seleccionados como muestra de la región de América Latina y el Caribe: Brasil, Colombia, Chile, Guatemala, República Dominicana y México.

La situación del tratamiento del agua residual se obtuvo de la información documental publicada y proporcionada principalmente por las dependencias públicas encargadas de administrar los recursos hídricos, así como de las entidades, cuya función es el análisis e integración de la información oficial generada en cada país. Otras fuentes de información fueron los organismos que administran y operan las plantas de tratamiento de agua residual municipal en cada país. No se planteó efectuar ningún tipo de encuesta planta por planta en los países seleccionados pues la restricción de recursos, alcances de proyecto y tiempo lo impidió. Sin embargo, se consideraron visitas de campo a plantas de tratamiento en cada uno de estos países, con el objeto de contar con un muestreo directamente obtenido por el grupo de investigación con lo cual poder cotejar, ratificar o ampliar la información proporcionada por los organismos públicos a los cuales se hizo referencia. Para la recopilación de dicha información se contrató a un consultor en cada país, quien tuvo la responsabilidad de identificar y contactar a las instituciones nacionales cooperantes.

Para la recopilación de la información se elaboraron formularios simples y claros, con su respectivo instructivo de llenado (Anexo A), desarrollados por el grupo de trabajo del Instituto de Ingeniería, el cual fue llenado por las dependencias nacionales, bajo la responsabilidad del consultor, quien fue el encargado de integrar la información y entregarla en tiempo y forma, al Instituto de Ingeniería de la UNAM.



Se diseñaron dos tipos de formatos, el de información general y el de información específica, los cuales indagaron sobre la operación y diseño de las plantas de tratamiento existentes en cada país, desde el punto de vista técnico, ambiental y económico. La recopilación de información se acotó a una muestra de plantas de tratamiento de agua residual en cada país, de acuerdo a lo presentado en la Tabla 1. Dicha muestra se distribuyó por país de acuerdo con la categorización de ciudades por tamaño de población y a su vez se estipuló que tipo de formato de información aplicar (general o específico) (Anexo A).

La información obtenida de cada país se sometió a un análisis estadístico y permitió conocer, en función del caudal tratado y del destino final del agua tratada, lo siguiente:

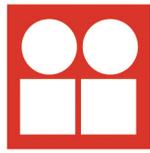
- Tipo de tratamiento predominante.
- Disposición de biosólidos.
- Uso potencial del agua residual tratada
- Ubicación de las plantas de tratamiento (población, país)
- Mapeo por país de las diferentes plantas de tratamiento existentes y tecnologías usadas.
- Predominio de tecnologías sobre otras.
- Año de construcción de las plantas de tratamiento.
- Normatividad ambiental existente.

La muestra consideró 2734 plantas distribuidas en los 6 países como lo presenta la Tabla 1.

**Tabla 1. Cantidad de información solicitada y recibida**

País	Información	
	Solicitada (universo)	Recibida
Brasil	2985	702
Chile	263	177
Colombia	Sin información	139
Guatemala	87	32
República Dominicana	56	31
México	1833	1653
Total		2734

A partir de lo anterior se determinaron 9 escenarios representativos que serán la base del estudio de Análisis de Ciclo de Vida.



## **Objetivo específico 2.**

Para desarrollar el diseño de ingeniería conceptual y un análisis de ciclo de vida para las tecnologías de tratamiento de aguas residuales más utilizadas en ALC se adoptó la siguiente metodología:

### Ingeniería conceptual

A los 9 escenarios de tratamiento de aguas representativos de América Latina y el Caribe (ALC), se les aplicó un análisis de ingeniería conceptual con elementos de ingeniería básica lo cual implicó: un análisis de la configuración de los trenes de tratamiento (preliminar, primario, secundario y terciario), balances de masa y energía considerando agua, sólidos y aire, y análisis de costos.

Esta etapa se llevó a cabo a partir de una hoja de cálculo (simulador), desarrollada expresamente para este proyecto, el cual incluye, además de los datos recabados, una base de datos basada en referencias bibliográficas y en información empírica obtenida a partir de la experiencia y juicio experto del grupo de investigación.

El simulador de procesos ha sido una herramienta valiosa para establecer una correcta configuración de los trenes de tratamiento completos (agua, gases, lodos), para realizar los balances de masa, cuantificar el consumo de electricidad por operación y proceso unitarios y estimar el costo de inversión y de operación de cada escenario de tratamiento.

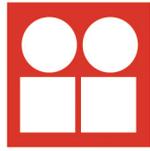
### Análisis de Ciclo de Vida

La información obtenida en el análisis de ingeniería conceptual constituye el inicio para la realización del Análisis del Ciclo de Vida (ACV); metodología con la cual se evaluarán los impactos ambientales de cada uno de los sistemas analizados.

El ACV es una metodología que evalúa los impactos ambientales de productos o servicios desde la extracción de la materia prima hasta la disposición final, tomando en cuenta todos los vectores involucrados (aire, agua, suelo) y todos los potenciales impactos ambientales que se puedan generar. Es una herramienta normada bajo la serie de normas ISO 14040 e ISO 14044 que tiene cuatro etapas:

- a) Definición de objetivos y alcance
- b) Inventario de Ciclo de Vida
- c) Evaluación de Impactos de Ciclo de Vida
- d) Interpretation.

En la primera etapa se establecen los sistemas analizar, sus límites y la unidad funcional (base de comparación entre los sistemas). La norma ISO 14044 establece que la unidad funcional es una unidad de referencia que asegura que los



resultados del ACV son comparables al evaluar sistemas diferentes, es decir, una cantidad de producto equivalente para los diferentes escenarios. En este estudio la unidad funcional se definió como sigue:

Tratamiento de 1m<sup>3</sup> de agua residual municipal en un periodo de 20 años para una calidad de efluente y una calidad de lodo definido.

Es de notar que: el estudio se realiza considerando tres flujos diferentes de tratamiento de agua (13 l/s, 70 l/s, 620 l/s), con una población servida de 7,000, 38,000 y 335,000 habitantes, respectivamente. La caracterización del agua residual municipal es definida de acuerdo con el análisis estadístico de datos recabados en la región. La calidad del efluente es definida como 30mg/l de DBO y 30 mg/l de SST, con base en el análisis de la normatividad de descarga de la región.

La calidad del lodo resultante es definida de acuerdo con lo establecido para la aplicación en tierras agrícolas (Clase B) en las regulaciones de la EPA (USEPA, 1992,1999).

Los escenarios propuestos están determinados por el caudal tratado, por el tipo de tecnología en el tratamiento secundario y por el manejo acoplado de los lodos resultantes. Las lagunas de estabilización en este trabajo se entienden como sistemas de tres lagunas en serie (anaerobia, facultativa y pulimiento).

**Escenario: 1 - AE.** Aireación extendida acoplado con lechos de secado, flujo chico (13 l/s).

**Escenario: 2 – LE.** Lagunas de estabilización con secado de lodos en la misma laguna, flujo chico (13 l/s).

**Escenario: 3 - UASB + F.** UASB + filtros percoladores acoplado con lechos de secado, flujo chico (13 l/s).

**Escenario: 4 – AE.** Aireación extendida acoplado con lechos de secado, flujo mediano (70 l/s).

**Escenario: 5 – LE.** Lagunas de estabilización con secado de lodos en la misma laguna, flujo mediano (70 l/s).

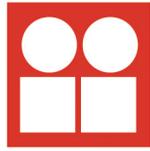
**Escenario: 6 – UASB + LE.** UASB + lagunas de estabilización acoplado con lechos de secado, flujo mediano (70 l/s).

**Escenario: 7 – LA.** Proceso convencional de lodos activados acoplado con espesado por gravedad, digestión anaerobia y centrifugado, flujo grande (620 l/s).

**Escenario: 8 – LE.** Lagunas de estabilización con secado de lodos en la misma laguna, flujo grande (620 l/s).

**Escenario: 9 - UASB + LA.** UASB + lodos activados acoplado con centrifuga, flujo grande (620 l/s).

El Inventario de Ciclo de Vida (ICV), consiste en la compilación (especificación de elementos, compuestos y sus concentraciones) de todas las entradas y todas las salidas de los sistemas a evaluar. Para su realización se tomó como base la



información técnica obtenida por el simulador y se complementó con datos reportados por consultores, oficinas de gestión de aguas, datos bibliográficos y juicio de expertos. Este paso constituye uno de los elementos más relevantes del ACV, ya que con base en éste, se evalúan los impactos ambientales de las tecnologías de tratamiento de aguas residuales.

Los valores de las características del influente que se presentan en la Tabla 2 son un ejemplo de los tipos de datos recopilados en el ICV, el cual se presenta de manera detallada en el Anexo D. Éstas fueron obtenidas a partir de los muestreos de los datos enviados por los consultores en los seis países (158 plantas) y de los resultados analíticos mensuales de la calidad del agua en el influente y efluente de 22 PTAR del Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACM) del 4to trimestre del 2010 y primer trimestre del 2011 (SACM 2010 y 2011) (Tabla 2).



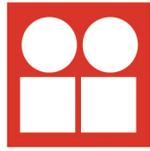
**Tabla 2. Características del influente y parámetros generales para diseño de PTARs**

Características	Valor (mg/l)
<b>Materia orgánica</b>	
DBO <sup>1</sup>	240
DQO <sup>1</sup>	520
<b>Sólidos</b>	
SST <sup>1</sup>	220
SSV <sup>1</sup>	165
<b>Nutrientes</b>	
Nitrógeno total <sup>1</sup>	40
Nitrógeno amoniacal <sup>2</sup>	35
Nitritos <sup>2</sup>	0.11
Nitratos <sup>2</sup>	0.47
Fosforo total <sup>1</sup>	8
Grasas y aceites <sup>1</sup>	50
<b>Metales</b>	
Hierro <sup>2</sup>	0.89
Manganeso <sup>2</sup>	0.058
Plomo <sup>2</sup>	0.073
Cadmio <sup>2</sup>	0.047
Mercurio <sup>2</sup>	0.0013
Arsénico <sup>2</sup>	0.0029
Cromo <sup>2</sup>	0.0321
Zinc <sup>2</sup>	0.181
Cobre <sup>2</sup>	0.0523
<b>Minerales</b>	
Cloruros <sup>2</sup>	82
Sulfato <sup>2</sup>	24
Coliformes totales (N/100ml) <sup>3</sup>	10000000
Alcalinidad como CaCO <sub>3</sub> <sup>2</sup>	345
pH <sup>2</sup>	7.5
<b>Parámetros generales de diseño</b>	<b>Valor</b>
Temperatura ambiente del agua <sup>2</sup>	20°C
Temperatura ambiente (verano) <sup>1</sup>	22°C
Temperatura ambiente (invierno) <sup>1</sup>	16°C
Altura sobre el nivel del mar <sup>1</sup>	902 msnm
Precipitación <sup>1</sup>	1407 mm
Evaporación	916 mm

<sup>1</sup>Análisis estadístico de muestreo de consultores

<sup>2</sup>SACM (2010 y 2011)

La Evaluación de Impactos de Ciclo de Vida (EICV) consiste en identificar y modelar los daños ambientales generados por todos los compuestos, energía y emisiones (al aire, agua y suelo), cuantificados en el ICV. Dicha evaluación se realizó a partir del método CML 2000 y con el apoyo del Software *SimaPro* v. 7.3 de PréConsultants y la base de datos *Ecoinvent*. Los impactos evaluados incluyen: disminución de recursos abióticos, acidificación, eutrofización, formación de foto-



oxidantes, calentamiento global, disminución de ozono estratosférico, toxicidad humana y toxicidad terrestre.

### **Objetivo específico 3.**

Para identificar y recomendar, desde la perspectiva técnica, económica, ambiental y social, las tecnologías más apropiadas para el tratamiento de aguas residuales en América Latina, y clasificar su viabilidad para desarrollar proyectos de Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL), se llevó a cabo la siguiente metodología:

La viabilidad técnica, los aspectos económicos y los impactos ambientales se obtuvieron como resultados de los objetivos específicos 1 y 2, cuya metodología se describió anteriormente.

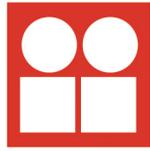
Para identificar los elementos sociales afectados y asociados con los sistemas de tratamiento de aguas residuales, se realizó un análisis comparativo de dos plantas de tratamiento en México (Naucalpan, Estado de México y Tepalcingo, Morelos), el cual se basó en la propuesta metodológica presentada en las Guías para el Desarrollo de Análisis de Ciclo de Vida Social publicadas por PNUMA y SETAC (PNUMA, 2009). Los sectores sociales analizados fueron los que se consideran involucrados: trabajadores, consumidores, proveedores y comunidad y sociedad.

Para cada uno de éstos se identifican los impactos sociales a través de la generación de indicadores que los afectan; por ejemplo el grupo de interés de trabajadores se ve afectado por la libertad de asociación colectiva, el trabajo infantil, salario justo y beneficios sociales, entre otros indicadores.

Es importante mencionar que el diseño metodológico al inicio del proyecto planteaba un alcance limitado en cuanto al desarrollo de un Análisis de Ciclo de Vida Social, debido a que dicha metodología no está consolidada en el ámbito mundial y requiere más investigación para superar sus limitaciones, entre ellas; que los elementos sociales que se ven afectados por un sistema son específicos de la situación de la localidad y no representan a un país y mucho menos a una región, como es el caso de este proyecto que busca respuestas aplicables a ALC.

La base de comparación de las dos plantas analizadas, llamada Unidad Funcional en el ámbito de Análisis de Ciclo de Vida, se refiere en este análisis social a la operación de las PTAR durante los últimos 3 años de funcionamiento. La operación está relacionada directamente con la gestión de la PTAR. El tiempo se debe a que en México 3 años es el periodo de duración de un gobierno municipal.

El análisis incluyó la aplicación de un cuestionario con preguntas que responden a los indicadores que satisfacen dicho objetivo. Se realizan entrevistas con los trabajadores, los encargados de la PTARs, vecinos de la zona y con el regidor en el caso de la PTAR. Los cuestionarios se muestran en (Anexos B y G).



## Cálculo de emisiones GEI

Se calculó la línea base de emisiones GEI para los nueve escenarios de tratamiento de aguas residuales analizados. Dicha línea base consiste en la estimación de las emisiones GEI generadas con la situación actual. Las metodologías utilizadas para el cálculo de emisiones GEI forman parte del UNFCCC (2011) y corresponden al sector 13 de manejo y disposición de residuos, así como las del sector 01 relacionadas con generación de energía renovable/no renovable de pequeña escala.

Para calcular la línea base de cada escenario, el tratamiento de aguas residuales se dividió en cinco subsistemas, con la finalidad de analizar cuál de ellos es el que más emisiones genera y analizar las posibilidades de mejora (UNFCCC, 2011):

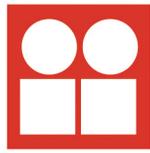
- I. Emisiones generadas por el consumo de electricidad o combustibles fósiles usados ( $BE_{power,y}$ );
- II. Emisiones de metano de los sistemas de tratamiento de aguas residuales ( $BE_{ww,treatment,y}$ );
- III. Emisiones de metano de los sistemas de tratamiento de lodo ( $BE_{s,treatment,y}$ );
- IV. Emisiones de metano por causa de ineficiencias en los sistemas de tratamiento de aguas residuales de la línea base y la presencia de carbono orgánico degradable en la descargas en cuerpos de agua de las aguas residuales tratadas ( $BE_{ww,discharge,y}$ ); Y
- V. Emisiones de metano por la descomposición del lodo final generado por los sistemas de tratamiento ( $BE_{s,final,y}$ ).

El cálculo de la línea base se define con la siguiente ecuación:

$$BE_y = \{BE_{power,y} + BE_{ww,treatment,y} + BE_{s,treatment,y} + BE_{ww,discharge,y} + BE_{s,final,y}\}$$

Donde,

$BE_y$	Emisiones de la línea base en el año y ( $tCO_2e$ );
$BE_{power,y}$	Emisiones de la línea base por el consumo de electricidad o consumo de combustible en el año y ( $tCO_2e$ );
$BE_{ww,treatment,y}$	Emisiones de la línea base de los sistemas de tratamiento de aguas residuales afectados por la actividad del proyecto en el año y ( $tCO_2e$ );
$BE_{s,treatment,y}$	Emisiones de la línea base de los sistemas de tratamiento de lodos afectados por la actividad del proyecto en el año y ( $tCO_2e$ );
$BE_{ww,discharge,y}$	Emisiones de metano de la línea base a partir del Carbono Orgánico Degradable (COD) en las aguas residuales tratadas descargadas en el mar, ríos o lagos, en el año y ( $tCO_2e$ );
$BE_{s,final,y}$	Emisiones de metano de la línea base por la descomposición anaerobia del lodo producido en el año y ( $tCO_2e$ ). Si el lodo se quema de manera controlada, dispuesto en un relleno con recuperación de biogás o se usa para aplicación en el suelo en el escenario de la línea base, no deberá tomarse en cuenta.



También se identificaron y evaluaron las posibles alternativas tecnológicas para disminuir las emisiones de la línea base, analizando la posibilidad teórica de implementar un proyecto MDL en los escenarios establecidos a partir del cálculo estimado de las reducciones de emisiones GEI de las opciones potencialmente viables.

De acuerdo a las metodologías autorizadas por la UNFCCC para el tratamiento de aguas residuales, las metodologías de mitigación seleccionadas fueron:

- Recuperación de metano en el tratamiento de aguas residuales. AMS-III.H.
- Red conectada a la generación de energía renovable AMS-I.D

La metodología de recuperación de metano en el tratamiento de aguas residuales (AMS-III.H) se aplica en la recuperación del biogás resultante de la descomposición anaerobia y de la materia orgánica en aguas residuales. Esto se logra mediante la introducción de un sistema de tratamiento anaerobio de aguas residuales y/o de un tratamiento de lodos. La acción de mitigación de las emisiones de GEI, se debe a la destrucción de los mismos y sustitución de la fuente de generación de energía alta en GEI por el aprovechamiento energético del biogás.

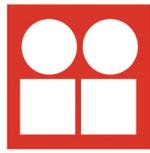
Lo anterior implica que en el escenario proyectado, el metano se recupera y se destruye debido a la introducción de un nuevo sistema o a la modificación del sistema existente para el tratamiento de aguas residuales/tratamiento de lodos. La energía producida por el biogás se aprovecha sustituyendo la fuente de generación de energía alta en GEI.

La metodología de la red conectada a la generación de energía renovable (AMS-I.D) se basa en la construcción y operación de una planta de energía, que utiliza fuentes de energía renovable y suministra electricidad a la red (planta nueva) o, se basa en la actualización, reemplazo o capacidad de adición de una planta de energía existente que utiliza fuentes de energía renovables y suministra electricidad a la red. La acción de mitigación de las emisiones de GEI, se realiza por medio de la generación de energía renovable, desplazando la electricidad que podría ser provista a la red con mayores emisiones de GEI.

Lo anterior implica que en el escenario proyectado la electricidad es generada y suministrada a la red utilizando tecnologías de energía renovable.

A partir de las metodologías anteriores se establecieron escenarios proyectados para 7 de los nueve escenarios de tratamiento de aguas residuales analizados, de acuerdo a lo siguiente:

Los escenarios de tratamiento 1 y 4 (lodos activados por aireación extendida) presentan emisiones de gas metano prácticamente nulas, pero requieren de grandes cantidades de oxígeno que se suministra con equipos electromecánicos, los cuales tienen un alto consumo de electricidad. Para estos casos el potencial para proyectos MDL radica principalmente en las emisiones indirectas por el consumo eléctrico, lo cual queda fuera del proyecto. Por lo anterior, estos escenarios no se consideran en las mejoras ni en el análisis de prefactibilidad económica.



Para los escenarios de tratamiento 2, 5 y 8 se considera que las lagunas serán cubiertas para capturar el biogás generado, con una geomembrana lisa negra de polietileno de alta densidad (HDPE) de 1.5 mm de espesor para impermeabilización de celda y fabricación de la cubierta flotante. Una opción para el biogás capturado es quemarlo mediante un quemador de biogás. La segunda opción para el biogás capturado es generar electricidad.

Para los escenarios 3, 6, 7 y 9 la línea base asume que el metano generado se quema y como actividades de mejora del proyecto, se considera su utilización para generar electricidad, ya sea para consumo interno de la PTAR o para su incorporación a la red eléctrica si esto aplica.

El Anexo E muestra el detalle de la cuantificación de emisiones GEI.

### Prefactibilidad de aplicar un proyecto MDL en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales

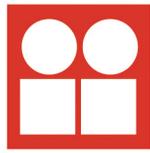
El modelo propuesto para analizar la factibilidad de aplicar MDL a los diferentes escenarios funciona con los costos de las inversiones, los gastos operativos y los ingresos generados. En este estudio los datos del modelo se refieren a México debido a la facilidad para obtener la información.

Los organismos operadores de agua y saneamiento reciben ingresos por el servicio de agua potable, recolección y tratamiento de agua residual. Estos ingresos provienen de la tarifa, la cual es la composición del precio del agua que permite cubrir los costos de operación. Se carecen de lineamientos claros para establecer una tarifa a nivel nacional y ésta varía dependiendo de la zona geográfica, del organismo operador, e incluso del mercado al que atiende. Para algunas localidades, el cobro por el servicio de agua es conforme a la capacidad de pago de los diferentes estratos sociales, rangos de consumo y usos del agua.

Para el presente estudio se consultó con la Asociación Nacional de Empresas del Agua y Saneamiento de México, A.C. (ANEAS) sobre el esquema tarifario de los organismos operadores. En la mayoría de los casos, las tarifas no están desglosadas por los diferentes servicios que cubre el organismo, como son: potabilización, distribución, alcantarillado, recolección, tratamiento, facturación y servicios de mantenimiento y administrativos. Además, las tarifas no contemplan un monto para capital de trabajo, el mejoramiento y la ampliación de los sistemas y equipos que proporcionan el servicio.

Cada sistema de agua de la localidad tiene una estructura compleja de subsidios cruzados y apoyos que complican la transparencia y el análisis de la rentabilidad real de cada organismo operador, por lo que se dificulta establecer una tarifa base en la que el servicio integral de agua rompa el punto de equilibrio, deje de generar pérdidas y empiece a generar ganancias.

Por otro lado, se solicitó información a diferentes PTAR e investigadores en materia de agua en la Ciudad de México y la tarifa obtenida a nivel municipal fue de \$13.00



pesos mexicanos más IVA, es decir \$1.14 dólares que se denominará como tarifa referente en el presente estudio.

Para determinar la factibilidad económica de las PTAR en los siete escenarios propuestos se estableció la tasa interna de retorno (TIR) como el indicador de rentabilidad para proyectos de plantas de tratamiento de aguas residuales.

A partir de esta definición, se identificaron dos tasas de referencia. La primera basada en disposiciones oficiales y la segunda, en proyectos de infraestructura ambiental en operación. Asimismo, se analizó el costo de capital para empresas mexicanas y extranjeras y las repercusiones de este indicador en la toma de decisiones de las empresas para invertir en este tipo de proyectos.

La TIR de referencia oficial es de 12% e indica que un proyecto es factible de acuerdo con los criterios oficiales (Secretaría de Hacienda y Crédito Público, SHCP), pero ésta no necesariamente implica que el proyecto se llevará a cabo, dado que las empresas desarrolladoras tienen costos de capital y expectativas particulares, como las de generar utilidades para sus accionistas, por lo que las tasas de retorno reales oscilan entre 14% y 32%, por lo que, se determinó una tasa promedio de 22%, misma que se considera como una tasa para asegurar la rentabilidad y operación del proyecto.

Para evaluar los 7 escenarios descritos anteriormente es necesario modelar los ingresos, costos y gastos que se generan a partir de las inversiones requeridas para cada uno. El modelo desarrollado para este proyecto evalúa la rentabilidad de las diferentes tecnologías en los distintos escenarios, considerando los siguientes supuestos de operación y económicos:

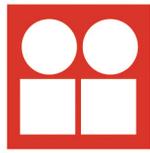
- Caudal, en metros cúbicos por año.
- Demanda de energía eléctrica, en MWh por año.
- Generación energía eléctrica, en MWh por año.
- Tarifa por servicio de agua, en dólares por metros cúbicos.
- Tarifa por venta de electricidad en dólares kWh/año.
- Reducciones de emisiones, en tCO<sub>2</sub>e por año.

El Anexo F muestra el detalle de la factibilidad financiera.

#### **4. RESULTADOS OBTENIDOS**

##### Estado del conocimiento del tratamiento de aguas en América Latina y el Caribe

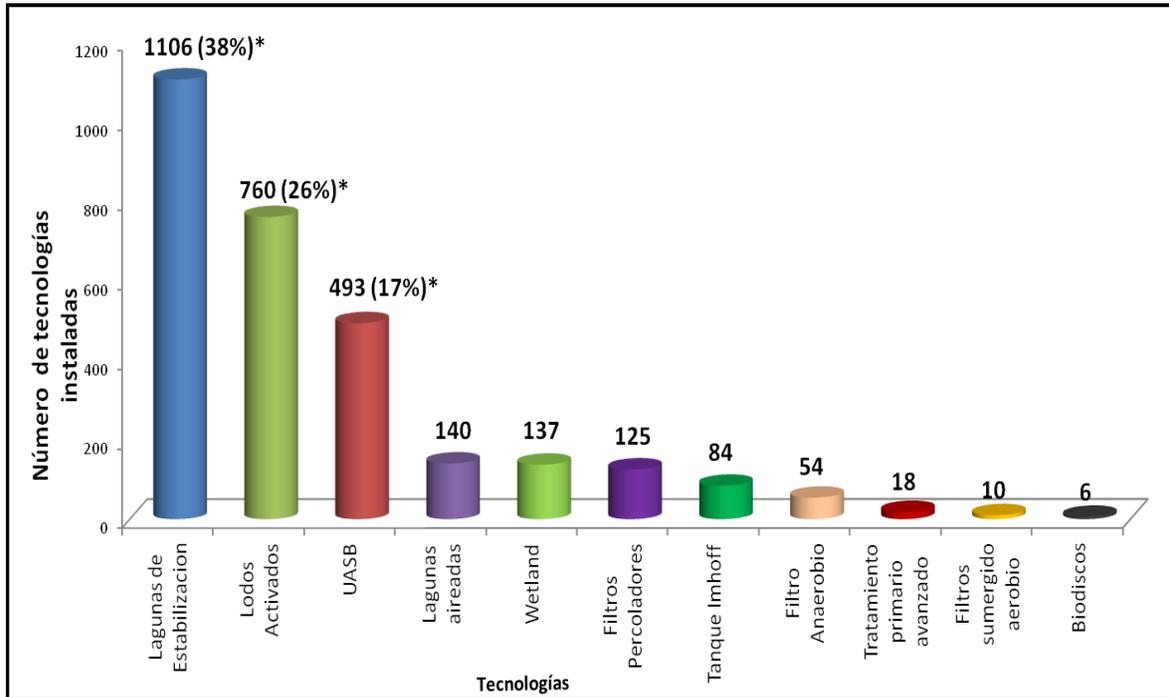
Los principales resultados en este tema fueron publicados en un artículo en revista internacional (Noyola, A., Padilla-Rivera, A., Morgan-Sagastume, J. M., Güereca, P.,



Hernández-Padilla, F. (2012) Typology of wastewater treatment technologies in Latin America, *Clean. Soil, Air, Water*, 40, 926-932).

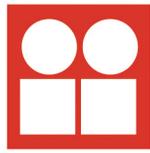
La muestra de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) analizadas en los 6 países seleccionados se conformó en total por 2,734 instalaciones distribuidas por país de la siguiente manera: Brasil con una muestra de 702 PTAR, Chile con un total de 177 PTAR, Colombia con un total de 139 PTAR, Guatemala con un total de 32 PTAR, México con un total de 1,653 PTAR, y República Dominicana con una muestra de 31 PTAR. En 199 plantas se identificaron procesos dobles (tratamiento y postratamiento), por lo que fueron contabilizadas dos veces, dependiendo de las tecnologías involucradas.

Las tres tecnologías más usadas en ALC que representan el 80%, son los procesos de lodos activados, las lagunas de estabilización y el reactor anaerobio de lecho de lodos (UASB). La figura 1, presenta el número de tecnologías encontradas en la muestra del estudio.



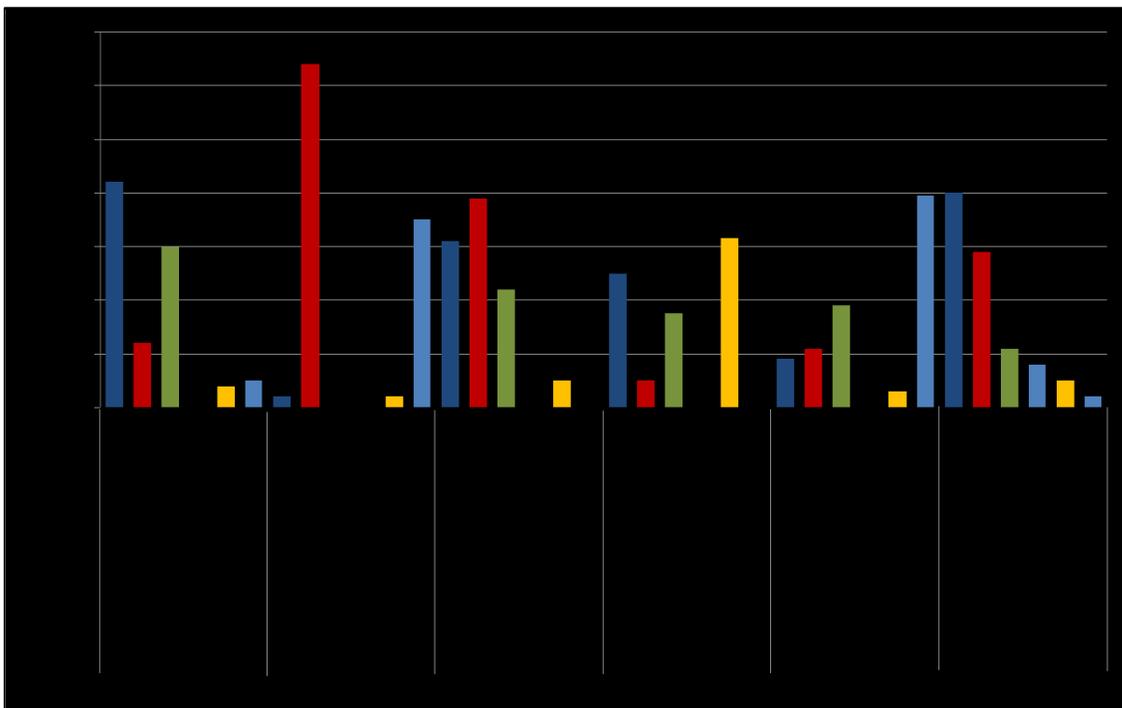
**Figura 1.** Número de plantas de tratamiento en función del tipo de tecnología en AL y C.

La predominancia de las tres tecnologías señaladas tiene un fundamento de índole técnico y económico. Las lagunas de estabilización fueron instaladas en forma extensiva en varios países de la región, principalmente en aquellos con clima cálido y para ciudades medianas y pequeñas con disponibilidad de terreno plano. En esos casos, su principal ventaja son los bajos de operación y mantenimiento. Por su parte, los lodos activados representan el extremo opuesto a las lagunas, ya que son sistemas compactos y mecanizados, que presentan altos costos de operación y mantenimiento, debido al consumo de energía y de los equipos electromecánicos asociados, sin dejar de lado una importante producción de lodos de desecho que



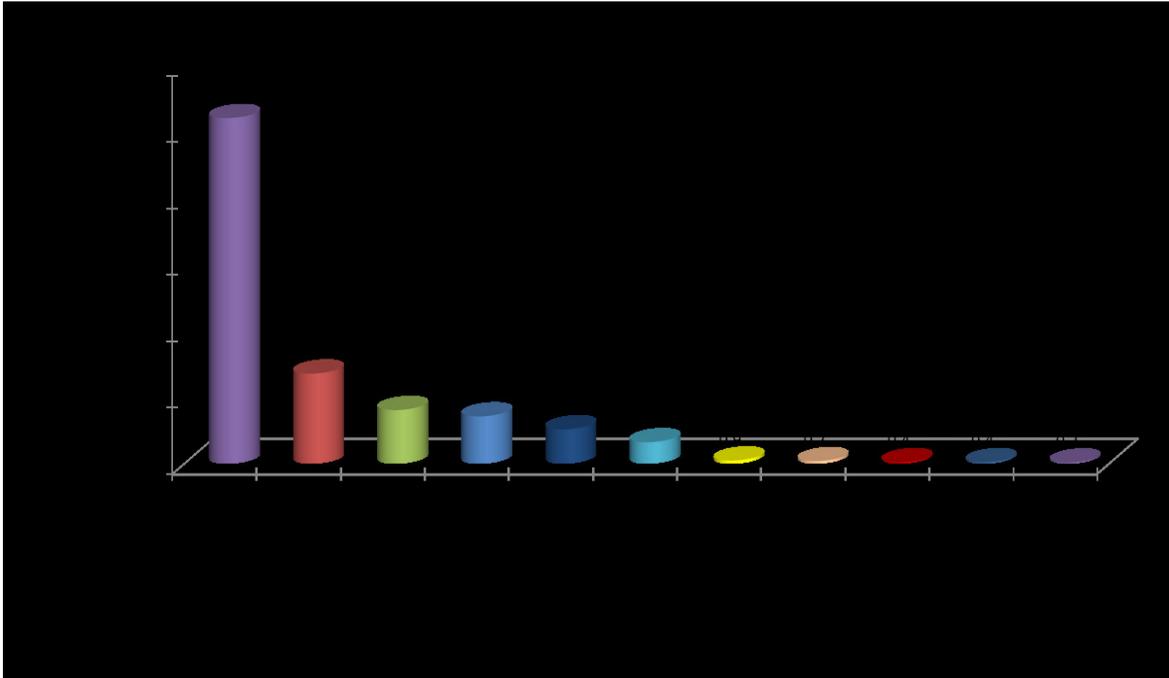
deben ser adecuadamente manejados. Esta tecnología produce efluentes de buena calidad y es la tecnología más utilizada en los países desarrollados además de ser la más aplicada en plantas de tratamiento para caudales grandes. La tercera tecnología la constituye el reactor UASB, sistema relativamente reciente si se compara con los dos ya mencionados. La ventaja de los reactores UASB es que su consumo de energía es limitado, así como su producción de lodos en exceso, además de ser un sistema compacto. La desventaja es que debe ser seguido de alguna etapa de postratamiento, ya que la calidad de su descarga no es normalmente adecuada para vertimientos en cuerpos receptores ni para reúso. Aun así es una opción más económica en su operación y mantenimiento, comparada con los lodos activados. Esta opción tecnológica se ha desarrollado fundamentalmente en los países en desarrollo, siendo en Brasil donde mejor aceptación ha logrado.

La figura 2 presenta la distribución de tecnologías por país, donde es posible ver la diversidad de patrones en cuanto a uso de tecnologías.



**Figura 2.** Distribución por país de las tecnologías más usadas en AL y C.

En la Figura 3 se presenta el caudal tratado acumulado por tecnología de tratamiento. Es notorio que los lodos activados dominan en la región, al tratar en conjunto el 58% del agua que ingresa a una planta de tratamiento.



**Figura 3.** Caudal acumulado que ingresa a plantas de tratamiento en función de la tecnología utilizada en AL y C.

Con respecto a los caudales más representativos de tratamiento de agua residual en ALC, con base en un análisis estadístico se identificaron los que se presentan en la Tabla 3.

**Tabla 3. Caudales representativos para la muestra de PTAR en ALC.**

Intervalo de caudal (l/s)	Caudales representativos (l/s)
Q1: 0.1-25 l/s	13
Q2: 25.1-250 l/s	70
Q3: 251-2,500 l/s	620

El análisis realizado señala que:

- 1) En los países seleccionados el 67% de las PTAR analizadas tienen caudales entre 0.1-25 l/s. Esto se debe fundamentalmente a que las ciudades pequeñas son numerosas en la Región, por lo tanto, habría mayor demanda de pequeñas plantas de tratamiento.
- 2) La mayoría de PTAR se han construido a la partir de los años 90, con mayor construcción a partir del año 2000.
- 3) La construcción de PTAR con capacidades superiores a 2,500 l/s se presentó en el año 2000.



4) Las tecnologías más usadas son: lagunas de estabilización (38%), lodos activados (26%) y reactores anaerobios tipo UASB (RAFAS) (17%). Para el caso del caudal tratado, la tecnología de lodos activados es la más utilizada con un 58% seguida de las lagunas de estabilización con un 15% y el sistema primario avanzado con un 9%. Anteriormente, se presentaron algunas razones de porqué se presenta esta distribución. A ello hay que agregar el importante peso que representa el tratamiento primario avanzado, puesto que con pocas instalaciones en la Región (18 en México, Colombia y Brasil) acumula el tercer sitio en cuanto a caudal tratado, debido a sus grandes instalaciones.

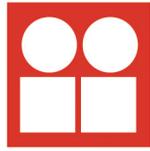
En la Tabla 4 se muestra el promedio de algunos parámetros usuales para caracterizar las aguas residuales de tipo municipal, tomando como base 158 plantas de tratamiento de la región. Los valores expuestos en dicha tabla pueden ser considerados como valores representativos de la región latinoamericana

**Tabla 4. Parámetros promedio del agua residual municipal en América Latina y el Caribe.**

Parámetro	Valor promedio propuesto para ALC	Desviación estándar	Valor de referencia <sup>1</sup>
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	244	17	220
DQO (mg/l)	557	40.3	500
SST (mg/l)	264	31.1	220
Nitrógeno total (mg/l)	42	1.4	40
Fósforo total (mg/l)	7	0.7	8
Coliformes totales (N/100ml)	1.2x10 <sup>7</sup>	1.4x10 <sup>6</sup>	1x10 <sup>7</sup>

<sup>1</sup>El valor de referencia se toma de Metcalf & Eddy Inc. (2004) Wastewater Engineering Treatment and Reuse. McGraw-Hill. New York.

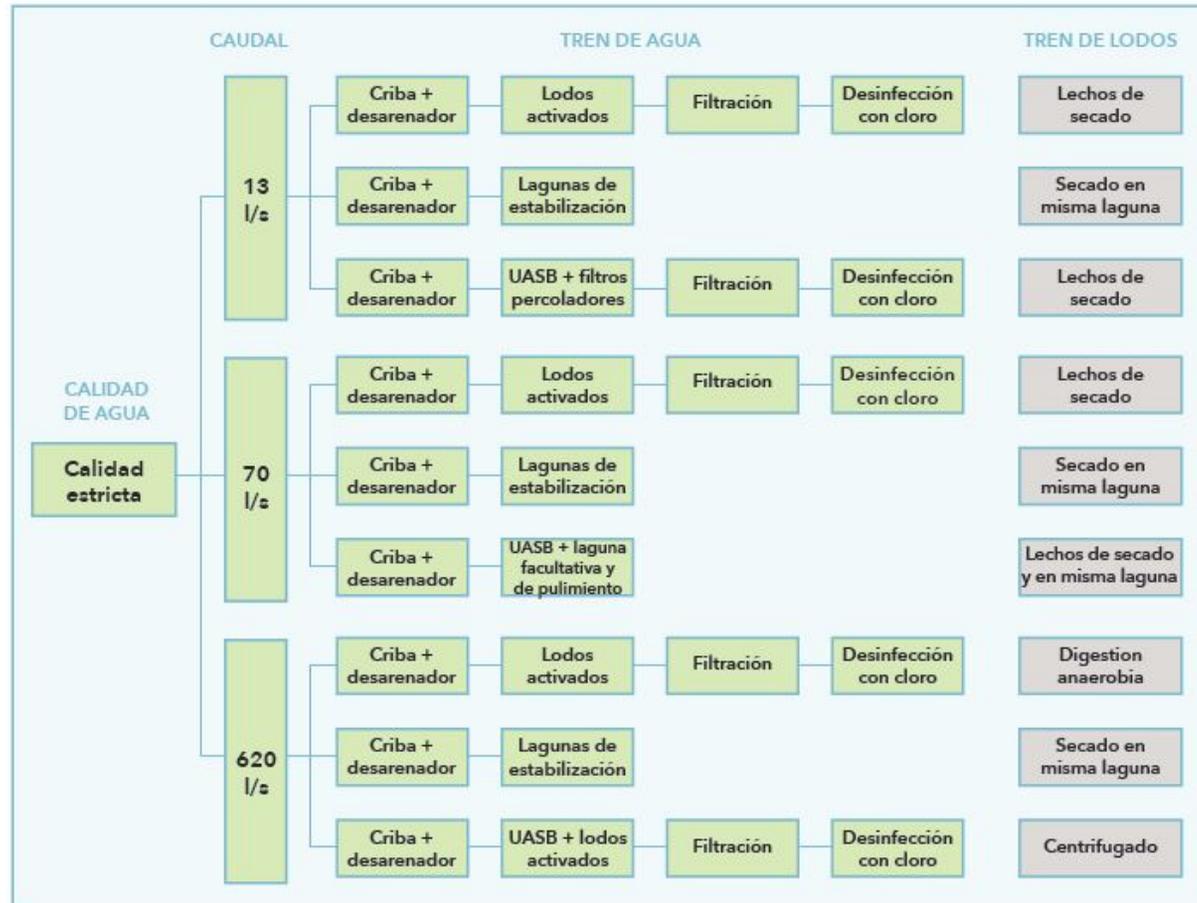
Las regulaciones en materia de calidad del agua tratada en la región latinoamericana se pueden clasificar en tres tipos: a) la normatividad que establece los límites máximos permisibles que deben cumplir las descargas de aguas residuales a los cuerpos de agua receptores, b) la normatividad que regula el flujo másico descargado y c) la normatividad enfocada a preservar la calidad que debe mantener el cuerpo receptor independiente de la descarga o descargas existentes. Desde el enfoque de la preservación de la calidad del cuerpo receptor, el tercer tipo de regulación es el más indicado. Sin embargo, esto implica la adecuada caracterización de todos los cuerpos receptores de un país, lo que a su vez requiere de una completa red de monitoreo de la calidad del agua, infraestructura costosa que difícilmente podría ser adoptada, salvo en los casos principales o críticos. Además, requiere de un trabajo de adecuación de requerimientos de descarga prácticamente caso por caso, lo que necesita de una instancia reguladora con suficiente personal calificado para esas tareas.



## Diseño de ingeniería conceptual

Del simulador de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, se obtuvieron los resultados del balance de masa y energía de los procesos o sistemas representativos, los cuales han sido usados para el desarrollo del inventario de Análisis de Ciclo de Vida. Además de la estimación del costo de inversión y operación para las líneas de agua, lodo y gases, con base en los datos de entrada como son caudal, calidad del influente y tipo de tecnología.

La Figura 4 muestra los trenes de tratamiento establecidos para los 9 escenarios analizados, cuyo diseño conceptual se realizó a partir del simulador. Los resultados de esta sección se detallan en el Anexo C. Aspectos descriptivos del simulador desarrollado, así como del manual del usuario, se presentan en el Anexo I.



**Figura 4.** Matriz de escenarios con calidad de descarga de 30 mg/l de DBO, con los caudales y tecnologías representativos para ALC. Los lodos de los sistemas lagunares (anaerobia – facultativa – de pulimento) se secan en las mismas lagunas.



## Análisis de Ciclo de Vida

En este apartado se muestran los resultados de la Evaluación de Impacto de Ciclo de Vida (EICV) a nivel general, para cada uno de los 9 escenarios previamente descritos en el capítulo de metodología. Los resultados detallados se presentan en el Anexo D. Las categorías de impacto analizadas se presentan en la tabla 5, con sus respectivas abreviaturas.

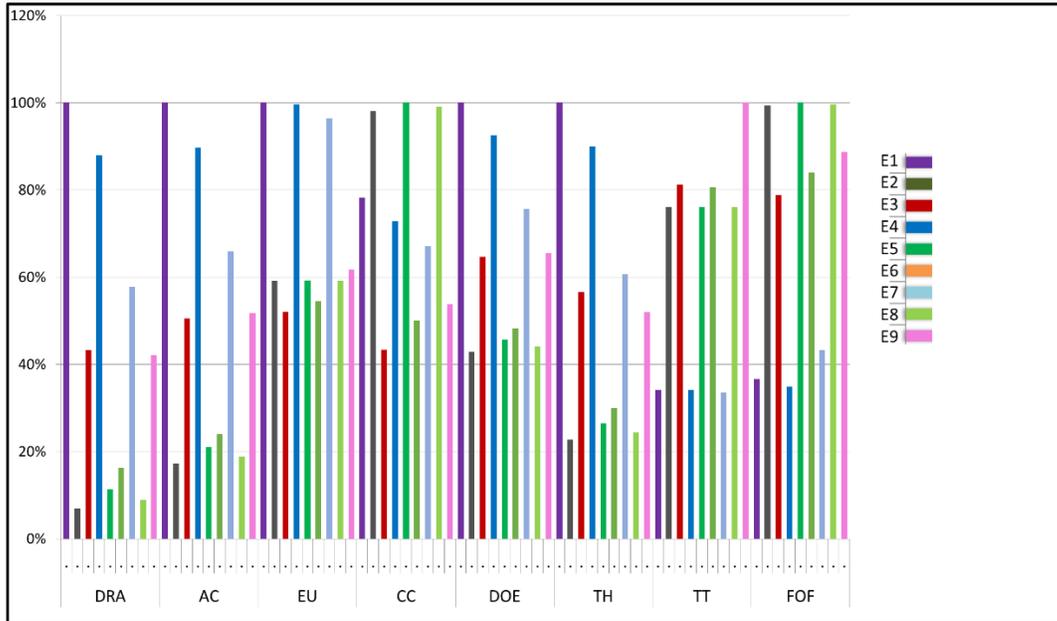
**Tabla 5. Categorías de impacto ambiental consideradas en el Análisis de Ciclo de Vida**

<b>Categoría de impacto</b>	<b>Abreviatura</b>
Disminución de recursos abióticos	DRA
Acidificación	AC
Eutrofización	EU
Cambio climático	CC
Disminución de ozono estratosférico	DOE
Toxicidad humana	HT
Toxicidad terrestre	TT
Formación de oxidantes fotoquímicos	FOF

En la Figura 5 se puede observar que en la categoría de FOF, las lagunas de estabilización generan un mayor impacto debido al metano liberado, superando incluso a las emisiones indirectas de la electricidad en los escenarios de lodos activados.

El agua residual tiene impactos en EU en cada escenario debido al contenido de materia orgánica y nutrientes que quedaron en el agua residual tratada.

Con respecto a los escenarios de la tecnología de lodos activados, se puede observar que el E7 tiene menores impactos ambientales que E4 y E1; excepto en FOF, debido que los escenarios 1 y 4 utilizan la variante aireación extendida, que requiere más energía por metro cúbico tratado, que la variante convencional completamente mezclada del escenario 7.



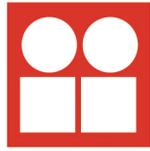
**Figura 5.** Comparación del perfil ambiental relativo por categoría de impacto y para cada escenario considerado (los escenarios se describen en el capítulo de Metodología de este informe)

Los resultados de la EICV señalan los procesos en los que se podrían hacer cambios tecnológicos para mejorar el desempeño ambiental de los sistemas de tratamiento. En este sentido se plantearon adaptaciones para cada escenario y se evaluaron los impactos de ciclo de vida obtenidos al considerar dichas propuestas.

**Mejora para los escenarios E1, E4 y E7 de lodos activados.**

Para estos escenarios se propusieron tres alternativas tecnológicas: lecho móvil, bio-reactores de membrana y oxígeno puro para el E7.

La alternativa de mejora con mejor desempeño ambiental es la de lecho móvil por la disminución del tamaño del tanque y de la energía requerida. La tecnología de membrana de ultrafiltración supone siempre más del doble del uso de energía que la tecnología actual en todas las categorías de impacto. El incorporar oxígeno puro para el E7 resultó en un incremento de 2 veces el consumo eléctrico actual.



### **Mejora para los escenarios E2, E5 y E8 de lagunas de estabilización.**

Para estos escenarios se proponen dos alternativas de mejora: 1) cubrir las lagunas para recuperar el biogás para quemado y generación de energía y 2) convertir la laguna anaerobia en laguna aireada.

La EICV de éstas mejoras señala que cubrir las lagunas para recuperar el biogás y generar energía es la mejor opción en términos ambientales para todas las categorías de impacto.

### **Mejora para los escenarios E3, E6 y E9 de UASB + Proceso complementario.**

En estos escenarios se propone como mejora del proceso la producción de energía a partir del biogás y la recuperación de metano disuelto, ya que los efluentes de los reactores anaerobios contienen aproximadamente 30 % de CH<sub>4</sub> disuelto en el efluente, en función de la temperatura del agua, la presión atmosférica y la concentración de DQO de ingreso. En estos escenarios de mejora se considera que la mitad (15%) de ese metano se puede remover con tecnología adecuada y la otra mitad (15%) permanece disuelta. El impacto de esta mejora es positivo en todos los casos.

### **Mejora por aprovechamiento de biosólidos**

Se han evaluado los impactos de todos los escenarios con la alternativa de mejora de aprovecharlos en agricultura y en todas las categorías resulta evidente que esto genera una disminución importante del impacto ambiental debido al fertilizante que no se produce para uso en suelo de agricultura.

### Cuantificación de emisiones GEI

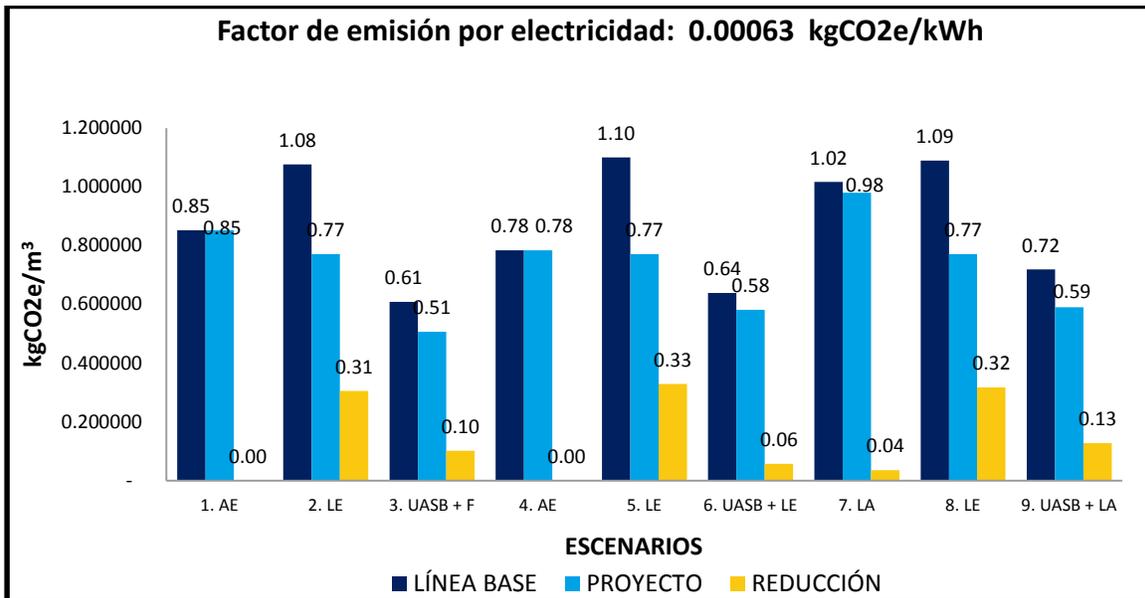
El análisis de emisiones GEI por metro cúbico de agua tratada por cada escenario es presentado en la Figura 6 y con detalle en el Anexo E.

El escenario 1 y el escenario 4, no se identificaron como escenarios factibles de mejora, como ya fue mencionado; sin embargo, el escenario 1 es el que mayores emisiones genera por el tratamiento de 1m<sup>3</sup>. Esto se debe a la cantidad de electricidad que consume por metro cúbico de agua tratada y por la cantidad de lodos que produce el sistema, aspecto influenciado por economías de escala que penalizan las plantas pequeñas.

Los escenarios 2, 5 y 8 de lagunas de estabilización presentaron mayores reducciones de emisiones después de las mejoras propuestas, ya que en el escenario base se libera el metano a la atmósfera, situación que lleva a que estos tres escenarios sean los de mayor impacto en esta categoría cuando no se consideran mejoras.



Los escenarios que ya contaban con captura de biogás, escenarios 3, 6, 7 y 9 disminuyeron en menor medida sus emisiones, esto debido al menor consumo de electricidad externa por la producción dentro de la planta a partir del biogás captado. Es importante señalar que en los escenarios base y con mejora, siempre fueron aquellos con un reactor UASB los que presentaron el mejor desempeño en relación a la emisión de GEI (menor huella de carbono), siendo el escenario 3 (caudal chico. 13 l/s) el que muestra el mejor desempeño al tratar 1 m<sup>3</sup>.



**Figura 6.** Emisiones de GEI por m<sup>3</sup> tratado. Escenarios de línea base vs. escenarios con mejora (proyecto).

### Factibilidad de las PTAR para participar en MDL

El análisis de la factibilidad de las PTAR para participar en MDL se realizó considerando 7 escenarios de tratamiento, tal como se explica en la sección de metodología.

Para evaluar dicha factibilidad se realizaron 5 modelaciones para cada uno de los 7 escenarios. En cada modelación se toman en consideración todas las inversiones correspondientes a la infraestructura de tratamiento, captura de biogás y aquellas destinadas al equipo de generación de energía eléctrica para su aprovechamiento.

En esta sección se modeló la viabilidad y rentabilidad desde la construcción de PTAR con el ingreso por venta de certificados de reducción de emisiones (CER) y sin venta de CER. El precio de los CER utilizado para el estudio es de 1.28 dólares por tonelada de bióxido de carbono equivalente reducido (tCO<sub>2</sub>e) (aproximadamente 1 Euro).



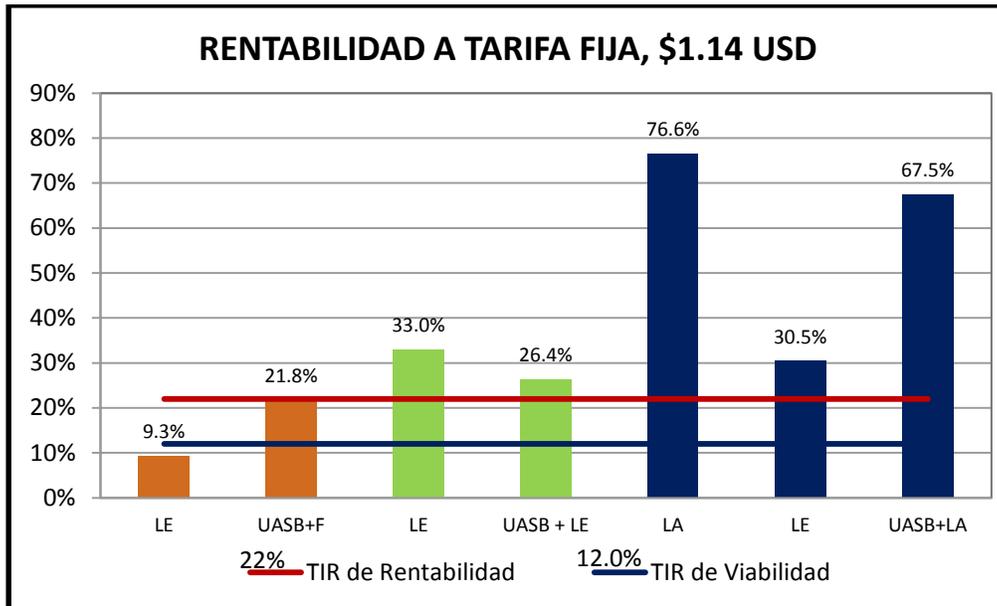
Adicionalmente se realizaron 3 modelaciones más, de acuerdo a la Tabla 6, las cuales se muestran en el Anexo F.

**Tabla 6. Inversiones y gastos operativos para PTAR nuevas.**

<b>Modelación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Consideraciones</b>
Modelación 1	Determinación de la TIR a partir de la tarifa referente de tratamiento de agua de 1.14 dólares por metro cúbico.	Existe generación de energía eléctrica y venta de CER.
Modelación 2		Existe generación de energía eléctrica sin apoyo de CER.
Modelación 3	Determinación de la tarifa de tratamiento de agua para obtener una TIR de 12% (proyecto viable)	Existe generación de energía eléctrica sin venta de CER.
Modelación 4	Determinación de la tarifa de tratamiento de agua para obtener una TIR de 22% (proyecto rentable).	Existe generación de energía eléctrica sin venta de CER.
Modelación 5	Determinación de la TIR a partir de la tarifa referente de tratamiento de agua de 1.14 dólares por metro cúbico. Sin instalación de mejoras para capturar gas metano.	No existe generación de energía eléctrica, ni venta de CER.

En todas las modelaciones exceptuando la última, se asumen ahorros por la reducción en el consumo de energía eléctrica de la red de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), gracias a que parte de la demanda de energía para la operación de la planta es autoabastecida. También se incluyen los beneficios económicos obtenidos por la colocación de certificados de reducción de emisiones (CER). En la Tabla 6 se resumen las consideraciones y supuestos que se llevan a cabo en cada modelación.

Al evaluar las inversiones y su operación en PTAR desde que son construidas, los resultados muestran que no todos los escenarios son rentables si se toma en consideración la tarifa referente de 1.14 dólares por metro cúbico. La Figura 7 muestra las TIR resultante de cada escenario con base en la tarifa referente.



**Figura 7.** Rentabilidad de los escenarios de tratamiento a tarifa de cobro fija (\$1.14 USD por m<sup>3</sup>) y con venta de CER (modelación 1, tabla 6).

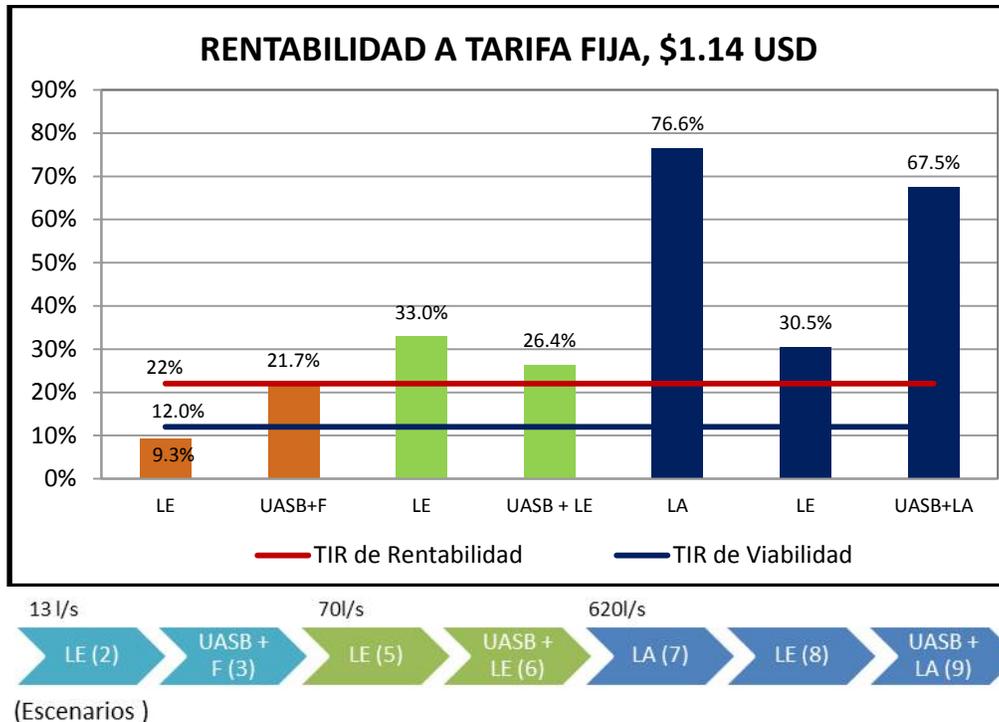
Si se toman en consideración las inversiones en infraestructura de tratamiento, tecnologías para el aprovechamiento del biogás, así como los ahorros por el autoconsumo y la colocación de CER, sólo dos escenarios no son rentables con la tarifa referente. El orden de factibilidad de los proyectos es:

1. Proceso convencional de lodos activados acoplado con espesado por gravedad, digestión anaerobia y centrifugado con un caudal de 620 litros por segundo, con una TIR de 76.6%
2. UASB + lodos activados acoplado con centrífuga con un caudal de 620 litros por segundo, con una TIR de 67.5%
3. Lagunas de estabilización con un caudal de 70 litros por segundo, con una TIR de 33.0%
4. Lagunas de estabilización con un caudal de 620 litros por segundo, con una TIR de 30.5%
5. UASB con Lagunas de estabilización con un caudal de 70 litros por segundo, con una TIR de 26.4%



Los demás proyectos no son rentables, pero el escenario 3 de UASB + filtros percoladores acoplado con lechos de secado con un caudal de 13 litros por segundo si es viable ya que sobrepasa la TIR de viabilidad del 12%.

Por otra parte, la Figura 8 muestra la viabilidad y rentabilidad de las PTAR sin la venta de CER.

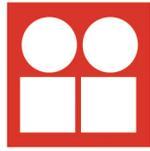


**Figura 8.** Rentabilidad de los escenarios de tratamiento a tarifa de cobro fija (\$1.14 USD por m<sup>3</sup>) y sin venta de CER (modelación 2, tabla 6).

El análisis de las Figuras 7 y 8 muestra que la construcción de PTAR con diseño de mitigación de emisiones GEI si es factible para 6 escenarios de los 7 analizados y que la venta de CER es totalmente irrelevante.

### Análisis de impactos sociales

En esta sección se muestran los resultados resumidos del análisis de impactos sociales realizado en dos plantas de tratamiento de aguas residuales en los municipios de Naucalpan Estado de México (PTARN) y Tenalcingo Morelos (PTART).



## **Trabajadores**

La PTARN es una planta urbana, con tecnología mecanizada (lodos activados) que requiere un nivel especializado de los trabajadores para su operación, lo que genera un mayor número de empleos debido al grado de complejidad de los procesos y los equipos que en ellos operan. El personal cuenta con todas las prestaciones de ley. No se identificaron situaciones de trabajo forzoso y los trabajadores no las refieren.

La PTART es una planta rural con tecnología semi-mecanizados (UASB + filtros percoladores), por lo cual no se requiere especialización del personal. En esta planta al personal contratado se le capacita al entrar a trabajar. La capacitación es proporcionada por la empresa constructora de la planta. Asimismo, la capacitación que reciben anualmente es proporcionada por el organismo estatal del agua. El personal cuenta con todas las prestaciones de ley. No se identificaron situaciones de trabajo forzoso y los trabajadores no las refieren.

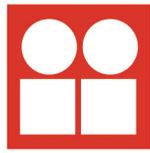
## **Consumidores / Clientes**

En la PTARLN, el agua residual tratada se bombea al parque ecológico Naucalli para el riego de las áreas verdes, además de poner el agua para venta en reúso industrial. La planta en ocasiones tiene paros operativos que obligan a la suspensión del abastecimiento de agua residual tratada al parque, esto hace que se reporten inconvenientes. Nunca se ha reportado ningún caso de enfermedad, accidentes o muertes por el uso del líquido ya que solo es utilizado para riego de jardines y se tiene identificado por la población. El único mecanismo de retroalimentación es personal y directo entre la planta y el representante del parque, calificado entre ambas partes como bueno (Tabla 6).

La PTALT descarga el agua residual a un cuerpo de agua y también hay campesinos que la usa para riego. En este caso, el organismo estatal del agua es quien realiza los estudios de monitoreo de calidad del agua y reportan al municipio de manera escrita y verbal los resultados. Nunca se ha reportado ningún caso de enfermedad, accidentes o muertes por el uso del líquido o de los lodos secos, por parte de los consumidores. No hay ningún mecanismo de retroalimentación entre la planta y los consumidores o clientes, calificado entre ambas partes como nulo.

## **Proveedores (Cadena de suministro)**

En la PTARN, los proveedores son contratados por el organismo municipal del agua y dan servicio a todas las plantas del municipio. La planta no cuenta con el dato de cuanto proveedores tiene, debido a que los procesos están centralizados y desde el organismo estatal del agua les envían los materiales como: papelería, reactivos y materiales para laboratorio, material de limpieza, proveedores de mantenimientos preventivos (menores y mayores) y mantenimientos correctivos, entre otros.



En la PTART, la demanda de proveedores se limita a un solo proveedor debido a que la PTAR cuenta con un tratamiento dual (UASB + filtros percoladores), y un sistema wetland como pos-tratamiento, por lo que no se requiere insumo alguno para su correcto funcionamiento. El proveedor que existe es el responsable de impartir los cursos de capacitación y/o mantenimiento en la planta. La elección de los proveedores es bajo licitaciones y cotizaciones o presupuestos, estos procesos se realizan de acuerdo a la ley vigente.

### **Comunidad local y sociedad**

La PTARN se encuentra en medio de una zona urbana, y no cuenta con planes de contingencia; sin embargo, dentro de los cursos que reciben se les capacitan sobre riesgos, accidentes de trabajo y respuesta ante emergencias. Esta planta cuenta con una comisión de seguridad e higiene la cual está conformada por el personal y se encarga del cumplimiento de realización de simulacros. El personal de la planta en coordinación con el comité vecinal proporciona pláticas a la comunidad sobre el tema del agua, dando una visión a las personas sobre la importancia del recurso hídrico, su cuidado, utilización, procesos de tratamiento y reutilización.

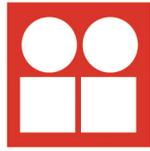
La PTART se encuentra a una distancia de 500 metros de la población, lo que reduce los impactos de olores y ruido; sin embargo existen varias casas que se localizan a unos metros de la PTAR, y son los que perciben malos olores y vectores. Esta planta no cuenta con un plan municipal de protección civil; sin embargo, dentro de la capacitación que se les brinda a los trabajadores se enseñan las medidas necesarias para reaccionar ante las emergencias.

La contribución al desarrollo económico se considera mayor en PTARN porque ésta genera más empleos, requiere de personal con un nivel de educación mayor, cubre a los empleados y sus familias con los servicios de salud y tiene un mayor número de proveedores, generando a su vez más empleos indirectos.

Solo en la PTARN se cuenta con una contribución real directa a la educación, debido a que cuentan con programas de apoyo para la realización de servicio social y/o prácticas profesionales, además de que se tiene pensado la creación de un museo del agua, el cual promoverá el cuidado del recurso hídrico, ninguna de las plantas tienen programas de investigación o desarrollo tecnológico.

Se desarrolló una encuesta de percepción ciudadana sobre los servicios de agua potable y saneamiento, la cual se enmarca en las labores de complementación de los grupos de interés de "comunidad local y sociedad" y constituye uno de los elementos de la evaluación de impactos sociales en PTAR, como herramienta para evaluar la opinión de la población en relación con su municipio y las perspectivas y retos a los que se enfrenta en materia de agua y saneamiento.

Se realizaron un total de 625 encuestas distribuidas de la siguiente manera, 300 en Naucalpan y 105 en Tepalcingo debido a que en cada localidad existen



problemas particulares en relación al tema de interés, se realizaron preguntas independientes con un bloque de preguntas común a todos los encuestados.

El cuestionario se estructura a partir de una batería de ítems (sub-categorías) en una serie de preguntas para obtener la opinión del ciudadano respecto a:

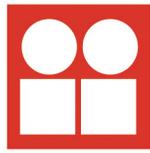
- percepción de servicios
- cultura del agua
- salud y seguridad
- participación ciudadana
- específicas

El perfil del encuestado se estableció a partir de las características demográficas de la población. A tal efecto, se utilizaron como criterios: edad, sexo, nivel socio-económico.

En términos generales, la población muestreada cuenta con servicios de agua potable (mayor al 90%) y se declara satisfecha con los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento. En cuanto al grado de conocimiento del concepto "agua residual" existen una diferencia notoria entre el municipio que se encuentra en una zona urbana (Naucalpan) y el de la zona rural (Tepalcingo), ya que en Naucalpan el 60% de la población conoce el término "agua residual", mientras que solo el 30% de la gente en Tepalcingo conoce dicho concepto. Adicionalmente, la gente sin importar el municipio (43% para Naucalpan y 64% para Tepalcingo), cree que el destino final del agua desechada en los hogares debe ser el "enviarla a un sitio donde se le elimine la contaminación, para después enviarla al campo y utilizarla en el riego". Solo una de cada cien personas considera que el agua sucia debe enviarse directamente a los ríos y lagos sin recibir tratamiento alguno. En el mismo sentido, tres de cada cuatro personas piensa que el agua residual es un beneficio para la población, ya que ayuda a ahorrar agua potable.

Es importante resaltar, que debido al escaso conocimiento del concepto "agua residual" y como era de esperarse la gente desconocía la existencia de una PTAR dentro de su comunidad, ya que al momento de preguntarles si notaron alguna diferencia entre el antes y después de la instalación de la PTAR y si habían tenido alguna queja hacia la PTAR, la gente contestó que "no sabía que existía la PTAR" (96% Naucalpan), mientras que en Tepalcingo el 76% de la población no notó diferencia alguna. Sin embargo, la gente en su mayoría cree que la PTAR "es algo positivo para su comunidad" (94% Naucalpan y 80% Tepalcingo).

El detalle del análisis de los elementos sociales se presenta en el Anexo G.



## **5. ACTIVIDADES DEL PROYECTO**

Para desarrollar los objetivos específicos definidos en este proyecto así como para difundir los resultados obtenidos y tratar de incidir en los procesos de toma de decisiones, se realizaron las actividades descritas a continuación y planteadas en la Figura 9.

### 1. Conformación del grupo de trabajo

Esta actividad fue muy relevante para el logro de los objetivos ya que se buscó a los estudiantes y personal por honorarios, que tuvieran un perfil acorde a los requerimientos técnicos del proyecto, lo cual redundó en la conformación de un grupo formado por 2 estudiantes de maestría, 2 estudiantes de doctorado y 1 asistente de proyecto. Estas personas se sumaron a los 2 investigadores y 2 técnicos académicos del Instituto que ya eran parte del proyecto. Con lo anterior el grupo de trabajo se conformó desde el inicio del proyecto por 8 personas, que salvo en dos elementos, se mantuvieron durante toda la duración del proyecto.

### 2. Desarrollo de cuestionarios, términos de referencia y levantamiento de datos en los países muestra.

Con el objetivo de recabar información de calidad de primera mano, en cinco de los 6 países seleccionados se contrató un consultor nacional (Brasil, Chile, Colombia, Guatemala y República Dominicana)

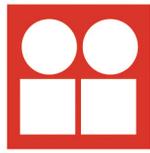
A los 5 consultores se les proporcionaron los cuestionarios que deberían llenar con la información requerida y se les proporcionaron términos de referencia para proceder con su llenado, de tal forma que se pudieran evitar desviaciones o confusiones relacionadas con nombres coloquiales de las tecnologías, diferencias con respecto a la normatividad nacional, falta de datos por no comprender el cuestionario, etcétera. El Anexo A muestra los cuestionarios.

### 3. Análisis de la información recabada por los consultores e identificación del estado actual de tratamiento de aguas en ALC

Para identificar el estado actual del tratamiento de aguas en ALC, se analizaron estadísticamente los datos recabados por los consultores, tomando en cuenta pruebas de normalidad, de homocedasticidad, comparación de medias, medidas de tendencia central y medias recortadas; así como un análisis detallado de la normatividad existente.

### 4. Desarrollo de una hoja de cálculo (simulador) para el diseño conceptual y balance de masas de la PTAR

Como parte de este proyecto se desarrolló una hoja de cálculo para el diseño conceptual, balance de masas, aspectos de dimensionamiento de equipo y obra



civil, costos de inversión y costos de operación. Esta herramienta permitió generar parte del Inventario de Ciclo de Vida para los escenarios analizados y las propuestas de mejora (a nivel de emisiones GEI). Una descripción más detallada de esta herramienta, con una mención de sus potenciales usos, se hace en el Anexo I, donde se presenta el manual del usuario.

#### 5. Análisis de Ciclo de Vida de dos PTAR (piloto)

Para plantear correctamente este proyecto, primeramente se realizaron dos análisis de ciclo de vida piloto, cada uno a dos PTAR de México (dos plantas chicas y dos plantas grandes). Esto como parte de dos tesis de maestría. Estos ACV piloto permitieron identificar con fundamento, los límites del sistema a estudiar y la Unidad Funcional del proyecto.

#### 6. Análisis de Ciclo de Vida de escenarios de tratamiento actuales y mejorados (incluye definición de objetivos y alcance, inventario y evaluación de impacto)

Esta sección representa uno de los objetivos específicos del proyecto y se describe en el apartado 3 de este informe.

#### 7. Cuantificación de emisiones GEI

Esta sección representa uno de los objetivos específicos del proyecto y se describe en el apartado 3 correspondiente a metodología.

#### 8. Factibilidad económica para participar en MDL

Esta sección representa uno de los objetivos específicos del proyecto y se describe en el apartado 3 correspondiente a metodología.

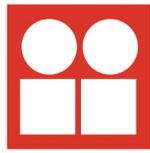
#### 9. Identificación de impactos sociales (análisis bibliográfico y prueba piloto)

Para plantear correctamente este proyecto, primeramente se realizó una evaluación de impactos sociales con enfoque de Análisis de Ciclo de Vida Social (ACV-S), a dos PTAR chicas de México. Esto como parte de una tesis de maestría. Este estudio piloto proporcionó un análisis bibliográfico y una propuesta metodológica que ha apoyado el desarrollo de este proyecto.

#### 10. Identificación de impactos sociales de las PTAR

Esta sección representa uno de los objetivos específicos del proyecto y se describe en el apartado 3 correspondiente a metodología.





#### 11. Diseño de la página web del proyecto

El proyecto cuenta con una página web que ha sido diseñada y mantenida en operación por el personal de cómputo del Instituto de Ingeniería. Aquí se pueden conocer los objetivos del proyecto, el equipo de trabajo y las organizaciones colaboradoras, entre otros temas. La dirección en la que se puede acceder a ella es: <http://proyectos.iingen.unam.mx/LACClimateChange/colaboradores.html>

#### 12. Salidas de campo a PTAR (nacionales e internacionales)

Con el objetivo de conocer los procesos, el estado de la gestión y verificar la información recabada se visitaron 4 plantas en Colombia, 3 en Guatemala, 2 en República Dominicana, 2 en Chile, 4 en Brasil y 20 en México.

#### 13. Presentación del proyecto en reuniones y foros nacionales e internacionales

Como parte de este proyecto se gestionaron reuniones en Instituciones clave relacionadas con el tema, para presentar los alcances y buscar alianzas en el desarrollo del estudio. Dichas reuniones fueron: Presidente del Instituto Nacional de Ecología (Dr. Adrián Fernández), funcionarios de CONAGUA (México) y Centro Mario Molina.

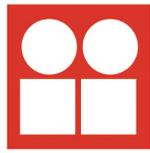
También se presentó en 11 foros mexicanos de relevancia nacional e internacional para el tema y se impartieron 2 charlas del proyecto en Chile y 4 en República Dominicana, así como 3 cursos de capacitación en Análisis de Ciclo de Vida.

Se publicaron 3 notas periodísticas relacionadas con el proyecto y se dieron 2 entrevistas de radio. El proyecto se mencionó en 2 portales de internet, en la Gaceta del Instituto de Ingeniería de la UNAM y en un Boletín de Ciudad Universitaria.

Adicionalmente, este proyecto dio lugar a la presentación de trabajos científicos en 11 Congresos Internacionales.

#### 14. Talleres del proyecto y seminarios

Para evaluar el planteamiento metodológico y los resultados del proyecto a lo largo de los 3 años de trabajo, se realizaron 4 Talleres anuales, con la asistencia del Comité Asesor y de otros invitados expertos. Con el fin de aprovechar la presencia de los expertos invitados al taller, en las cuatro ocasiones se organizaron eventos (una mesa redonda y tres seminarios) de un día de duración, eventos abiertos a todo público. El segundo taller y primer seminario se realizó en Viña del Mar, Chile. Para presentar los resultados finales de este estudio se desarrolló el cuarto taller de expertos el 23 de septiembre de 2013, seguido del tercer seminario el día 24. Detalles al respecto se presentan en el apartado 6 de este informe.



### 15. Presentación de avances del proyecto

A lo largo del proyecto se han presentado 6 Informes Técnicos de avances, los cuales han sido sometidos a la revisión por parte de IDRC y su grupo de expertos.

## **6. PRODUCTOS DEL PROYECTO**

### Desarrollos tecnológicos

Desarrollo de simulador basado en una hoja de cálculo con base de datos asociada, para diseño conceptual de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales y cálculo de balances de masa. Incluye la cuantificación de los materiales y equipamiento necesarios para determinar inversión inicial y del consumo de energía eléctrica para su operación (anexo I).

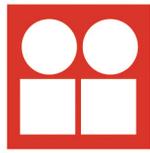
### Publicaciones

- Adalberto Noyola Alejandro Padilla-Rivera, Juan Manuel Morgan-Sagastume, Leonor Patricia Güereca and Flor Hernández-Padilla. 2012. Typology of wastewater treatment technologies in Latin America. *CLEAN – Soil, Air, Water* 40 (9): 926-932.
- Adalberto Noyola, Juan Manuel Morgan-Sagastume y Leonor Patricia Güereca, 2013. *Selección de Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Guía de apoyo para ciudades pequeñas y medianas*, Instituto de Ingeniería UNAM, México, ISBN: 978-607-02-4822-1, 128 pp. Tiraje de 1,200 ejemplares, disponible en formato electrónico (pdf) en: <http://proyectos.iingen.unam.mx/LACClimateChange/LibroTratamiento.html>

### Publicaciones en desarrollo

Hernández Flor, *et al.* Environmental Evaluation of different wastewater treatment systems: Activated Sludge, UASB and Stabilization ponds in Latin American and the Caribbean. En redacción. 60% de avance. Para someter en marzo 2014.

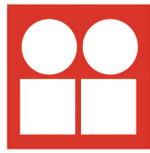
Padilla *et al.* Wastewater treatment management in Mexico: Case study, problems and challenges in Mexico City. En redacción. 50% de avance. Para someter en marzo del 2014.



Carius *et al.* Financial feasibility of municipal wastewater treatment plants in Mexico in the Climate Change framework. En redacción. 50% de avance. Para someter en marzo del 2014.

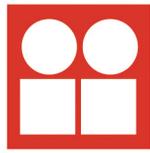
### Cursos, talleres y seminarios organizados

- **Primer Taller Internacional del Proyecto IDRC-UNAM.** Se realizó en el Instituto de Ingeniería de la UNAM en la Ciudad de México los días 4 y 5 de octubre de 2010.
- **Mesa redonda del Primer Taller del Proyecto IDRC-UNAM “Situación del tratamiento del agua residual en algunos países de América Latina y el Caribe”.** Se realizó en el Instituto de Ingeniería de la UNAM en la Ciudad de México el 5 de Octubre del 2010.
- **Curso de Capacitación Análisis Ciclo de Vida.** Se impartió en el Instituto de Ingeniería de la UNAM en la Ciudad de México los días 9, 10, 13 y 14 de junio de 2011.
- **II Taller Internacional del Proyecto IDRC-UNAM.** Se realizó en Curauma, Valparaíso, Chile el 11, 12 y 13 de octubre, 2011.
- **I Seminario Internacional: “Tratamiento de Aguas Residuales en el contexto del Cambio Climático: Gases de efecto invernadero, Análisis de Ciclo de Vida y Eficiencia Energética”.** Se realizó en Curauma, Valparaíso, Chile el 13 de Octubre de 2011.
- **Curso de capacitación Análisis de Ciclo de Vida.** Se impartió en el Instituto de Ingeniería de la UNAM en la ciudad de México los días 19, 20, 23 y 24 de abril de 2012.
- **III Taller Internacional del proyecto Proyecto IDRC-UNAM.** Se realizó en el Instituto de Ingeniería de la UNAM en la Ciudad de México, los días 29 y 30 de octubre de 2012.
- **II Seminario Internacional “Tratamiento de Aguas Residuales en el contexto del Cambio Climático: Gases de efecto invernadero y Análisis de Ciclo de Vida”** Se realizó en la Ciudad de México el 31 de octubre de 2012.
- **IV Taller Internacional del proyecto Proyecto IDRC-UNAM.** Se realizó en el Instituto de Ingeniería de la UNAM en la Ciudad de México, el 23 de septiembre de 2013.
- **III Seminario Internacional “Tratamiento de Aguas Residuales y Cambio Climático”.** Se realizó en el Instituto de Ingeniería de la UNAM en la Ciudad de México el 24 de septiembre del 2013.



Reuniones y presentaciones de difusión nacionales e internacionales y búsqueda de colaboraciones

- **Presentación del proyecto ante el Instituto Nacional de Ecología.** Fecha: 9 de Agosto de 2010.
- **XXXII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental.** Presentación del proyecto a la comunidad Latino Americana dentro del congreso que se realizó del 7 al 11 de noviembre de 2010, en el Hotel Meliá Caribe en Punta Cana, República Dominicana.
- **Presentación del proyecto en Santiago de Chile.** Impartición de dos presentaciones, una para estudiantes en administración y otra para los estudiantes del diplomado en Gestión Ambiental. Fecha 28 de mayo de 2011.
- **Presentaciones del proyecto en República Dominicana.** Se llevaron a cabo cuatro presentaciones del proyecto. Una en las instalaciones del Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales y dos más en Instituto Tecnológico de Santo Domingo (INTEC). Fecha 2 y 3 de junio del 2011.
- **Presentación del proyecto en el 3er Encuentro Universitario del Agua.** Se organizó a través de la Red del Agua UNAM el 24 y 25 de septiembre de 2011 en ciudad universitaria, UNAM
- **Presentación del proyecto en el XIV Congreso Mundial da Água (XIVth IWRA World Water Congress)** realizado del 25 al 29 de septiembre de 2011 en Porto de Galinhas, Pernambuco – Brasil.
- **Congreso Nacional de Investigación en Cambio Climático. 17-21 de octubre de 2011. Universidad Nacional Autónoma de México.** Se presentó el proyecto.
- **XXXIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental AIDIS.** Que se llevó a cabo del 3 al 7 de Junio de 2012, en la ciudad de Salvador / Bahia, Brasil. Mesa Cambio climático.
- **Semana Verde 2012, Instituto de ingeniería, UNAM.** Que se llevó a cabo del 10 al 14 de septiembre de 2012. Se presentó el proyecto y algunos de los resultados obtenidos hasta el momento, en el día destinado a Cambio Climático.
- **THE GREEN EXPO y el Congreso Internacional Ambiental del Consejo Nacional de Industriales Ecologistas de México (CONIECO),** 25 al 27 de septiembre de 2012, en el World Trade Center de la Ciudad de México. Presentación del proyecto y los resultados obtenidos hasta el momento dentro de la sesión “Innovaciones en tratamientos de aguas residuales”.
- **9º Foro Internacional Desde lo Local “Fortalecimiento Municipal: Calidad de Vida para los ciudadanos”,** 26, 27 y 28 de Septiembre del 2012, en el Centro



de Convenciones de la Ciudad de San Luis Potosí, México. Se presentó el proyecto y los resultados obtenidos hasta el momento en el Panel de “Retos en el cuidado del Agua”.

- **Reunión CONAGUA.** Se presentó el proyecto al Maestro Óscar Jorge Hernández López. Subdirector General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento, de la CONAGUA. 19 de febrero de 2013.
- **Reunión BBL del Banco Mundial,** 22 de agosto de 2013 en Washington D.C. Se presentaron los resultados del proyecto ante personal del Departamento de Desarrollo Sustentable América Latina del Banco Mundial.
- **Reunión SEMARNAT** Se presentó el proyecto al Maestro Rodolfo Lacy, Subsecretario de Planeación. 9 de octubre de 2013.

### Página Web

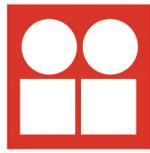
<http://proyectos.iingen.unam.mx/LACClimateChange>

Durante los tres años de duración del proyecto se mantuvo actualizada la página del proyecto principalmente mediante *Notas Informativas*, las cuales se presentaron semanalmente, y consistían en breves resúmenes y/o comentarios relacionados con noticias o trabajos en los temas de Cambio Climático, Análisis de Ciclo de Vida Social y Ambiental, y Tratamiento de Aguas Residuales. Además en el sitio web están disponibles las presentaciones de los eventos organizados como parte del proyecto y resúmenes de algunos trabajos presentados.

### Difusión en medios de comunicación

- **Diario La Jornada, México**  
Título nota: Apenas es tratada 18% del agua residual municipal; crece déficit de líquido potable. Fecha de publicación: 30 de septiembre de 2011, p. 45
- **Diario País Libre, Guatemala.**  
Título nota: Hacen estudio sobre aguas residuales. Fecha de publicación: 29 de septiembre de 2011
- **Boletín de SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.** Presentación del proyecto “Reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero en el tratamiento de aguas residuales de América Latina y el Caribe, al adoptar procesos y tecnologías más sustentables”. Fecha: 28 de noviembre- Diciembre 2011.
- **Colaboradores en el Inventario de Agua y Adaptación: Acciones en las Américas (AguaAAA). Disponible en:**

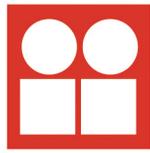
<http://www.aguaaaa.org/aguaaaa.org/www/buscaracciones.aspx>



- **Entrevista de radio a la Dra. Patricia Güereca:** Cambio Climático y avances del proyecto IDRC. XHUMI-FM Radio Millennium Internacional 101.9 FM. Torreón, Coahuila, a 23 de diciembre del 2011. Duración: Una hora. Entrevistador: Periodista Emmanuel Dildy
- **Entrevista de radio a la Dra. Patricia Güereca: Avances del proyecto IDRC-UNAM.**  
Radio UNAM, 96.1 FM y 860 AM. México, Distrito Federal a 27 de septiembre del 2012. Programa Perfiles. Duración: Una hora. Entrevistador: Lic. Hernando Luján
- **Boletín de la Dirección General de Comunicación Social de la UNAM.** Publicado el día 4 de diciembre de 2012. Además este artículo fue reproducido en otros medios como: Milenio (4 de diciembre de 2012), La Jornada (5 diciembre de 2012), Vanguardia de Saltillo entre otros.

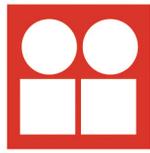
#### Asistencia a cursos, talleres y estancia de investigación.

- **Workshops, Water Environment Federation's Annual Technical Exhibition and Conference (WEFTEC 2011).** 15-19 de octubre de 2011. Los Ángeles, California. En el marco de la WEFTEC, Alejandro Padilla asistió a los siguientes dos talleres, por considerarse importantes para el desarrollo del proyecto.
  - Greenhouse Gas (GHG) Methodologies and Inventorying for Biosolids Treatment.
  - Mastering the Balance Between Planning, Water Quality, and the Carbon Footprint of Alternative Water Supplies - Interactive Presentations & Field Tours.
- **Taller de iniciación en los métodos cualitativos.** Coordinación del Programa de Maestría y Doctorado en Urbanismo, UNAM. Del 24 de agosto al 26 de octubre 2012. Alejandro Padilla asiste a este taller, por considerarse de utilidad para el desarrollo de sus actividades dentro del proyecto.
- **Curso de Evaluación de Impactos en el Ciclo de Vida.** Centro de Análisis de Ciclo de Vida y Diseño Sustentable (CADIS). 17 y 18 de Mayo de 2012. Flor Hernández asistió a este curso para capacitarse en el manejo avanzado del Software SimaPro.
- **Curso de Evaluación de Impactos en el Ciclo de Vida.** Centro de Análisis de Ciclo de Vida y Diseño Sustentable (CADIS). 14 y 15 de febrero de 2013. Alejandro Padilla asistió a este curso para capacitarse en el manejo avanzado del Software SimaPro.
- **Estancia de investigación de Alejandro Padilla.** Arizona State University. School of Sustainability. Profesor Mikhail Chester. 31 de agosto 2013 al 22 de enero de 2014.

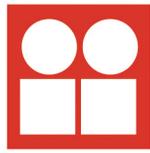


### Presentaciones en congresos internacionales con arbitraje

- **Mini Taller de Emisiones de Metano y Carbón Negro.** Este evento fue organizado por INE, CCA- UNAM, MCE<sup>2</sup> y se llevó a cabo el 4 de noviembre del 2010 en la ciudad de México. Se participó con la siguiente ponencia: Análisis de Ciclo de Vida Aplicado al tratamiento de Aguas.
- **Climate Change & Environmental Management Symposium.** Evento organizado por: Griffith University y el Centro de Ciencias de la Atmósfera (CCA-UNAM), que se realizó en la ciudad de México el 29 y 30 de noviembre del 2010. Título del trabajo: Life Cycle Assessment Applied to Wastewater Treatment Technologies.
- **Climate Change – Global Change (COP 16).** Evento organizado por TERI Institute India, CONACYT, Inecol UNAM y que se llevó a cabo en Cancún, México del 30 noviembre al 1 diciembre de 2010. Charla sobre ACV de Tecnologías de Tratamiento de Aguas y potencial cooperación
- **Dialogs on Water and Climate Change (COP 16).** Evento organizado por la Comisión Nacional de Agua (CONAGUA) y se realizó en Cancún México del 1 al 3 de diciembre del 2010. Título de la conferencia: Conversaciones con expertos nacionales e internacionales.
- **Expert Workshop on Methane and Black Carbon.** Organizado por MCE<sup>2</sup>, SEMARNAT, INE y se llevó a cabo en la ciudad de México del 24 al 25 enero 2011. Se participó con los siguientes dos trabajos:
  - Emisiones de GEI por desarrollos urbanos, la aproximación del ciclo de vida.
  - Metano por tratamiento de aguas residuales
- **Un MILAGRO por el aire.** Evento organizado por MCE<sup>2</sup>, SEMARNAT en la ciudad de México del 1 al 2 abril 2011. Título del trabajo con el que se participó: Ecological footprint and their impact on climate change.
- **CILCA 2011.** Evento organizado por PEMEX, CADIS, II-UNAM en Coatzacoalcos, México, del 4 al 7 de abril 2011. Se participó con los siguientes trabajos:
  - Social indicators in Life Cycle Assessment: a focus on wastewater technologies in Latin America and the Caribbean (poster)
  - Defining objectives and scope for a thesis Life Cycle Analysis of wastewater treatment in Latin America and the Caribbean (poster)
  - Environmental consequences of wastewater treatment by activated sludge technology. A life cycle assessment approach (oral)
  - Comparative Life Cycle Assessment for two wastewater treatment plants in Mexico (oral)

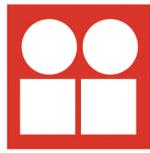


- **LCM 2011 - Towards Life Cycle Sustainability Management.** Organizado por TU Berlin, Volkswagen, Sustainable Engineering, en Berlín Alemania del 28 al 31 de agosto de 2011. Se participó con los siguientes trabajos:
  - A Comparison of Two Wastewater Treatment Plants: Stabilization ponds and Activated Sludge with a Social perspective impacts. Adba Musharrafié, Patricia Güereca, Juan Manuel Morgan y Adalberto Noyola.
  - A Comparative Life Cycle Assessment of a wastewater treatment technology considering two inflow scales. Güereca Leonor Patricia, Musharrafié Adba, Martínez Edgar,, Padilla Alejandro, Morgan Juan Manuel, Romero Liliana, Hernández Flor, Cisneros Margarita and Noyola Robles Adalberto.
- **Sixth International Symposium on science, implementation and policy aspects of non-CO<sub>2</sub> greenhouse gases (NCGG-6)** celebrado en Amsterdam, del 2 al 4 de noviembre 2011. Se presentó el trabajo (oral): Towards more sustainable technologies for wastewater treatment in Latin America: is biogas production an opportunity or a threat?
- **Segundo Congreso de Alumnos de Posgrado de la UNAM.** Que se celebró los días 25, 26 y 27 de Abril de 2012 en Ciudad Universitaria, UNAM. Flor Hernández participó con una presentación oral del cartel titulado: Análisis ambiental de las cuatro tecnologías de tratamiento de aguas residuales municipales más usadas en América Latina y el Caribe bajo un enfoque de Análisis de Ciclo de Vida.
- **Congreso: Green Industry: "Public and Private Strategies for Sustainable Regional Development"** organizado por Greening of Industry Network, University of Twente and Tecnológico de Monterrey. Abril 18-20, 2012. Se presentó el trabajo (oral): Hernández-Padilla F., Padilla-Rivera, Güereca L.P., Morgan-Sagastume J.M. and Noyola A. Development of Life Cycle Inventories of wastewater treatment systems.
- **Congreso :Ecotechnologies for Wastewater Treatment.** Santiago de Compostela, España, Junio 25-27, 2012. Organizado por la IWA - International Water Association y la Universidad de Santiago Compostela. Se presentó el trabajo (oral): F. Hernández-Padilla, A.J. Padilla-Rivera, L.P. Güereca, J. M. Morgan-Sagastume, A. Noyola. Development of a Life Cycle Inventories of wastewater treatment systems: the case of activated sludge technology.
- **III Congresso Brasileiro em Gestão do Ciclo de Vida de Produtos e Serviços,** que tuvo como tema "Novos Desafios para um Planeta Sustentável". Maringá, Paraná, Brasil, Septiembre 3-6, 2012. Se presentaron dos trabajos:
  - Flor Hernández Padilla, Leonor Patricia Güereca Hernández, Adalberto Noyola Robles. Inventario de ciclo de vida de tres sistemas



de tratamiento de agua residual. El caso de los lodos activados. Área Temática: ICV (Avaliação de Inventário de Ciclo de Vida). Presentación oral.

- Adba Musharrafie Martínez, Alejandro de Jesús Padilla Rivera, Leonor Patricia Güerea Hernández, Dejan Mihailovic Nikolajevic. Comparación de dos Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, desde una perspectiva de Análisis de Ciclo de Vida Social. Área Temática: Aplicações (Estudios de caso, metodología). Poster.
- **Segundo Congreso Nacional de Investigación en Cambio Climático.** Organizado por la Universidad Nacional Autónoma de México, a través de su Programa de Investigación en Cambio Climático. Se llevó a cabo del 15 al 19 de octubre de 2012. Se presentó el trabajo en el bloque temático: Mecanismos de Desarrollo Limpio: Güereca Hernández Leonor Patricia y Musharrafie Martínez Adba. Cuantificación de emisiones Gases de Efecto Invernadero de nueve escenarios de tratamiento de aguas residuales en América Latina y el Caribe.
  - **Methane Expo 2013** organizado por la Global Methane Initiative (GMI) de la US-EPA en Vancouver, Canadá del 12 al 15 de Marzo del 2013. Se presentó el trabajo (oral): Municipal wastewater treatment in Latin-America: A zoom to Mexico with emphasis in GHG emissions from municipal wastewater treatment.
- **V Conferencia Internacional sobre Análisis de Ciclo de Vida – CILCA.** Evento que se llevó a cabo del 24 al 27 de marzo de 2013 en Mendoza, Argentina. Se presentaron los siguientes trabajos:
  - F. Hernández-Padilla\*, P. Güereca, A. Noyola. ACV como una herramienta de toma de decisiones para la mejora ambiental del tratamiento del agua residual en América Latina y el Caribe.
  - A.J. Padilla-Rivera\*, P. Güereca, J.M. Morgan-Sagastume, A. Noyola. Propuesta Metodológica para Evaluar Impactos Sociales con un Enfoque de Ciclo de Vida.
  - Musharrafie, P. Güereca\*, J.M. Morgan-Sagastume, A. Noyola. El Mecanismo de Desarrollo Limpio en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales: El caso de Latinoamérica y el Caribe.
- **23rd Annual Meeting of the Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC Europe).** Que se llevó a cabo del 12 al 16 de mayo del 2013 en Glasgow, Escocia, Reino Unido. Se participó con el siguiente trabajo (oral): Carius Chantal, Güereca Patricia\*, Morgan-Sagastume Juan Manuel and Noyola Adalberto. GHG emissions and MDL feasibility of representative wastewater treatment technologies in Latin-America and the Caribbean.
- **International Seminar on Social LCA.** Que se llevó a cabo del 6 al 7 de Mayo del 2013 en Montréal, Canadá. Se participó con el siguiente trabajo como



presentación oral: A.J. Padilla-Rivera \*, P Güereca., J.M. Morgan-Sagastume, A. Noyola. Social Life Cycle Assessment: A comparison of wastewater treatment facilities in Mexico.

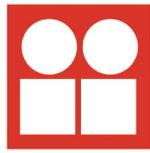
- **10° Congreso “Wastewater Pond Technology”**. Evento organizado por la IWA y que se llevó a cabo del 18 al 23 de agosto de 2013 en Cartagena, Colombia. Se participó con el trabajo (oral): F. Hernández-Padilla, P. Güereca, A. Noyola. LCA as a tool for decision making process of wastewater treatment in Latin American and the Caribbean: the case of stabilization ponds.
- **6th International Conference on Life Cycle Management**. Se llevó a cabo del 25 al 28 de agosto del 2013, en Gotemburgo, Suecia. En este evento se presentó el siguiente trabajo (oral): F. Hernández-Padilla, P. Güereca, JM Morgan-Sagastume, A. Noyola. LCA of wastewater treatment systems: Activated Sludge, UASB, Stabilization ponds, and Trickling Filter in Latin American and the Caribbean.

#### Tesis concluidas

- Roberto Edgar Martínez García, 2011. **Determinación de los impactos ambientales de tecnologías de tratamiento de aguas residuales a gran escala, mediante análisis de ciclo de vida**. Dirigida por Dra. Leonor Patricia Güereca H. Maestría en Desarrollo Sostenible. Tecnológico de Monterrey.
- Adba Musharrafie Martínez, 2011. **Análisis de ciclo de vida ambiental y desarrollo de una metodología para la identificación y evaluación de impactos sociales mediante análisis de ciclo de vida, aplicado a dos tecnologías de tratamiento de aguas residuales en México**. Dirigida por Dra. Leonor Patricia Güereca H. Maestría en Desarrollo Sostenible. Tecnológico de Monterrey.

#### Tesis en desarrollo

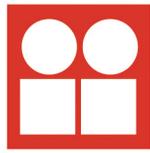
- Hernández P. Flor. **Análisis de cuatro tecnologías más usadas para el tratamiento de aguas residuales en América Latina y el Caribe bajo un enfoque de Ciclo de Vida**. Tesis Doctoral. Director: Dr. Adalberto Noyola Robles. Instituto de Ingeniería UNAM. Fecha probable de obtención de grado Agosto 2014.
- Padilla Alejandro. **Desarrollo de una propuesta metodológica para la evaluación de la sostenibilidad de infraestructura urbana, aplicada al tratamiento de aguas residuales**. Director: Dr. Juan Manuel Morgan-Sagastume. Instituto de Ingeniería UNAM. Fecha probable de obtención de grado Junio 2015.



## Informes

- Noyola A., Morgan-Sagastume J.M., Güereca L.P., Hernández Padilla F., Padilla Rivera A., Cisneros M. 2010. Primer Informe del proyecto Water and Sanitation: LAC Cities adapting to climate change by making better use of their available bioenergy resources. Octubre 2010. Instituto de Ingeniería UNAM para IDRC.
- Noyola A., Morgan-Sagastume J.M., Güereca L.P., Hernández Padilla F., Padilla Rivera A., Cisneros M. 2010. Segundo Informe del proyecto Water and Sanitation: LAC Cities adapting to climate change by making better use of their available bioenergy resources. Abril 2011. Instituto de Ingeniería UNAM para IDRC.
- Noyola A., Morgan-Sagastume J.M., Güereca L.P., Hernández Padilla F., Padilla Rivera A., Cisneros M. 2011. Tercer Informe del proyecto Water and Sanitation: LAC Cities adapting to climate change by making better use of their available bioenergy resources. Octubre 2011. Instituto de Ingeniería UNAM para IDRC.
- Noyola A., Morgan-Sagastume J.M., Güereca L.P., Hernández Padilla F., Padilla Rivera A., Cisneros M., Villalba E. 2012. Cuarto Informe del proyecto Water and Sanitation: LAC Cities adapting to climate change by making better use of their available bioenergy resources. Abril 2012. Instituto de Ingeniería UNAM para IDRC.
- Noyola A., Morgan-Sagastume J.M., Güereca L.P., Hernández Padilla F., Padilla Rivera A., Carrius Ch., Cisneros M. y Villalba E. 2012. Quinto Informe del proyecto Water and Sanitation: LAC Cities adapting to climate change by making better use of their available bioenergy resources. Octubre 2012. Instituto de Ingeniería UNAM para IDRC.
- Noyola A., Morgan-Sagastume J.M., Güereca L.P., Hernández Padilla F., Padilla Rivera A., Cisneros M., Villalba E. 2013. Sexto Informe del proyecto Water and Sanitation: LAC Cities adapting to climate change by making better use of their available bioenergy resources. Abril 2013. Instituto de Ingeniería UNAM para IDRC.
- Noyola A., Morgan-Sagastume J.M., Güereca L.P., Hernández Padilla F., Padilla Rivera A., Cisneros M. 2013, Villalba E.. Informe Final del proyecto Water and Sanitation: LAC Cities adapting to climate change by making better use of their available bioenergy resources. Octubre 2013. Instituto de Ingeniería UNAM para IDRC.

Los documentos derivados de este apartado se presentan en el Anexo H.

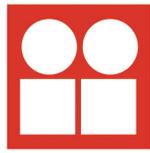


## 7. EFECTOS DIRECTOS DEL PROYECTO

- Este proyecto apoyó para que el II-UNAM mantenga su posicionamiento como líder regional en estudios de agua y saneamiento.
- Formación de un nuevo grupo de trabajo en la materia. Como efecto de este proyecto se conformó un grupo de trabajo en Análisis de Ciclo de Vida y Cambio Climático en el Instituto de Ingeniería de la UNAM, cuya formación fue detonada gracias al financiamiento de este proyecto. Este grupo está formado actualmente por 6 alumnos y una investigadora. Cuatro de los alumnos y la investigadora participaron en forma activa en el proyecto.

Como resultado de lo anterior, se creó una asignatura optativa en la maestría en ingeniería, campo ingeniería ambiental, de la UNAM, "análisis de ciclo de vida" que se imparte un semestre cada año.

- Incurción del grupo de trabajo en la línea de Análisis de Ciclo de Vida Social, a partir de lo cual se estableció una colaboración con el Dr Manuel Perló, del Instituto de Investigaciones Sociales.
- Adopción de nueva línea de investigación dentro del Grupo de Investigación en Procesos Anaerobios. Los resultados del proyecto permitieron identificar la necesidad de desarrollar investigación en temas relacionados con la emisión de metano a partir del tratamiento de aguas residuales municipales. Para ello, se han iniciado trabajos doctorales para la determinación de factores de emisión reales en plantas de tratamiento representativas en México y en el control del metano disuelto en los efluentes tratados por reactores anaerobios tipo UASB.
- Incurción del II-UNAM en el tema de responsabilidad ambiental. Una de las actividades que se han fortalecido por esta investigación es el Proyecto de Responsabilidad Ambiental (RAM) del Instituto de Ingeniería, el cual ha adoptado un enfoque más integral que busca que el II-UNAM se encarrile en la búsqueda proactiva de la sostenibilidad y en la mitigación de GEI.
- Plataforma para el desarrollo de otros proyectos. A partir del trabajo realizado en este proyecto se desarrollaron otros proyectos relacionados con Ciclo de Vida y Cambio Climático:
  - Inventario de emisiones de Gases de Efecto Invernadero por el sector de tratamiento de aguas residuales en México y proyecciones tecnológicas de mitigación para el año 2025. Patrocinado por el Centro Mario Molina en 2011.
  - Cuantificación de emisiones GEI del Instituto de Ingeniería (IGEII), que dio origen a una publicación internacional. Patrocinado por el Instituto de Ingeniería UNAM.
  - Inventario de emisiones de Metano en el campo del tratamiento de aguas residuales en México. Patrocinado por GEF, UNEP y MCE2, en curso.



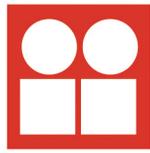
- Equidad de Género. A lo largo del desarrollo del proyecto se involucraron directamente 11 personas de las cuales 7 son mujeres, quienes han realizado tesis, han sido capacitadas o están comenzando programas de maestría.
- Incidencia en política pública Mexicana.

El grupo de trabajo participó en la discusión del Plan Nacional de Desarrollo propuesto por el presidente de la República y en la discusión del Plan Sectorial de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Ambas actividades fueron organizadas por la Subsecretaría de Planeación y Desarrollo de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y el Programa Universitario de Medio Ambiente de la UNAM (PUMA) en las instalaciones del PUMA los días 7 de marzo y 3 de abril del 2013. Participaron 10 investigadores de diferentes áreas y se discutió sobre los temas relevantes de la agenda medioambiental en México. La participación del II-UNAM se centró en tratamiento de aguas residuales y análisis de ciclo de vida.

El próximo miércoles 9 de octubre se presentarán los resultados del proyecto al Subsecretario de Planeación y Desarrollo de SEMARNAT, con el objetivo de buscar su aplicación en política pública.

- Derivado de la gestión del proyecto se tiene una excelente relación con el actual Subsecretario de Planeación y Desarrollo de la SEMARNAT (Maestro Rodolfo Lacy), quien tiene interés en el proyecto desde su inicio y le interesa tomar en cuenta los resultados para el establecimiento de políticas públicas relacionadas con el tratamiento de aguas residuales.
- Creación de una organización relacionada con el tema. Este proyecto dio pie a la formación de la Red Mexicana de Análisis de Ciclo de Vida, que está conformada por 25 miembros en México. Tiene un Comité Ejecutivo dirigido por la Dra. Patricia Güereca (participante de este proyecto). Esta Red cuenta con el reconocimiento de UNEP-SETAC LC Initiative y de la Red Iberoamericana de Análisis de Ciclo de Vida. Actualmente cuenta con más de 35 miembros registrados y un grupo de 120 interesados que participaron en el Primer Seminario de Análisis de Ciclo de Vida en México (financiado por UNEP SETAC LC Initiative, SEMARNAT, Instituto de Ingeniería de la UNAM y el Centro de Análisis de Ciclo de Vida y Diseño Sustentable).
- Participación del grupo en la conformación de la División Técnica de Coordinación en Cambio Climático de AIDIS.
- Liderazgo y referente. El grupo muestra liderazgo en investigación en América Latina y el Caribe, relacionada con los temas de: tratamiento de aguas, emisiones de gas efecto invernadero y análisis de ciclo de vida.
- El libro Selección de Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales, orientado para ciudades pequeñas y medianas, se espera tenga efectos directos sobre las decisiones que en esa materia se tomen en



Latinoamérica; de ser así, este libro dará trascendencia al trabajo desarrollado en el proyecto.

## **8. EVALUACIÓN GENERAL Y RECOMENDACIONES**

El financiamiento de este proyecto permitió desarrollar una investigación científicamente robusta y con calidad, al mismo tiempo que permitió la formación de capacidades y motivó la asociación con otras instituciones.

Además de un artículo de investigación, al cual seguirán al menos otros tres en proceso de redacción, y un amplio listado de presentaciones de congresos, lo cual impactará el ámbito académico, el proyecto produjo para un público más diverso un libro que servirá de guía de apoyo para la toma de decisiones en tratamiento de aguas, la cual será de utilidad para todos los municipios medianos y pequeños de América Latina y el Caribe, interesados en instalar plantas de tratamiento de aguas residuales.

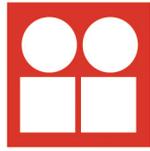
Los resultados de este estudio señalan que:

- El uso de tecnología UASB con recuperación de biogás y generación de electricidad es una alternativa ambientalmente eficiente para plantas pequeñas y medianas (menor huella de carbono).
- La gestión que se haga en las plantas, más que en la tecnología, va a determinar los impactos sociales a nivel de trabajadores, comunidad, sociedad, consumidores y proveedores.
- La factibilidad económica de las PTAR es determinada principalmente por el precio de venta del metro cúbico de agua tratada. La venta de Certificados de Reducción de Emisiones (CER) dentro de los MDL, no contribuye a la factibilidad económica de las PTAR y menos, si se considera el bajo precio y las condiciones actuales en mercados de carbono.

Derivado del proyecto es posible señalar temas de investigación que pudieran ser abordados en investigaciones futuras, es decir:

La comparación de los impactos ambientales de una planta grande versus varias pequeñas, considerando el sistema completo (drenaje, tratamiento y disposición final o reúso). Esto apoyará la toma de decisiones relacionada con el tema de saber que es más conveniente, una planta grande o varias pequeñas. Los resultados de ese estudio impactarían las políticas públicas de saneamiento en grandes ciudades.

Es necesario identificar el grado de sostenibilidad con enfoque de ciclo de vida, del ciclo del agua urbano y ciclo del agua rural. Esto nos permitiría apoyar el proceso de toma de decisiones no sólo del tratamiento de aguas, sino desde la



extracción, transporte, potabilización, distribución, tratamiento y reúso de aguas. Tal estudio impactaría las políticas de manejo del agua en una nación, así como las estrategias de mitigación / adaptación al cambio climático.

Se identifica como un tema necesario y pertinente la determinación en campo de factores de emisión de gases de efecto invernadero en plantas de tratamiento en la región de Latinoamérica. Esto permitirá mayor precisión en el cálculo de los inventarios nacionales de emisiones, lo que apoyará en una toma de decisiones efectiva, tanto de políticas públicas como de selección de tecnologías, para avanzar en las estrategias nacionales de mitigación.

El problema que representa para los sistemas anaerobios de tratamiento de aguas residuales el hecho que se pierda metano disuelto en el efluente y con ello aumente su huella de carbono, hace necesario desarrollar investigación al respecto. Se debe investigar operaciones que desorban el metano disuelto y lo controlen, ya sea quemándolo u oxidándolo a  $\text{CO}_2$  por medio de procesos biológicos. Este trabajo impactaría la investigación científica en la materia y fortalecería la opción tecnológica de la vía anaerobia para tratar aguas residuales municipales.

Una herramienta importante desarrollada en el proyecto fue el simulador de procesos. Esta herramienta puede ser estructurada con una interface usuario más amigable, lo que podría ampliar el impacto del proyecto en el ámbito profesional de la consultoría en la materia. Para ello, se requiere un financiamiento adicional que cubra los costos de los programadores y de ingenieros que incorporen las mejoras identificadas durante su aplicación para el proyecto.