

# Uso de Tecnologías Limpias para el tratamiento de aguas residuales urbanas

*Bartolomé Manzolillo*

bartolome.manzolillo@hotmail.com

Coordinación en Desarrollo y Ambiente, Universidad Simón Bolívar, Caracas, Venezuela

## Resumen

En las últimas décadas, debido a los cambios ambientales que están sucediendo a nivel global, la sociedad y los gobiernos están en la búsqueda de soluciones para un mejor uso y disposición del agua como recurso natural fundamental para la vida, la salud y la seguridad alimentaria del planeta, y que a su vez se garantice un crecimiento económico con bases en la sostenibilidad del ambiente y del recurso del agua. Si bien la región Latinoamericana está dotada de recursos hídricos abundantes, presenta importantes riesgos asociados a la calidad del agua y a su disponibilidad. En la mayoría de los países de la región entre 80% y 90% de los desagües que provienen de las viviendas y un 70% de los residuos industriales, se vierten sin depurar en las aguas superficiales de ríos y lagos, donde contaminan el agua utilizable en lugares habitados o se reutiliza sin tratamiento alguno en riego agrícola, provocando un riesgo sanitario para la población. Es por esto que los sistemas de tratamiento de aguas residuales están siendo el medio más utilizado para mitigar los impactos ambientales de las aguas residuales domésticas. El presente trabajo describe la situación que se presenta a nivel regional, con énfasis en América Latina y Venezuela, en cuanto a las consecuencias en la disposición en el ambiente de las aguas residuales urbanas, su efecto en la salud de las comunidades por las enfermedades que se propagan a través de este medio, y se plantea como reducir o eliminar su impacto en los cuerpos de agua y en el ambiente en general. Adicionalmente, se presenta un breve análisis del rol de las tecnologías limpias para dar una solución accesible a las comunidades, en cuanto al tratamiento de las aguas residuales de uso doméstico, presentando un resumen de las tecnologías disponibles.

**Palabras claves:** aguas residuales urbanas, tecnologías limpias aguas residuales, tratamiento de aguas domésticas, procesos de tratamiento de aguas.

## Clean tech from urban residual waters treatment

### Abstract

In recent years, due to the global environmental changes, society and governments are looking for solutions to a better use and disposal of water, as a fundamental natural resource for life, for health and food safety of the planet, while ensuring economic growth based on the environment sustainability and water resources. Although the Latin American region is favored with abundant water resources, it shows significant risks associated with water quality and availability. In most countries of the region, between 80 and 90 per cent of domestic drains and 70 per cent of industrial waste are discharged untreated into the rivers and lakes, where they contaminate usable water in inhabited places or are reused without any treatment in agricultural irrigation, causing a health risk for the population. This is why wastewater treatment is the most widely used system of mitigating the environmental impacts of domestic wastewater. This paper describes the situation presented at a regional level, with emphasis on Latin America and Venezuela, in terms of the consequences on the environmental disposition of urban wastewater, its effect on the health of communities by the diseases that spread through the environment, and it proposes how to reduce or eliminate their impact on water bodies and the environment in general. In addition, a brief analysis is presented of the role of clean technologies in providing an affordable solution to communities in the treatment of domestic wastewater and presenting a summary of available technologies.

**Keywords:** urban waste water, clean technologies waste water, domestic water treatment, water treatment processes.

## I. INTRODUCCIÓN

El agua es el elemento esencial para la vida del que depende la seguridad alimentaria, la salud de los ecosistemas y la vida humana, como un recurso natural único y estratégico para el crecimiento de diferentes sectores productivos. Sin embargo con el crecimiento de la población y el desarrollo industrial, cada día se incrementa su uso indiscriminado y la contaminación de los cuerpos de agua, producto de la descarga de las aguas residuales sin tratamiento [1].

Es apenas en las últimas décadas, en la que países de la región Latinoamericana como Chile, Brasil y Colombia, han visto la importancia que tiene el buscar los mecanismos necesarios para consumir racionalmente el agua y que después de su uso, esta se lleve al drenaje y sistemas cloacales, se le dé tratamiento adecuado y se retorne libre de contaminantes a los cuerpos de agua, acuíferos, o darle uso en otras actividades como la agricultura y los procesos industriales. Para el año 2020, Chile posee la mejor estructura de saneamiento de aguas residuales de la región con una cobertura del 99,85% mediante el uso de tecnologías como lodos activos, lagunas aireadas y bio-filtros. [2] Adicionalmente en Chile se aprovecha la generación de biogás de las plantas de tratamiento de aguas residuales con procesos anaeróbicos, para uso en calefacción y cocina. [4] En este sentido es relevante evidenciar, como la generación de bio-sólidos en plantas de tratamientos de aguas residuales en Brasil, viene siendo utilizado en la agricultura, en especial en la producción de maíz y soya, mejorando su rendimiento en promedio de 21% en comparación al uso de fertilizantes. De la misma forma, se puede mencionar el plan de manejo de la cuenca del Río Bogotá en Colombia para mejorar la calidad del agua del río.[4]

Hay que señalar, que el consumo accidental o voluntario de agua contaminada y la exposición directa a ella es fuente de enfermedades infecciosas, gastrointestinales y dérmicas, en especial de mortalidad infantil, que en algunos casos puede alcanzar el 10% de la tasa de mortalidad total por enfermedades de un país. De igual manera son frecuentes los niveles de desnutrición por consumo de aguas contaminadas, pues sus enfermedades asociadas impiden la correcta absorción de los nutrientes de los alimentos, y los costos derivados por problemas de salud son importantes [3].

Si bien la región Latinoamericana está dotada de recursos hídricos abundantes, presenta importantes riesgos asociados a la calidad del agua y a su disponibilidad. En la mayoría de los países de la región entre el 80% y 90% de los desagües que provienen de las viviendas y un 70% de los residuos industriales, se vierten sin depurar en las aguas superficiales de ríos y lagos, donde contaminan el agua que se consume en lugares habitados o se reutilizan sin tratamiento alguno en riego agrícola, provocando un riesgo sanitario para la población [4].

Sobre la base de datos correspondientes al informe OMS/UNICEF del Programa Conjunto de Monitoreo (PCM) del 2015, puede afirmarse que prácticamente en todos los países se ha cumplido la meta de acceso al agua potable, ya que el 91% utiliza una fuente de agua mejorada [5]. Sin embargo, en el documento se observan diferencias sustanciales entre las áreas rurales y urbanas, entre las distintas ciudades, provincias, estados, regiones y municipios y, sobre todo, entre los grupos de ingreso. Se estima que el 96% de la población mundial urbana utiliza fuentes de agua potable mejoradas, frente al 84% de la población rural y que ocho de cada 10 personas aún sin acceso a fuentes de agua potable mejorada viven en zonas rurales [5].

Se consideran aguas residuales domésticas aquellas que se generan, luego de su uso, en hogares, áreas comerciales u oficinas, y que contienen productos utilizados en la limpieza de ropa o áreas internas, higiene y aseo personal, las cuales son denominadas aguas grises, mientras que las que contienen desechos orgánicos, grasas, aceites, desechos fecales y orina se definen como aguas negras. Muchos países, incluyendo Venezuela, tanto las aguas grises como las aguas negras se mezclan debido a que la infraestructura de desagües no está diseñada para disponerla a los servicio cloacales de forma separada [6].

En Venezuela, el tratamiento de las aguas residuales constituye uno de los grandes problemas ambientales que se confronta, ya que se estima que para el año 2018, menos del 25% de las aguas contaminadas fueron debidamente tratadas. En el caso de Caracas, la mayor concentración urbana del país, existen muy pocas plantas de tratamiento de aguas residuales, las cuales son vertidas en la cuenca del Río Tuy, que luego desemboca en el Mar Caribe [7].

Los países de América Latina y el Caribe han experimentado en la última década un fuerte cambio en su relación al uso y disposición de los recursos hídricos mediante una creciente modernización de los marcos normativos de este sector, que en muchos casos eran inexistentes u obsoletos [8].

En el caso de Venezuela existen marcos normativos, definidos en la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela del año 2000, la Ley Penal del Ambiente del 2012, así como en la Ley del Agua del 2007 y su Reglamento 2018 y de la Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua de Vertidos y Efluentes Líquidos de 1995, donde se regula y se hace referencia a la protección y conservación del ambiente, y se establecen los delitos contra este en cuanto a su degradación, envenenamiento, contaminación de cuerpos de aguas, e incentiva el uso de tecnologías más limpias para minimizar la generación de efluentes líquidos contaminantes y propone un sistema de clasificación y tratamiento de aguas residuales dependiendo su uso [9].

La composición de las aguas residuales domésticas en la actualidad no presentan los mismos parámetros de contaminación que en décadas anteriores, debido a la entrada de nuevos productos como detergentes, desinfectantes, productos de limpieza, aseo personal y doméstico entre otros, requieren de nuevos tratamientos de saneamiento [8].

En los últimos años, el aumento de la conciencia de que el tratamiento del agua residual es de importancia vital para evitar o reducir la contaminación ambiental, se están desarrollando en las diferentes áreas de investigación, la implementación de nuevos sistemas de tratamientos que combinen una alta eficiencia a bajos costos de construcción, operación y mantenimiento [10].

Por consiguiente los sistemas de tratamiento de aguas residuales está siendo el medio más utilizado para mitigar los impactos ambientales de las aguas residuales domésticas [2]. Para el caso de países en desarrollo que enfrentan grandes problemas de saneamiento y pocos recursos, se requieren plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas apropiadas y sostenibles. La localización geográfica de estos países, permite la implementación de tratamientos de bajo costo, que generan subproductos con valor agregado como bioenergía, producción de

nutrientes y agua para reúso en especial en labores agrícolas [11].

Este trabajo tiene como objetivo presentar el impacto que genera en el ambiente y la salud humana, la disposición de las aguas residuales urbanas de uso doméstico, y describir las diferentes alternativas de Tecnologías Limpias que pueden ser utilizadas para el tratamiento de estas aguas, que sirvan como un esquema de sostenibilidad en el uso eficiente del recurso y que promueva un crecimiento económico que apunte a un desarrollo humano sostenible de sus ciudadanos, más justo y equitativo.

## II. DESARROLLO

### 2.1. Descripción de las Aguas Residuales Urbanas de Uso Doméstico.

Las aguas residuales domésticas son el resultado de actividades humanas, que proceden de la disposición de los desecho en el hogar, de los lavados y de la actividad general de las viviendas en la que principalmente se encuentran residuos orgánicos en especial las grasas, productos de higiene y cuidado personal, detergentes y productos inorgánicos como sosa caustica, lejía, amoníaco, insecticidas, y medicamentos, entre otros, que son descargados en ríos, riachuelos, lagos o directamente al mar sin un tratamiento adecuado [12].

Un elemento importante que hay que resaltar es la presencia de orina y materia fecal en aguas residuales, que pueden contener organismos patógenos, en la que por su exposición a ella o consumo accidental es fuente de enfermedades infecciosas, gastrointestinales y dérmicas, particularmente de mortalidad, en especial la infantil. Por otro lado estas aguas residuales urbanas también pueden contener sustancias tóxicas o emergentes, que constituyen una mayor amenaza para la salud pública en el largo plazo y ser de más difícil manejo que el riesgo causado por agentes patógenos [11].

Un indicador que mide el grado de sostenibilidad del uso del agua es el índice de seguridad hídrica que se define como la provisión confiable de agua cuantitativa y cualitativamente aceptable para la salud, la producción de bienes y servicios y los medios de subsistencia, junto con un nivel aceptable de riesgos relacionados con el agua. En el caso de Venezuela se puede afirmar que el deterioro de la seguridad hídrica es un problema ambiental de importancia debido a la escasez de agua en las regiones de mayor densidad poblacional, así como la acelerada contaminación de

los cuerpos de aguas por no haber una gestión y control del uso y disposición del recurso [13].

Según informe de la ONU, en el año 2018 el porcentaje de tratamiento de aguas residuales en países en desarrollo ronda el 20% y en América Latina es de aproximadamente el 30%. Datos del Banco Mundial indican que para el 2017, Chile se sitúa entre los países latinoamericanos con mayor cobertura de tratamiento de aguas residuales domésticas (72%), le sigue Uruguay (44%), México (42%), Perú (39%) y Brasil (38%) [4].

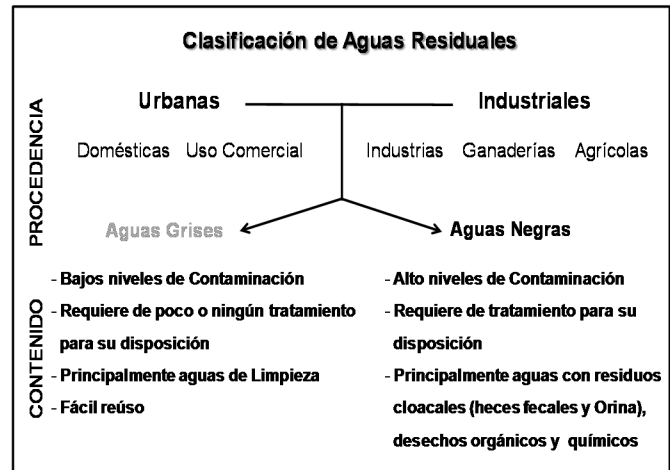
Es importante resaltar que los altos costos de producción del agua para consumo humano, tanto en su generación, distribución, mantenimiento, potabilización y saneamiento, están siendo impactados por el crecimiento de la demanda de agua depurada que sea química y biológicamente pura para un creciente uso en procesos industriales. Por consiguiente esto requiere de un mayor esfuerzo para el tratamiento de las aguas residuales principalmente residenciales para intensificar su reúso y así satisfacer la demanda, disminuir los costos de agua potable, y rentabilizar las propuestas de usos de tecnologías limpias para incrementar la disponibilidad del acceso del agua en los diferentes procesos, industriales, agrícolas, y de uso urbano o doméstico [5].

Por consiguiente, se deben de tomar acciones para remediar de manera oportuna el problema del impacto ambiental que conlleva la falta de tratamiento de las aguas residuales, para así desarrollar un esquema de sustentabilidad en el uso del agua, reduciendo o eliminando la carga de agentes contaminantes para garantizar un ciclo del uso del agua más eficiente, reduciendo sus costos del proceso de generación y distribución y así lograr un desarrollo humano de sus ciudadanos en línea a un desarrollo sostenible de las comunidades.

## 2.2. Problemas Ambientales generados por la disposición de Aguas Residuales Urbanas de Uso Doméstico.

Un aspecto común de las aguas residuales urbanas o denominadas aguas domésticas, principalmente generadas por residencias, instituciones y locales comerciales, es el gran consumo de agua para la limpieza diaria, que genera descargas, que se denominan aguas grises, con un importante grado de toxicidad de productos de limpieza doméstica en general, usados en el lavado de ropa y utensilios, aseo del hogar e higiene personal. Por otro lado existen las

llamadas aguas negras, que contienen principalmente material orgánico como grasas y aceites, sólidos en suspensión, y materia fecal. En la “Figura 1” se clasifican las aguas residuales según su procedencia y contenido [14].



**Figura 1:** Clasificación de Aguas Residuales según Metcalf & Eddy [14]. **Fuente:** Elaboración Propia

Con el creciente consumo de productos de limpieza en el hogar, se han ido introduciendo al mercado nuevos productos de origen sintéticos que contienen compuestos químicos activos, difíciles de degradar biológicamente de manera rápida y definitiva en el ambiente. Este proceso en la actualidad, está provocando acumulaciones de estos elementos contaminantes en los diferentes cuerpos de aguas como ríos, lagunas y mares. Estos elementos, principalmente a base de fosfatos, reducen la solubilidad del oxígeno en el agua, elemento básico en la vida de los sistemas acuíferos, fundamental en el proceso de auto-limpieza de las aguas y que provocan daños severos por acción directa en los seres vivos presentes en los cuerpos de aguas [15].

Otras formas de contaminación que producen las aguas residuales domésticas son por el vertido de material orgánico, sólidos disueltos y en suspensión, grasas y aceites, principalmente por el procesamiento y cocción de alimentos. Esta materia orgánica acelera el crecimiento de organismos que pueden producir la eutrofización o enriquecimiento de nutrientes en el agua y que en el proceso de degradación consumen el suministro de oxígeno disuelto [16]. En la “Tabla I” se detalla una lista de contaminantes del agua y el efecto en el ambiente [6].

**Tabla I:** Principales grupos de contaminantes del agua y sus efectos [6]

ANÁLISIS PRINCIPAL	CONTAMINANTE CONSIDERADO	EFEECTO
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO)	Materia orgánica biodegradable	Disminución del oxígeno disuelto en cuerpo receptor. Crecimiento de microorganismos.
Demanda química de oxígeno (DQO) o Carbón orgánico total (COT)	Materia orgánica total	Mismos que DBO. Acumulación en cuerpo receptor. Riesgos de toxicidad.
Sólidos suspendidos totales (SST) Volátiles (SSV) y fijos (SSF)	Materia en suspensión sedimentable y no sedimentable (coloidal).	Sedimentación y azolvamientos en cuerpos receptores. Digestión y liberación de materia orgánica e inorgánica.
Nitrógeno total Kjeldhal (NTK), nitratos y nitritos (NO <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> ), fósforo total (Pt), ortofosfatos (PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> )	Nitrógeno y fósforo	Nutrientes que provocan eutrofización en cuerpos de agua. Contaminación de acuíferos.
Grasas y aceites	Grasas y aceites	Acumulación en drenajes y cuerpos de agua. Reducen la transferencia de oxígeno a los cuerpos de agua. Flotación de lodos.
Sólidos Disueltos Totales (SDT)	Sales inorgánicas	Restringen el uso de agua tratada
Coliformes fecales y huevos de helmintos	Patógenos y parásitos	Transmisión de enfermedades gastrointestinales

Finalmente, se debe de agregar el problema ambiental que provoca sobre la salud humana, la contaminación microbiológica de las aguas residuales domésticas sobre los cuerpos de aguas, causada por microorganismos patógenos provenientes de las heces fecales y de la orina humana o animal tales como bacterias, virus, protozoos y muy frecuente los helmintos o lombrices [17].

Los cuerpos de aguas contaminados por patógenos provenientes de heces fecales, son causantes del síndrome diarreico, que según la OMS provoca las enfermedades más graves transmitidas por el agua y prevalece en numerosos países en los que el tratamiento de las aguas residuales es inadecuado, donde el patógeno puede penetrar en un nuevo hospedador, que al consumirla pueden provocar cólera, fiebre tifoidea, disenterías, poliomielitis, hepatitis y salmonelosis, entre otras enfermedades [17].

### 2.3. Aplicación de Tecnologías Limpias en el tratamiento de aguas residuales urbanas de uso doméstico en reducir o eliminar el impacto en los cuerpos de agua.

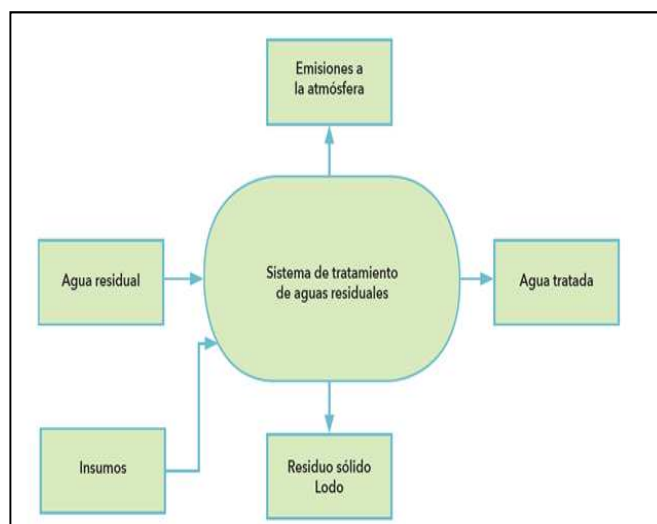
En los últimos años, gobiernos en América Latina como es el caso de Chile, Brasil y Colombia y su

comunidad científica, muestran un creciente interés por el tratamiento de aguas residuales domésticas, principalmente debido a la creciente escasez de agua potable y muy importantemente para evitar los graves problemas de salud pública y deterioro ambiental causados por el riesgo de contaminación de acuíferos, ríos y lagos [18].

Por este motivo existe un importante incremento del uso de tecnologías limpias aplicadas a plantas de tratamiento de aguas residuales, que han sido el medio más utilizado para mitigar y reducir los impactos ambientales por el vertimiento sin tratar de estas aguas.

Un elemento que favorece el tratamiento de estas aguas domésticas es que son más homogéneas en su composición, dentro de ciertos límites. Esto permite efectuar diseños confiables de plantas de tratamiento con indicadores muy simples como, el número de pobladores, su suministro de agua y la proyección de crecimiento [6].

A continuación se presenta en la “Figura 2” un esquema conceptual básico, donde el proceso se reduce a un sistema central de tratamiento de aguas residuales, con sus respectivos flujos de agua residual entrante y agua tratada saliente, y los elementos básicos de insumos requeridos para el tratamiento, y los residuos que esta produce como los lodos y las emisiones de ciertos gases a la atmósfera [6].

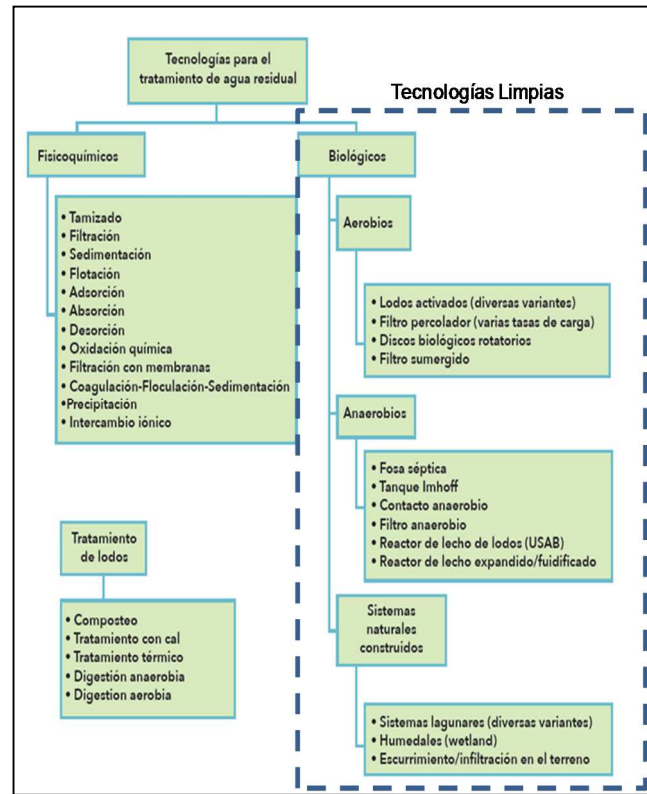


**Figura 2:** Esquema de un sistema básico de tratamiento de aguas residuales [6]

Este esquema básico de tratamiento de aguas residuales se desarrolla mediante un sistema de separación, reducción o degradación del agente contaminante, y los métodos de tratamiento que se accionan en cada proceso pueden ser fisicoquímicos o biológicos tal como se detalla en la siguiente “Tabla II” [6].

**Tabla II:** Procesos en el Tratamiento de Aguas Residuales Urbanas [6]

Tratamiento	Descripción
<b>Fisicoquímico</b>	Uso de los procesos: > <b>Físicos</b> como gravedad, filtración por retención física, atracción electrostática, etc.) > <b>Químicos</b> (coagulación, absorción, oxidación, precipitación, etc.).
<b>Biológicos</b>	Transformación del material orgánico por medio de microorganismos. Dentro de los sistemas biológicos existen: > <b>Sistemas Aerobios</b> (requieren oxígeno molecular disuelto) > <b>Sistema Anaerobios</b> (funcionan sin oxígeno)



**Figura 3:** Clasificación de los Procesos de Tratamiento de Aguas Residuales [6]

En los sistemas fisicoquímicos existe un proceso de separación entre las partículas y el agua, por medio de sedimentación, flotación o el uso de productos químicos que forman partículas de mayor densidad y produce la separación por medio de filtros [11].

En la “Figura 3” se presenta un resumen de las distintas tecnologías para el tratamiento de aguas residuales que se aplican con diferentes procesos fisicoquímicos y biológicos mediante la separación, reducción o desintegración del agente contaminante [6].

El tratamiento de aguas residuales puede ser clasificado por niveles, por operaciones y procesos, por grado de complejidad y tratamiento.

Los sistemas naturales o biológicos están surgiendo como alternativas de Tecnologías Limpias de tratamiento de aguas residuales por su gran eficiencia, bajos costos y fáciles de operar los cuales se detallan en la “Figura 3” [11].

Por otro lado, los sistemas biológicos se fundamentan en procesos naturales que suceden en el ambiente, en la que los microorganismos presentes, transforman los residuos orgánicos en un nuevo material que pueda ser removido de manera natural o por sedimentación, desarrollándose de forma aeróbica o anaeróbica dependiendo de las exigencias de oxígeno. La “Tabla III” se detalla para cada nivel de tratamiento, el mecanismo predominante así como el tipo de contaminante removido [11].

**Tabla III.** Características de los principales niveles de tratamiento [11]

Nivel de tratamiento	ÍTEM	
	Mecanismos predominantes	Contaminantes removidos
Preliminar	Físico	Sólidos gruesos(basura, arenas) Grasas Acondicionamiento químico (pH)
Primario	Físico	Sólidos suspendidos sedimentables Materia orgánica suspendida (parcialmente)
Primario avanzado	Físico y químico	Sólidos suspendidos sedimentables y no sedimentables Materia orgánica suspendida (parcialmente) Fósforo
Secundario	Biológico o químico	Sólidos no sedimentables Materia orgánica suspendida fina/soluble (parcialmente) Nutrientes (parcialmente) Patógenos (parcialmente)
Terciario	Biológico o químico	Contaminantes específicos Materia orgánica fina y soluble (pulimento) Nutrientes Patógenos (principalmente)

En la “Tabla IV” se describen las principales soluciones de tecnologías limpias de tratamiento de aguas residuales urbanas, clasificadas por el nivel de inversión requerido.

**Tabla IV.** Principales Tecnologías Limpias para el tratamiento de aguas residuales urbanas

Tipo de Tecnología Limpia	Descripción y Uso
Bajo Costo	<b>Humedales Artificiales</b> Superficies extensas construidas por el hombre y que se encuentran cubiertas de agua para un tratamiento básico de contaminantes.
	<b>Macrófitas Acuáticas</b> Conjunto de plantas especiales denominadas macrófitas acuáticas flotantes que crecen en suelos saturados de agua y remueven los contaminantes presentes en las aguas residuales mediante una asimilación directa dentro de sus tejidos
	<b>Sistemas de Lagunas Algales</b> Este modelo consiste en la presencia de microalgas, que mediante un proceso de alta tasa de fotosíntesis, para degradar los residuos orgánicos e inorgánicos presentes en las aguas residuales
Alta Inversión	<b>Filtración por Membrana</b> Procesos de separación mediante el uso de membranas semi-permeable y la aplicación de presión como fuerza impulsora
	<b>Bioreactores de Membrana</b> Filtración que combina el tratamiento biológico del agua por fangos activos con un proceso de separación sólido-líquido mediante una membrana física.
	<b>Células de Combustibles Microbianas</b> Proceso que utiliza microorganismos para convertir la energía química presente en un sustrato en energía eléctrica, degradando la materia orgánica representada como sustrato o combustible
	<b>Filtración por Nanotecnología</b> Permite la separación de sustancias orgánicas, microorganismos y algunas sales polivalentes mediante la aplicación de presiones elevadas sobre una membrana

**Fuente:** Elaboración propia

Entre las soluciones de tecnologías limpias de sistemas naturales o biológicos más utilizados y accesibles por su bajo costo, de empleo en áreas tanto urbanas como rurales, se destacan:

#### A. Humedales Artificiales

Un sistema de humedales artificiales o también llamados bio-filtros, consiste en superficies extensas construidas por el hombre y que se encuentran cubiertas de agua para un tratamiento básico de contaminantes. En estos humedales se desarrolla un

proceso de transformación biológica y metabólica mediante la generación de sedimentación, filtración, precipitación química y absorción, lo que resulta en una degradación y almacenamiento en la vegetación presente, y que produce una disminución de la carga orgánica y de los nutrientes presentes [19]. Estos sistemas se caracterizan como un método fácil de implementar, de bajo costo de mantenimiento y apropiado para zonas donde la instalación de una red de alcantarillado no es viable [20].

En el humedal artificial se desarrolla el proceso de fitorremediación que dispone los compuestos presentes en los desechos líquidos, los cuales son absorbidos y posteriormente metabolizados por plantas, que crecen sobre un sustrato que a su vez, en las raíces se crea una interfaz facilitadora del crecimiento de microorganismos, acelerando la degradación de compuestos que la planta por sí sola no podría consumir [20].

#### B. *Macrófitas Acuáticas*

Similar a los humedales artificiales, existe una alternativa de sistema biológico o natural, basado en un conjunto de plantas especiales denominadas macrófitas acuáticas flotantes que crecen en suelos saturados de agua y que mediante una compleja variedad de procesos biológicos, físicos y químicos, estas plantas remueven los contaminantes presentes en las aguas residuales mediante una asimilación directa dentro de sus tejidos, y generan un ambiente propicio para que los microorganismos transformen los contaminantes y reduzcan sus concentraciones [21].

Las plantas macrófitas se caracterizan por ser un tipo de vegetación acuática que se encuentran adheridas a los fondos de estanques y cuerpos de aguas, presenta la yema de renuevo bajo tierra, resisten la sequía de verano. Estas plantas sirven para purificar el agua de forma totalmente ecológica y natural mediante bacterias microbianas que se ubican en sus raíces, y pueden ser utilizadas como alimento para ganado, peces y animales acuáticos, así como fertilizante, uso medicinal o cosmetología, para la producción de celulosa e incluso, como producción de biogás [22].

Los tratamientos de aguas residuales mediante el uso de macrófitas flotantes han demostrado ser eficientes en la remediación de aguas con contenidos de nutrientes, materia orgánica y sustancias tóxicas como arsénico, zinc, cadmio, cobre, plomo, cromo, y mercurio. Se recomienda su uso en zonas rurales

debido a su bajo consumo de energía convencional, su instalación y operación es muy sencillo [23].

#### C. *Sistemas de Lagunas Algas*

Este modelo consiste en la presencia de microalgas que se localizan en los sistemas naturales de tratamiento de aguas residuales municipales, que mediante un proceso de alta tasa de fotosíntesis, se genera una agregado de oxígeno, que es utilizado por los microorganismos heterótrofos para degradar los residuos orgánicos por medio de la oxidación, y por otro lado se utiliza el proceso de fotólisis para degradar los compuestos inorgánicos [24].

De esta manera se diseñan las lagunas algales de oxidación y estabilización como una tecnología limpia que también se utiliza para la producción de biocombustibles, biomasa algal para alimentación animal, fabricación de productos farmacéuticos, así como la captura y reducción del dióxido de carbono atmosférico [24].

### III. CONCLUSIONES

La sostenibilidad del uso del agua nos advierte que debemos tomar medidas más aceleradas y definitivas en la preservación de este recurso vital para la vida del planeta, disminuyendo o eliminando sus fuentes de contaminación para así garantizar, un desarrollo humano más digno, utilizando las herramientas y soluciones más adecuadas con tecnologías limpias, que ayuden a minimizar o eliminar los impactos ambientales en disposición de aguas residuales domésticas contaminadas.

Las tecnologías limpias que están disponibles para el tratamiento de aguas residuales están siendo implementadas en países de la región Latinoamericana, como Brasil, Chile, Colombia y México, probando su eficacia y demostrando que estas inversiones son muy rentables, pueden ser implementadas tanto en centros urbanos como rurales, y son generadoras de empleos.

En el mercado internacional existen una variedad de soluciones para el tratamiento de aguas residuales urbanas, siendo un área de oportunidad para el crecimiento de pequeñas y medianas empresas, que puedan desarrollar negocios rentables, con una importante generación de empleo y el uso de nuevas tecnologías de innovación.

En Venezuela, los niveles de tratamiento de las aguas residuales domésticas se encuentra entre los más bajos en Latinoamérica. Sin embargo existe un amplio marco



legal, que regula todo el proceso de conservación y buen uso de los cuerpos de aguas nacionales. Se deben establecer políticas públicas claras con la integración del Estado, las comunidades y las empresas, para poner en ejecución los procesos de gestión, supervisión y control en la disposición de las aguas residuales urbanas, para asegurar así la calidad y sostenibilidad de las cuencas productoras de aguas de todo el país.

El rol del Estado no es sólo de promulgar leyes pero importantemente de cumplirlas y hacerlas cumplir. Es aquí donde las comunidades juegan un rol fundamental de revisar el cumplimiento de las normativas para garantizar que las disposiciones legales dejen ser una excelente propuesta de conservación y se conviertan en un instrumento que vigile y garantice el mejor mantenimiento de las fuentes y cuerpos de aguas del país y se garantice su sostenibilidad.

Finalmente, una visión de desarrollo de un país no está centrado solamente en su PIB o exclusivamente en un crecimiento económico, debe ser una visión basada en las capacidades que pueda desarrollar cada persona o comunidad y en las oportunidades que se les ofrecen para hacerlo. Es en definitiva, entender que el desarrollo humano de un país es el eje promotor que impulsará su crecimiento, que mejorará las condiciones de vida y encontrará el camino adecuado para que la presente generación y las futuras podamos disfrutar un planeta único, con mejor calidad de vida.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] UNESCO, *Informe Mundial sobre Desarrollo de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas. Aguas residuales el recurso desaprovechado*, <https://www.cepal.org/es/notas/informe-mundial-desarrollo-recursos-hidricos-naciones-unidas-aguas-servidas-recurso>, Abril 2017.
- [2] V. Abello, E. Muñoz, S. Lira y E. Garrido, *Evaluación de eficiencia de tecnologías de tratamiento de aguas residuales domésticas en Chile*, Tecnología y ciencias del agua, vol. 11, no. 2, pp. 190-228, Febrero 2020.
- [3] M. Hantke y A. Jouravlev, *Lineamientos de Política Pública para el Sector de Agua Potable y Saneamiento*, Cepal, Junio 2011.
- [4] D. Rodríguez, H. Serrano, A. Delgado, D. Nolasco and G. Saltiel, *From Waste to Resource Shifting paradigms for smarter wastewater interventions in Latin America and the Caribbean*, World Bank Group, 2020.
- [5] OMS, *Informe PCM sobre el Acceso a Agua Potable y Saneamiento: Datos Esenciales*, [http://www.who.int/Water\\_Sanitation\\_Health/Monitoring/Jmp-2015-Key-Facts/Es/](http://www.who.int/Water_Sanitation_Health/Monitoring/Jmp-2015-Key-Facts/Es/), 2015.
- [6] A. Noyola, J. Morgan y L. Güereca, *Selección de Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales*, Universidad Nacional Autónoma de México, 2013.
- [7] Vitalis, <http://www.vitalis.net/>
- [8] M. Hantke, *Avances Legislativos en Gestión Sostenible y Descentralizada del Agua en América Latina*, Cepal, Noviembre 2011.
- [9] CEPAL, *Seminario internacional "Rol del regulador de agua potable y saneamiento en el siglo XXI: retos y oportunidades"*, <https://www.cepal.org/es/publicaciones/3776-seminario-internacional-rol-regulador-agua-potable-saneamiento-siglo-xxi-retos>, Julio 2010.
- [10] P. Torres, *Tendencias en el Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas, Ingeniería y Competitividad*, vol. 3, no. 1, pp. 35-42, Junio 2001.
- [11] P. Torres, *Perspectivas del Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales Domésticas en Países en Desarrollo*, Revista EIA, vol. 18, pp. 115-129, Diciembre 2012.
- [12] G. Palta y S. Morales, *Fitodepuración de Aguas Residuales Domésticas con Poaceas: Brachiaria Mutica, Pennisetum Purpureum y Panicum Maximun, en el Municipio de Popayán, Cauca*, Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, vol. 11, no. 2, pp. 57-65, Julio 2013.
- [13] Red ARA, *Aporte para un Diagnóstico de la Problemática Ambiental en Venezuela*. <https://www.civilisac.org/civilis/wp-content/uploads/aportes-para-un-diagn3b3stico-ambiental-red-ara-2011-1.pdf>, 2011.
- [14] Metcalf and Eddy, *Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento, Vertido y Reutilización*, Mcgraw Hill, USA, 1998.
- [15] Tratagua Dalag, *Tratamiento de Aguas Residuales, Fitorremediación, Escuela Superior Politecnica El Chimporazo*. Buenos Aires Argentina. 2013. <https://www.academia.edu/9746672/Tratamientodeaguasresiduales-fitorremediacion-120214085452-phpapp02>
- [16] PAHO, *Determinación de La Relación DQO/DBO5 en Aguas Residuales de Comunas con Población menor a 25.000 Habitantes en La VIII Región. Paho. Santiago De Chile 2013* [Http://www.Bvsde.Paho.Org/Bvsaidis/Chile13/Trab-12.Pdf](http://www.Bvsde.Paho.Org/Bvsaidis/Chile13/Trab-12.Pdf)
- [17] FUSDA. *Panorama Global de la Escasez del Agua*. [Http://www.Argenbio.Org/Index.Php?Action=Novedades&Note=199](http://www.Argenbio.Org/Index.Php?Action=Novedades&Note=199)
- [18] P. Torres, *Impacto de la Incorporación de Lixiviados en el Arranque de Reactores Anaerobios al Tratar Aguas Residuales Domésticas*, Ingeniería y Universidad, vol. 14, no. 2, pp. 313-326, Julio 2010.
- [19] A. Gómez, J. Ramos, L. Molina y G. López, *Remoción de Contaminantes Básicos en Aguas Residuales Domésticas Mediante Humedales Artificiales con Vegetación Cyperus Articulatus (Chintul)*, Academia Journals, vol. 10, no. 4, pp. 976-980, Mayo 2018.
- [20] A. Ramos, J. Prieto, D. Cárdenas y M. Bernal, *Implementación de un Sistema de Fitorremediación en Zona Aledaña a Reserva Forestal Protectora El Malmo, Boyacá, Colombia*, Revista de Investigación Agraria y Ambiental, vol. 7, no.1, Enero 2016.
- [21] M. Peña, M. Van Ginneken y C. Madera, *Humedales de Flujo Subsuperficial: Una Alternativa Natural para el Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas en Zonas Tropicales*, Ingeniería y Competitividad, vol. 5, no. 1, pp. 27-35, Octubre 2003.
- [22] A. Castañeda y H. Flores, *Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas Mediante Plantas Macrófitas Típicas en Los Altos de Jalisco, México*, Paakat: Revista de Tecnología y Sociedad, "innovación y difusión de la tecnología", vol. 3, no. 5, pp. 1-13, Septiembre 2013.

- [23] J. Martelo y J. Lara, *Macrófitas Flotantes en el Tratamiento de Aguas Residuales: Una Revisión del Estado del Arte*, *Ingeniería y Ciencias*, vol. 8, no. 15, pp. 221-243, Enero 2012.
- [24] V. Cerón, C. Madera y M. Peña, *Uso de Lagunas Algales de Alta Tasa Para Tratamiento de Aguas Residuales*, *Ingeniería y Desarrollo*, vol. 33, no. 1, pp. 98-125, Enero 2015.