



**El Colegio de la Frontera Sur  
Université de Sherbrooke**

**Alternativas sostenibles de colección y tratamiento de aguas  
residuales en países insulares de alto desarrollo turístico en el Caribe**

**TESINA**

**Presentada como requisito parcial para optar al grado de  
Maestría Profesionalizante en Ecología Internacional**

**por**

**Paulina Alejandra Deseano Díaz**

**2016**

## **AGRADECIMIENTOS**

Primeramente quiero agradecer a la Dra. Teresa Álvarez Legorreta que durante más de un año me guió acertada y pacientemente a través de dos importantes proyectos. A la Ing. Adriana Zavala Mendoza por enseñarme un trabajo en el laboratorio más riguroso y efectivo y al Q.F.B Alejandro Ortíz Arana por toda su ayuda dentro y fuera del lugar de trabajo. A ellos agradezco su amabilidad y paciencia.

Agradezco el apoyo y seguimiento constante de las personas a cargo de la coordinación del programa durante estos dos años. También agradezco las enseñanzas y nuevas experiencias brindadas por mis profesores en El Colegio de la Frontera Sur y en la Université de Sherbrooke. Gracias por darme tan buenas herramientas para mi futuro desenvolvimiento.

Realizar este posgrado no hubiera sido posible sin las becas otorgadas por el Consejo de Ciencia y Tecnología y por el gobierno de Canadá. Gracias por esta gran oportunidad.

También quiero reconocer la solidaridad y amistad que me brindaron mis compañeros de generación con los que pasé momentos de gran gozo y momentos de aprendizaje y crecimiento. Finalmente, agradezco haber contado con el apoyo de mi familia sin el que no estaría culminando una etapa más en mi vida profesional.

## RESUMEN

El saneamiento y el manejo de las aguas residuales son temas recurrentes en las agendas nacional e internacional desde hace ya varias décadas. A pesar de la gran atención prestada, la gran cantidad de recursos utilizados para su mejoramiento y el número de gobiernos e instituciones involucradas, la mayor parte de las aguas residuales en el Caribe llegan a cuerpos receptores de agua sin tratamiento y una gran porción de la población no tiene acceso a instalaciones sanitarias mejoradas. Una numerosa población urbana que no para de crecer, altos índices de pobreza, la falta de mecanismos de aplicación de leyes y normas, además de una limitada capacidad institucional son los principales obstáculos para lograr un manejo de aguas residuales y un saneamiento adecuados en Las Bahamas, Cuba, Haití, Jamaica y Puerto Rico. Actualmente, se ha abogado por un cambio de enfoque de un manejo centralizado y con gran consumo de agua hacia uno más sostenible, descentralizado y con menor uso de recursos para lograr una cobertura total y mitigar los daños a la salud humana y a los ecosistemas producidos por la contaminación con aguas residuales. En los últimos años, se han propuesto diversos sistemas de colección y tratamiento de aguas residuales como respuesta a este cambio de enfoque y se han implementado con éxito en varias regiones del mundo, sin embargo, su impacto ha sido local. Este documento presenta seis sistemas sostenibles de saneamiento que los países en desarrollo en el Caribe deben comenzar a considerar para abordar la problemática siempre presente del manejo de las aguas residuales.

Palabras clave: saneamiento, tratamiento centralizado, tratamiento descentralizado, saneamiento seco, saneamiento ecológico, reuso.

## SOMMAIRE

L'assainissement et la gestion des eaux usées sont des sujets présents dans les plans d'action nationaux et internationaux depuis déjà quelques décennies. Malgré la grande attention posée sur ces sujets, les ressources utilisées afin de les rendre effectifs et le nombre de gouvernements et d'institutions impliqués, la plupart des eaux usées produites aux Caraïbes sont déversées dans les rivières et dans la mer sans aucun traitement. De plus, une grande portion de la population n'a pas accès aux installations sanitaires améliorées. Une population urbaine qui croît de façon accélérée, la pauvreté, le manque de mécanismes d'application de lois et de normes, et une capacité institutionnelle limitée sont quelques obstacles pour arriver à une gestion des eaux usées et un assainissement appropriés aux Bahamas, au Cuba, au Haïti, en Jamaïque et à Puerto Rico. Aujourd'hui, on préconise le changement de paradigme d'assainissement d'un system centralisé et avec une grande consommation d'eau vers un autre plus durable, décentralisé et avec un usage rationnel de ressources dans le but d'arriver à une couverture en assainissement totale et de mitiger les impacts à la santé humaine et aux écosystèmes produits par la contamination avec eaux usées. Récemment, différent systèmes de collection et traitement des eaux usées ont été proposés à partir de cet changement et ils ont été mis en application avec succès dans plusieurs régions du monde. Cependant, sa portée a été seulement locale. Ce document présente six systèmes durables d'assainissement que les pays en développement aux Caraïbes doivent commencer à considérer pour aborder la problématique que la gestion des eaux usées entraine présentement.

Mots clés: assainissement, traitement centralisé, traitement décentralisé, assainissement sec, assainissement écologique, réutilisation.

## Tabla de contenido

AGRADECIMIENTOS .....	ii
RESUMEN .....	iii
SOMMAIRE .....	iv
ÍNDICE.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
LISTA DE FIGURAS Y CUADROS .....	vii
GLOSARIO .....	viii
LISTA DE ABREVIACIONES Y ACRÓNIMOS.....	ix
INTRODUCCIÓN .....	1
Capítulo I. Situación actual del saneamiento en las islas del Caribe.....	3
1.1 Conceptos relacionados con el saneamiento.....	3
1.2 Situación actual del saneamiento y el tratamiento de aguas residuales en el mundo.....	4
1.3 Situación actual del saneamiento y el tratamiento de aguas residuales en el Caribe.....	7
1.4 Legislación vigente sobre el saneamiento y la calidad del agua en el Caribe .....	12
1.5 Implicaciones del manejo inadecuado de las aguas residuales para zonas costeras del Caribe.....	16
1.5.1 Fuentes y volúmenes de la contaminación marina .....	16
1.5.2 Causas y consecuencias de un manejo inadecuado de las aguas residuales en el Caribe.....	18
Capítulo II. Análisis socioeconómico, cultural, ecológico y científico-tecnológico de las islas del Caribe .....	22
2.1 Características físicas, climatológicas e hidrológicas .....	22
2.1.1 Geografía y clima.....	22
2.1.2 Características marinas .....	24
2.1.3 Fenómenos climáticos .....	25
2.1.4 Fuentes de agua dulce .....	26
2.2 Características socioculturales .....	28
2.3 Características económicas .....	30
2.3.1 Actividades económicas .....	31
2.3.2 Crecimiento económico y PIB.....	32
2.4 Factores medioambientales .....	34
2.4.1 Estructura y funcionamiento de los ecosistemas marinos y costero .....	34
2.4.2 Esfuerzos actuales de conservación.....	36
2.5 Aspectos científico-tecnológicos.....	38
2.6 El saneamiento en el Caribe en un contexto internacional .....	39
Capítulo III. Introducción a las alternativas de colección y tratamiento de aguas residuales para el Caribe .....	42
3.1 Los paradigmas del saneamiento.....	42

3.1.1 Tratamiento centralizado y descentralizado de aguas residuales .....	43
3.1.2 Saneamiento seco .....	45
3.1.3 Saneamiento ecológico .....	47
3.2 Las aguas residuales como recurso .....	49
3.3 Elaboración de un plan de manejo de aguas residuales .....	51
3.3.1 Análisis de la demanda, educación y participación comunitaria .....	52
3.3.2 Comparación de tecnologías de colección y tratamiento de aguas residuales ...	54
3.3.3 Análisis técnico, económico, social y ambiental de las opciones de saneamiento .....	56
3.3.4 Metodologías para la elaboración de planes de manejo de aguas residuales ....	58
3.3.5 Reconsiderando las opciones de saneamiento ante un escenario de cambio climático .....	61
Capítulo IV. Sistemas sostenibles de colección y tratamiento de aguas residuales para el Caribe .....	64
4.1 Tecnologías sostenibles de colección y tratamiento de aguas residuales .....	64
4.1.1 Inodoro seco, desviador de orina, de baja descarga y mingitorio .....	64
4.1.2 Letrina de pozo simple, letrina mejorada de pozo ventilado y letrina de doble pozo .....	65
4.1.3 Fossa Alterna, cámara de compostaje, cámara de deshidratación y Arborloo....	66
4.1.4 Alcantarillado libre de sólidos, simplificado y condominial .....	68
4.1.5 Tanque séptico, ABR, filtro anaerobio y reactor de biogás .....	69
4.1.6 Humedales artificiales, lagunas de estabilización, lechos de secado y UASB ....	70
4.1.7 Estanque de peces y de plantas.....	72
4.2 Sistemas de colección y tratamiento de aguas residuales .....	73
4.2.1 Sistema de letrina de pozo .....	74
4.2.2 Sistema seco o de baja descarga sin producción de lodos.....	75
4.2.3 Sistema seco con desviación de orina.....	76
4.2.4 Sistema de producción de biogás.....	77
4.2.5 Sistema de tratamiento de aguas negras con transporte del efluente .....	77
4.2.6 Sistema de tratamiento descentralizado .....	78
4.3 El futuro del saneamiento en los países en desarrollo del Caribe .....	79
CONCLUSIONES .....	83
REFERENCIAS .....	86

## LISTA DE FIGURAS Y CUADROS

<b>Figura 1.1.</b> Porcentaje de la población con acceso a instalaciones sanitarias mejoradas.....	5
<b>Figura 1.2.</b> Porcentaje de aguas residuales no tratadas vertidas a cuerpos de agua dulce y salada por región.....	6
<b>Figura 2.1.</b> Dirección de las corrientes marinas en el mar Caribe en verano (izquierda) e invierno (derecha).....	24
<b>Figura 2.2.</b> Protección de los arrecifes de coral y nivel de manejo de las AMP en el Caribe.....	36
<b>Figura 3.1.</b> Elementos del Modelo de Gestión Integral del SSD.....	58
<b>Figura 4.1.</b> Sistema de letrina de pozo.....	74
<b>Figura 4.2.</b> Sistema seco o de baja descarga sin producción de lodos.....	75
<b>Figura 4.3.</b> Sistema seco con desviación de orina.....	76
<b>Figura 4.4.</b> Sistema de producción de biogás.....	77
<b>Figura 4.5.</b> Sistema de tratamiento de aguas negras con transporte del efluente.....	78
<b>Figura 4.6.</b> Sistema de tratamiento descentralizado.....	79
<b>Cuadro 1.1.</b> Porcentaje de la población urbana y rural utilizando instalaciones sanitarias mejoradas (M) y no mejoradas (NM) en cinco países del Caribe.....	8
<b>Cuadro 1.2.</b> Deficiencias de la legislación ambiental y de saneamiento en ALC.....	15
<b>Cuadro 1.3.</b> Carga de DBO, SST, NT, PT y grasas y aceites (ton/año) en el Caribe...	17
<b>Cuadro 1.4.</b> Causas y consecuencias sociales, económicas, políticas, científico-tecnológicas y ambientales de un saneamiento y tratamiento de aguas residuales inadecuados en el Caribe.....	19
<b>Cuadro 2.1.</b> Recursos hídricos renovables per cápita, uso y extracción en el Caribe..	27
<b>Cuadro 2.2.</b> Estructura de edades en el Caribe.....	28
<b>Cuadro 2.3.</b> Parámetros poblaciones e indicadores sociales en el Caribe.....	29
<b>Cuadro 2.4.</b> Producto interno bruto nacional y aportaciones por sector económico.....	33
<b>Cuadro 2.5.</b> Estructura, servicios ambientales, amenazas y afectaciones a los ecosistemas costero-marinos en el Caribe.....	35
<b>Cuadro 2.6.</b> Número de AMP en el Caribe y el nivel de manejo.....	37
<b>Cuadro 2.7.</b> Marco de referencia internacional para la protección del medioambiente marino contra la contaminación de actividades terrestres.....	40
<b>Cuadro 3.1.</b> Ventajas y desventajas del saneamiento seco.....	47
<b>Cuadro 3.2.</b> Etapas de la estrategia Sanitation 21.....	60
<b>Cuadro 3.3.</b> Elementos de CLUES.....	61
<b>Cuadro 4.1.</b> Costo aproximado de las tecnologías de tratamiento de aguas residuales más utilizadas.....	73

## GLOSARIO

**Aguas grises:** agua utilizada para lavar alimentos, utensilios, ropa, etc. y el agua utilizada para aseo personal. El agua proveniente de diferentes partes de una casa excepto la de los inodoros.

**Aguas negras:** mezcla de orina, heces y agua de acarreamiento. También puede contener material seco de limpieza y agua de limpieza anal.

**Aguas residuales:** mezcla de agua, residuos procedentes de diversas actividades humanas y ocasionalmente, agua de lluvia, subterránea o superficial.

**Excretas:** mezcla de orina y heces.

**Índice de concentración de Gini:** medida de la concentración del ingreso entre los individuos de una región que toma valores entre 0 y 1, donde 0 representa la distribución del ingreso entre todos los individuos y 1 representa la concentración del ingreso en un solo individuo.

**Instalación de saneamiento mejorada:** infraestructura sanitaria que brinda protección a la salud humana y al ambiente.

**Periurbano:** zonas alrededor de ciudades o centros urbanos.

**Recursos hídricos renovables:** cantidad de agua disponible en una cuenca o área receptora determinada por el promedio de flujos de entrada menos el promedio de flujos de salida.

**Saneamiento:** disposición o reciclaje higiénicos de aguas residuales y desechos producto de diversas actividades humanas.

**Saneamiento a nivel de casa-habitación:** disposición o reciclaje higiénicos de aguas residuales y desechos producidos en un hogar.

**Servicios ambientales:** beneficios provenientes de los ecosistemas de los que se benefician las personas.

**Tratamiento de aguas residuales:** conjunto de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin la remoción de contaminantes en las aguas residuales.

**Tratamiento centralizado:** las aguas residuales de diversos orígenes son tratadas en un sitio alejado del de generación.

**Tratamiento descentralizado:** las aguas residuales de diversos orígenes son tratadas en el sitio de generación o en un sitio cercano.



## LISTA DE ABREVIACIONES Y ACRÓNIMOS

ABR	Reactor Anaerobio con Deflectores
ACV	Análisis de Ciclo de Vida
ALC	América Latina y el Caribe
AMP	Área Marina Protegida
CARSEA	Evaluación del Ecosistema en el Mar Caribe
CCD	Centro de Cooperación para el Desarrollo
CEPALSTAT	Estadísticas de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe
CLUES	Saneamiento Urbano Ambiental Dirigido por la Comunidad
CSD	Comisión sobre el Desarrollo Sostenible
DINEPA	Dirección Nacional de Agua Potable y Saneamiento
DWC	DecRen Water Consult
EcoSan	Saneamiento Ecológico
ENSO	El Niño-Oscilación Sur
EPA	Agencia de Protección al Medio Ambiente
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
GTEBH	Grupo de Trabajo Estatal para el Saneamiento, Conservación y Desarrollo de la Bahía de La Habana
IWA	Asociación Internacional del Agua
JMP	Programa Conjunto de Monitoreo para el Abastecimiento de Agua Potable y Saneamiento
NWC	Comisión Nacional del Agua
OEFA	Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental
OMS	Organización Mundial de la Salud
ONG	Organización no gubernamental
PIB	Producto Interno Bruto
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
PRASA	Autoridad de Acueductos y Alcantarillado de Puerto Rico
SIRDO	Sistema de Reciclamiento de Desechos Orgánicos
SNV	Organización Neerlandesa para el Desarrollo
SSD	Saneamiento Sostenible Descentralizado
UASB	Reactor Anaerobio de Lecho de Lodos
UNICEF	Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia
USD	Dólar estadounidense
WSP	Programa de Agua y Saneamiento

## INTRODUCCIÓN

De manera general, la cobertura sanitaria en muchos países del Caribe (p.e. Las Bahamas, Cuba, Jamaica y Puerto Rico) ha mejorado bastante en los últimos 15 años, siendo actualmente mayor a 70% (OMS/UNICEF, 2014). Sin embargo, el tratamiento de aguas residuales sigue siendo deficiente resultando en el vertimiento de más del 80% de las aguas residuales al mar sin tratamiento alguno (PNUMA, 2004a). Esta situación pone en constante y creciente riesgo a la salud humana, a la integridad ecológica de los ecosistemas marino-costeros y afecta indirectamente a la economía de las naciones. Los manglares en el Caribe se reducen a un ritmo de 1% anual y cerca del 60% de los arrecifes de coral en la región están amenazados por alguna actividad antropogénica (PNUMA, 2004b; Agard y Cropper, 2007). Los daños a los ecosistemas marino-costeros provocan la reducción en los recursos pesqueros de los que dependen 1.5 millones de personas en el Caribe y la pérdida de su valor recreativo, estético y paisajístico para los habitantes y para el turismo, sector del que dependen un número creciente de personas (Agard y Cropper, 2007).

Una de las causas principales del manejo inadecuado de las aguas residuales es el no funcionamiento (60%) o funcionamiento parcial (40%) de las plantas de tratamiento existentes en la región debido a la falta de mantenimiento, de personal capacitado, de presupuesto y al uso de tecnologías inadecuadas (Ramírez-Flores y Espejel-Carbajal, 2001). Por otro lado, la visión sectorial de la gestión de los recursos hídricos presente en los gobiernos de los países del Caribe ha conducido a la creación de instituciones con mandatos redundantes o en conflicto y al diseño de un marco legal y normativo disperso (PNUMA, 1994; Cepero-Martín y Luna-Martínez, 1997; DINEPA, 2014; Gobierno de Las Bahamas, 2001; Ramírez-Flores y Espejel-Carbajal, 2001; Smith,

2005). Más preocupante aún resulta la predominancia de objetivos nacionales económicos y de desarrollo sobre objetivos sociales y de protección del medioambiente (PNUMA, 1994). Finalmente, no se ha evaluado en la región a escalas mayores a la local la pertinencia de sistemas de colección y tratamiento de aguas residuales más sostenibles como las clasificadas en saneamiento seco o ecológico.

El objetivo principal de este trabajo es presentar una revisión de los diversos aspectos relacionados con los sistemas sostenibles de colección y tratamiento de aguas residuales en países insulares de alto desarrollo turístico en el Caribe. En el primer capítulo, se analiza la situación actual del saneamiento y el tratamiento de aguas residuales en cinco países insulares del Caribe: Las Bahamas, Cuba, Haití, Jamaica y Puerto Rico. En el segundo capítulo se describen las características climáticas, socioculturales, económicas, científico-tecnológicas y ecológicas de los cinco países. En el tercer capítulo, se presentan paradigmas de saneamiento diferentes al convencional y una visión más amplia en la que debe insertarse el saneamiento y el tratamiento de aguas residuales. En el cuarto capítulo, se enlistan y describen de manera muy breve las tecnologías y los sistemas de colección y tratamiento de aguas residuales que se consideran adecuadas para los cinco países con el fin de lograr una cobertura sanitaria total y un tratamiento sostenible.

## **Capítulo I. Situación actual del saneamiento en las islas del Caribe**

En la primera parte de este capítulo se definen algunos conceptos relacionados con el saneamiento y el tratamiento de aguas residuales. Posteriormente se presenta de manera muy general el acceso al saneamiento y el estado del tratamiento de aguas residuales en el mundo, en el Caribe y parte del marco legislativo de Las Bahamas, Cuba, Haití, Jamaica y Puerto Rico relacionado con el manejo de las aguas residuales. En la parte final se presentan las causas y consecuencias del manejo inadecuado de las aguas residuales en el Caribe.

### **1.1 Conceptos relacionados con el saneamiento**

El significado de saneamiento, como cualquier otro concepto, cambia según la institución, organización o país que la defina y puede estar determinado incluso por los objetivos del documento que lo incluya. El concepto de saneamiento puede ser tan amplio que engloba la higiene personal, la doméstica, la pública, la industrial e incluso la mental. En este documento, el saneamiento se acota a la disposición o reciclaje higiénicos de aguas residuales y desechos producto de diversas actividades humanas (Smith, 2005). Es importante mencionar que en esta definición de saneamiento no se contempla el tratamiento de dichas aguas residuales y desechos (Ramírez-Flores y Espejel-Carbajal, 2001).

Así mismo, las aguas residuales son la combinación de agua, residuos procedentes de diversas actividades humanas y ocasionalmente, agua de lluvia, subterránea o superficial. Las aguas residuales pueden clasificarse según su origen en domésticas, industriales, agropecuarias y municipales (OEFA, 2014). El Programa conjunto de monitoreo de abastecimiento de agua y saneamiento (JMP por sus siglas en inglés) de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Fondo de las Naciones Unidas para la

Infancia (UNICEF) considera que una disposición higiénica de aguas residuales se hace a través de una instalación sanitaria mejorada como los sistemas de alcantarillado, los tanques sépticos y las letrinas de pozo, entre otros. Así mismo, identifica a las instalaciones sanitarias no mejoradas como aquéllas que no protegen la salud humana y ambiental como las letrinas comunes o la defecación al aire libre (OMS/UNICEF, 2014).

Por otro lado, el tratamiento de aguas residuales se refiere al conjunto de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin la remoción de contaminantes en las aguas residuales (Noyola, Morgan-Sagastume y Güereca, 2013). El tratamiento puede clasificarse según el tipo de procesos utilizados en físico, químico y biológico; o según el grado de remoción de contaminantes en pretratamiento (remoción de sólidos no suspendidos), primario (remoción de sólidos en suspensión), secundario (remoción de materia orgánica) y terciario (remoción de contaminantes específicos como nitrógeno o fósforo) (Noyola, Morgan-Sagastume y Güereca, 2013). Finalmente, el manejo de aguas residuales puede ser centralizado o descentralizado. En el primer caso, las aguas residuales de diversos orígenes son tratadas en un sitio alejado del de generación. En el segundo caso, el tratamiento es en un sitio muy cercano al de generación (SNV, 2014).

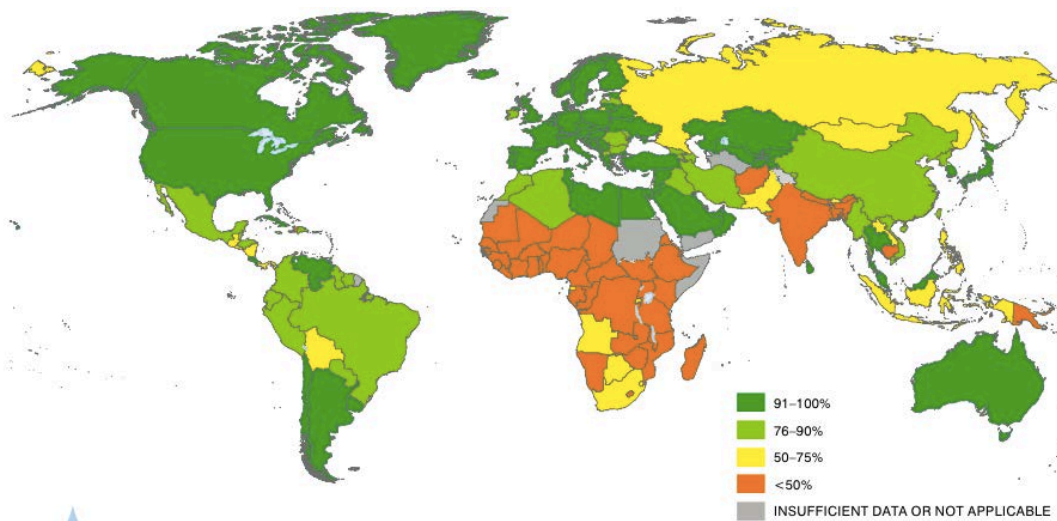
## **1.2 Situación actual del saneamiento y el tratamiento de aguas residuales en el mundo**

Según un reporte sobre acceso al agua y saneamiento de la OMS y UNICEF (2015), el porcentaje de la población mundial que tiene acceso a instalaciones de saneamiento mejoradas aumentó de 54% en 1990 a 68% en 2015. Es decir, actualmente hay 2.1 mil millones de personas más con acceso a instalaciones sanitarias mejoradas. Sin

embargo, todavía un tercio de la población mundial o 2.4 mil millones de personas no tienen acceso a instalaciones sanitarias mejoradas y existe una gran desigualdad entre las poblaciones urbana y rural ya que en la primera casi todas las personas (89%) tienen acceso a un saneamiento adecuado y en la segunda, sólo poco más de la mitad (51%). Así mismo, existe una gran desigualdad en el acceso a un adecuado saneamiento entre ricos y pobres (OMS/UNICEF, 2015).

La cobertura de saneamiento por país en el mundo se muestra en la figura 1.1 donde es posible observar que los países con menor porcentaje de población con acceso a instalaciones sanitarias mejoradas se concentran en África subsahariana y el sur de Asia.

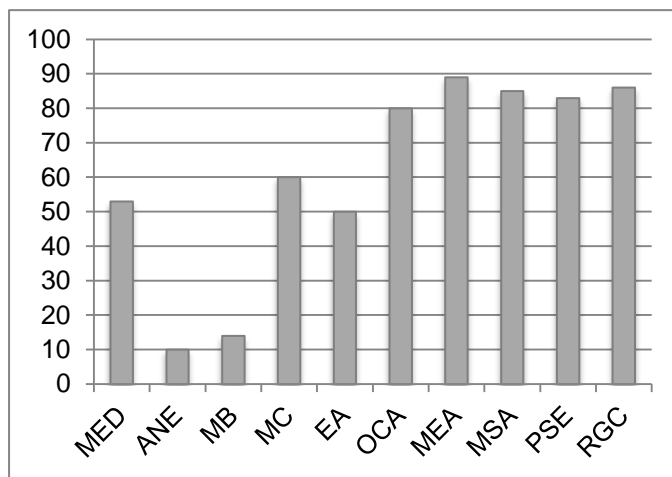
Interesantemente, también en estas regiones del mundo es muy común el uso de instalaciones sanitarias mejoradas por varias familias u hogares; situación que puede convertir estas instalaciones a no mejoradas poniendo en riesgo la salud de las personas que las comparten (OMS/UNICEF, 2015). A pesar de los esfuerzos nacionales e internacionales de todos los países por aumentar la cobertura de saneamiento, mil millones de personas en el mundo practican aún la defecación al aire libre. Casi todos los países desarrollados han alcanzado una cobertura sanitaria



**Figura 1.1.** Porcentaje de la población con acceso a instalaciones sanitarias mejoradas.  
Fuente: OMS/UNICEF, 2015

universal, sin embargo, la cobertura varía grandemente entre países en desarrollo (OMS/ONU, 2014). La lucha de los países menos desarrollados por mejorar el saneamiento entre la población presenta retos importantes producto de la interrelación de la pobreza y un saneamiento inadecuado (Smith, 2005).

Dado que el tratamiento de aguas residuales no está contemplado en el concepto de saneamiento, los avances en este último ámbito deben ir siempre acompañados de avances en el acceso al agua potable y en el correcto tratamiento y disposición final de las aguas residuales. Las descargas de aguas residuales no tratadas son una de las principales fuentes de contaminación a cuerpos de agua dulce y salada, sobretodo en países en desarrollo en donde sólo una pequeña parte de las aguas residuales son tratadas adecuadamente (PNUMA/PAM, 2006). El porcentaje de aguas residuales no tratadas que son vertidas a cuerpos de agua en algunas regiones del mundo se presenta en la figura 1.2.



**Figura 1.2.** Porcentaje de aguas residuales no tratadas vertidas a cuerpos de agua dulce y salada por región. MED=Mediterráneo; ANE=Atlántico noreste; MB=Mar Báltico; MC=Mar Caspio; EA=Este de África; OCA=Oeste y centro de África; MEA=Mares del este de Asia; MSA=Mares del sur de Asia; PSE=Pacífico sureste; RGC=Región del Gran Caribe  
Modificado de: PNUMA, 2004a

Entre el 80% y 90% de las aguas residuales producidas en algunas regiones de África, Asia y América (específicamente en el Caribe) se vierten sin tratamiento alguno a los cuerpos de agua (figura 1.2). En Estados Unidos, la contaminación de cuerpos de agua ha disminuido gracias a la creación en 1948 de una

ley de agua limpia<sup>1</sup> que establece estándares federales para el tratamiento de aguas residuales. En Europa Occidental las aguas residuales producidas por el 80% a 90% de la población son tratadas. Sin embargo, en Europa Central y Oriental las aguas residuales de sólo el 25% de la población son tratadas (PNUMA/PAM, 2006).

En las dos décadas pasadas la unión de esfuerzos nacionales e internacionales han tratado de disminuir el porcentaje de aguas residuales no tratadas vertidas a cuerpos de agua en América Latina y el Caribe (ALC), ya que tan sólo en ésta última región se vierte 86% de las aguas no tratadas (PNUMA, 2004a), lo cual va en detrimento grave de la salud humana, el equilibrio ecológico de los ecosistemas y el desarrollo socioeconómico de los países en la región que dependen directamente y en gran medida de dichos ecosistemas. El aumento en la cobertura del saneamiento y el tratamiento de aguas residuales es una batalla de dos frentes para los países en desarrollo, entre ellos los países en el Caribe: por un lado, regular el tratamiento y descargas de aguas residuales y por otro, revertir el daño ambiental actual (Galbán-Rodríguez, 2009).

### **1.3 Situación actual del saneamiento y el tratamiento de aguas residuales en el Caribe**

En 2001, un reporte del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) indicó que el 40% de las plantas de tratamiento en ALC funcionaban parcialmente y el 60% no funcionaban debido a un mantenimiento y una capacitación de personal insuficientes, ausencia de presupuesto y tecnologías inadecuadas (Ramírez-Flores y Espejel-Carbajal, 2001). Con el fin de ejemplificar el problema del saneamiento y el tratamiento de aguas residuales en el Caribe se analizará el estado

---

<sup>1</sup> Clean Water Act



actual en dichos ámbitos en cinco países: Cuba, Jamaica, Haití, Las Bahamas y Puerto Rico. Algunas de las bahías en estos países han sido consideradas las más contaminadas en la región y se han implementado diversos programas con financiamiento internacional para revertir la degradación ambiental y prevenir futuros daños.

El cuadro 1.1 resume en porcentajes el avance y la situación actual del saneamiento en los cinco países elegidos. En Cuba, el porcentaje de población utilizando instalaciones sanitarias mejoradas pasó de 81% a 93% de 1990 a 2012 (cuadro 1.1) y sólo el 1% de la población total practica aún la defecación al aire libre (OMS/UNICEF, 2014).

A pesar de la alta cobertura en saneamiento, el vertimiento de aguas residuales crudas sigue siendo un problema apremiante. La Bahía de La Habana es un ejemplo clásico de las consecuencias ambientales, de salud pública y socioeconómicas que derivan de la

**Cuadro 1.1** Porcentaje de la población urbana y rural utilizando instalaciones sanitarias mejoradas (M) y no mejoradas (NM) en cinco países del Caribe.  
Modificado de: OMS/UNICEF, 2014

País	Año	Población (x1,000)	% de población urbana	Uso de instalaciones sanitarias (% de la población)					
				Urbano		Rural		Total	
				M	NM	M	NM	M	NM
Cuba	1990	10,601	73	86	14	68	32	81	19
	2000	11,138	76	90	10	77	23	87	13
	2012	11,271	75	94	6	88	12	93	7
Jamaica	1990	2,365	49	78	22	81	18	79	21
	2000	2,582	52	78	22	82	17	80	20
	2012	2,769	52	78	22	82	17	80	20
Haití	1990	7,110	29	34	66	13	87	19	81
	2000	8,578	36	33	67	14	86	21	79
	2012	10,174	55	31	69	16	84	24	76
Las Bahamas	1990	256	80	-	-	-	-	-	-
	2000	298	82	-	-	-	-	89	11
	2012	372	84	-	-	-	-	92	8
Puerto Rico	1990	3,518	72	-	-	-	-	99	1
	2000	3,797	95	-	-	-	-	99	1
	2012	3,694	99	-	-	-	-	99	1

contaminación de cuerpos de agua con aguas residuales. Esta bahía, el puerto más importante en Cuba, fue considerada hace algunos años la bahía más contaminada del Caribe (ONU, 2003). Recibe 300,000 m<sup>3</sup> de aguas residuales urbano-industriales crudas al día (Ramírez-Flores y Espejel-Carbajal, 2001) directamente de desagües e indirectamente de los ríos tributarios Luyanó, Martín Pérez y el arroyo Tadeo a los que se vierten también aguas residuales a su paso por el interior de la isla (ONU, 2003).

Actualmente, se ha logrado disminuir y controlar la contaminación de los cuerpos de agua en Cuba a través de la construcción de infraestructura para el tratamiento de aguas residuales. Muchos de estos programas están dirigidos y financiados por organizaciones internacionales y gobiernos extranjeros. Un ejemplo es la construcción de 2,000 lagunas de oxidación para el tratamiento de aguas residuales domésticas y de pequeñas industrias (PNUMA, 1994). Los métodos de tratamiento de aguas residuales más comunes en Cuba son las lagunas de estabilización, los lodos activados, los filtros percoladores, los tanques sépticos, la filtración, entre otros (Ecured, s.f.).

El saneamiento en Jamaica no experimentó un avance tan importante como en Cuba entre 1990 y 2012: el porcentaje de la población total con acceso a un saneamiento adecuado pasó de 79% a 80% en 22 años debido exclusivamente al ligero aumento (1%) en la cobertura del saneamiento en zonas rurales (cuadro 1.1). Sorprendentemente, no hay mucha diferencia entre zonas urbanas y rurales en cobertura e incluso ésta es mayor en zonas rurales. La situación inversa se presenta en casi todos los países de ALC (OMS/UNICEF, 2015).

Las instalaciones sanitarias en muchas de las regiones en que se divide la isla necesitan mantenimiento y son insuficientes en número. Aún más, se estima que el 10% de la población vive en asentamientos informales que no cuentan con

instalaciones sanitarias apropiadas en los que se vierten aguas residuales y desechos sólidos a ríos, canales y sistemas de alcantarillado cercanos. Las personas en dichos asentamientos utilizan los ríos a los que vierten sus desechos como fuente de agua potable, y para aseo doméstico y personal poniendo en riesgo su salud (Smith, 2005).

Los efluentes de aguas residuales insuficientemente tratadas en las plantas de Western y Greenwich, los efluentes de canales y ríos cercanos (Río Cobre, Sandy Gully y Portmore) y las descargas de agua subterránea contaminada del acuífero Liguanea causan la eutrofización de la Bahía de Kingston (PNUD, 1998). También en esta bahía se han implementado diversos programas para disminuir la contaminación y el volumen de efluentes contaminados que llegan a ella. Según la Comisión Nacional del Agua de Jamaica (NWC por sus siglas en inglés) (2016) existen 50 plantas de tratamiento en la isla que utilizan procesos como zanjas de oxidación, lodos activados y lagunas de estabilización. Muchas de las plantas de tratamiento han operado más años que su tiempo de vida proyectado (20 a 25 años). Estas plantas deben ser reemplazadas más que mantenidas pero la NWC no cuenta con los recursos necesarios para reemplazarlas (NWC, 2016).

Haití tiene la menor cobertura de saneamiento de los países analizados en este documento y probablemente de los países en el Caribe. Tampoco ha habido muchos avances en este ámbito en las últimas dos décadas. Actualmente, sólo el 24% de la población total tiene acceso a instalaciones sanitarias adecuadas y 21% aún practica la defecación al aire libre. De 1990 a 2012 el incremento de la población fue de 3 millones pero el aumento en la cobertura del saneamiento en el mismo periodo sólo alcanzó a poco más de 1 millón de personas más (cuadro 1.1).

Los tanques sépticos son métodos de colección y tratamiento de aguas residuales comúnmente utilizados en Haití. La Dirección Nacional de Agua Potable y Saneamiento (DINEPA por sus siglas en francés) (2012) especifica que los camiones de desazolve de fosas sépticas deben descargar las aguas residuales en plantas de tratamiento o en zonas transitorias de enterramiento. Sin embargo, se reconoce que los operadores de dichos camiones descargan los lodos en otros lugares no autorizados creando un problema de salud pública y ambiental. Además, sólo existen tres plantas de tratamiento funcionales en todo el país, dos ubicadas al norte de la capital, Puerto Príncipe (DINEPA, 2013; DINEPA, 2014). Infortunadamente, no ha habido tantos programas en Haití como en Jamaica y Cuba para la construcción de más plantas de tratamiento, la implementación de métodos de tratamiento más efectivos o el mejoramiento del saneamiento.

Las Bahamas casi logra una cobertura de saneamiento universal, 92% de la población total tiene acceso a instalaciones sanitarias mejoradas (cuadro 1.1) y ya no hay personas practicando la defecación al aire libre (OMS/UNICEF, 2014). La colección y tratamiento de aguas residuales se hace a través de sistemas centralizados en la capital, plantas de tratamiento descentralizadas en los grandes hoteles y tanques sépticos en las residencias. La disposición de los efluentes de la planta de tratamiento principal (después de tratamiento primario y secundario) y de algunos tanques sépticos se hace a través de inyección profunda en pozos. Se asume que los tanques sépticos en las residencias operan adecuadamente y reciben mantenimiento periódico, sin embargo, el agua subterránea en la capital y en otras zonas ha sido contaminada por estos sistemas residenciales (Gobierno de Las Bahamas, 2001).

La casi universal cobertura sanitaria en Puerto Rico (99%) (cuadro 1.1) está relacionada con su situación política respecto a Estados Unidos que lo obliga a cumplir con las leyes y normas federales establecidas por éste (PNUMA/PAM, 2006). Aún así, el 1% de la población practica todavía la defecación al aire libre, situación que no ha podido corregirse desde 1990 a pesar de que el incremento de la población no ha sido tan grande como en otros países (cuadro 1.1) (OMS/UNICEF, 2014).

Existen 61 plantas de tratamiento de aguas residuales en Puerto Rico, todas manejadas por la Autoridad de Acueductos y Alcantarillado de Puerto Rico (PRASA por sus siglas en inglés). En 2006, el gobierno de Estados Unidos impuso una multa a PRASA por 9 millones de dólares debido a descargas ilegales de contaminantes de 9 plantas de tratamiento de aguas residuales y 5 de agua potable. Además, la autoridad fue obligada a implementar medidas correctivas en todas sus plantas de tratamiento y sistemas de colección asociados (EPA, 2006).

De manera general, los tres principales problemas del saneamiento en ALC son la cobertura, aún hay 117 millones de personas sin servicios de saneamiento; inequidad, el acceso a un saneamiento adecuado es más costoso para los pobres; y mala calidad y deficiencia de los servicios (Ramírez-Flores y Espejel-Carbajal, 2001).

#### **1.4 Legislación vigente sobre el saneamiento y la calidad del agua en el Caribe**

Se analizará brevemente la legislación vigente relacionada con el saneamiento y la calidad del agua en Cuba, Jamaica, Haití, Las Bahamas y Puerto Rico para bosquejar el estado normativo de estos temas en el Caribe. Las deficiencias y retos de las instituciones y los marcos legislativos son similares en todos los países de ALC.

En Cuba, el Instituto Nacional de Recursos Hídricos es el organismo encargado del manejo del agua. De él dependen las direcciones provinciales y municipales de

acueductos y alcantarillados (Ramírez-Flores y Espejel-Carbajal, 2001; Cepero-Martín y Luna-Martínez, 1997). La Ley de Salud Pública y una serie de disposiciones, ordenanzas y reglamentos sanitarios regulan la disposición y tratamiento de las aguas residuales, así como, las medidas de higiene pública (Cepero-Martín y Luna-Martínez, 1997). Por otro lado, existen dos normas en donde se establecen los criterios de calidad de los efluentes descargados a cuerpos de agua: NC 27:99 Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado y NC TS 360:2004 Vertimiento de aguas residuales a la zona costera y aguas marinas (Caraballo-Díaz, 2002). En un contexto regional, se crea en 1998 el Grupo de Trabajo Estatal para el Saneamiento, Conservación y Desarrollo de la Bahía de La Habana (GTEBH) con el fin de rehabilitar dicha bahía y regular el saneamiento en esta zona (ONU, 2003). La sanción por contaminar sistemas acuáticos con aguas residuales o efluentes insuficientemente tratados es cárcel de 3 meses a 1 año o una multa equivalente a 75 USD hasta 226 USD (Cepero-Martín y Luna-Martínez, 1997).

En Jamaica, la NWC tiene el ordenamiento de regular la colección, el tratamiento y la disposición final de las aguas residuales (PNUD, 1998). También existe una serie de leyes y normas relacionadas con el saneamiento como la ley de salud pública, del sector hídrico, de abastecimiento de agua y servicio de alcantarillado, la norma de manejo de asentamiento irregulares, la norma de manejo de residuos sépticos y biosólidos, entre otros (Smith, 2005). Los parámetros de calidad de agua dulce y salada en Jamaica se encuentran concentrados en el Estándar Nacional de Calidad de Agua (NEPA, 2016).

La DINEPA en Haití es la institución gubernamental encargada del abastecimiento del agua potable y del saneamiento. En este último rubro la DINEPA regula la descarga de

camiones de desazolve, el manejo y la implementación de plantas de tratamiento de aguas residuales, la concesión de permisos de descarga, entre otras funciones y concentra las especificaciones de tales actividades en fascículos técnicos. La sanción por descargar lodos en sitios no permitidos o sin tener un permiso va de 43 USD a 856 UDS o de 2 meses a 2 años en prisión (DINEPA, 2013). En Las Bahamas, la Corporación de Agua y Alcantarillado es la única autoridad reguladora del agua potable y las aguas residuales en este país. Sin embargo, no existe una adecuada regulación de los sistemas de disposición final de aguas residuales, el manejo de residuos sólidos, entre otros (Gobierno de Las Bahamas, 2001). También en Puerto Rico existe un solo organismo regulador del agua potable y las aguas residuales, PRASA (EPA, 2015). La labor de PRASA cubre la protección de la salud pública, la protección de las fuentes de agua, el tratamiento de aguas residuales y agua para consumo, la definición de derechos y obligaciones de los usuarios, entre otros (PRASA, 2003). No se encontró mucha información acerca de las normas y leyes relativas al saneamiento y las aguas residuales en Las Bahamas y Puerto Rico.

La legislación sobre saneamiento guarda siempre una relación muy estrecha con la legislación ambiental. Así, en el cuadro 1.2 se incluyen algunas de las deficiencias de la legislación ambiental, de saneamiento y tratamiento de aguas residuales en el Caribe que han entorpecido los esfuerzos para mejorar el manejo de las aguas residuales.

**Cuadro 1.5.** Deficiencias de la legislación ambiental y de saneamiento en ALC.

Descripción del problema	Referencia
Hay suficientes leyes, normas y reglamentos de protección ambiental pero no existen suficientes mecanismos de aplicación. En ocasiones, la legislación es obsoleta.	PNUMA, 1994; PNUD, 1998; DINEPA, 2014; PNUMA, 2010; Gobierno de Las Bahamas, 2001
La falta de recursos económicos (financiamiento), materiales (infraestructura) y humanos (personal, capacitación) impiden la aplicación del marco legislativo.	PNUMA, 1994; PNUD, 1998
La legislación ambiental se encuentra dispersa en distintos sectores del gobierno. Hay distintas instituciones aplicando una misma ley separadamente lo que provoca duplicación de esfuerzos, vacíos legales y objetivos institucionales en conflicto. La visión del uso del agua es sectorial, no integral.	PNUMA, 1994; Cepero-Martín y Luna-Martínez, 1997; DINEPA, 2014; Gobierno de Las Bahamas, 2001; Ramírez-Flores y Espejel-Carbajal, 2001; Smith, 2005
Conflicto entre la legislación ambiental y las políticas económicas y de desarrollo. Generalmente, se da preferencia a éstas en detrimento de la protección del medioambiente.	PNUMA, 1994
El entramado institucional no promueve el mejoramiento del saneamiento; no hay integración de organismos centrales y sectoriales. En ocasiones, las instituciones son débiles.	Smith, 2005; DINEPA, 2014; PNUD, 1998
La contaminación del agua y la cobertura de saneamiento caen comúnmente en la indefinición de adscripción de sectores.	Ramírez-Flores y Espejel-Carbajal, 2001
No existen políticas transversales ni suficientes esfuerzos institucionales conjuntos en ámbitos que impactan al medioambiente como el saneamiento.	Smith, 2005
No hay suficiente participación de organizaciones no gubernamentales (ONG) u organizaciones comunitarias con los organismos de gobierno.	Smith, 2005
Poca importancia conferida y poca promoción del reuso y reciclaje de desechos.	Smith, 2005



## **1.5 Implicaciones del manejo inadecuado de las aguas residuales para zonas costeras del Caribe**

En este apartado se describen las fuentes y composición de los contaminantes en zonas costeras en el Caribe y las principales causas y consecuencias socioeconómicas, políticas y ambientales que han derivado del manejo insuficiente de las aguas residuales en la región.

### **1.5.1 Fuentes y volúmenes de la contaminación marina**

Las aguas residuales crudas son una de las principales fuentes de contaminación a ambientes costeros en el Caribe, sobre todo en los países en desarrollo. La evaluación del impacto de la contaminación marina comienza por la identificación de las fuentes, los volúmenes de descarga de contaminantes, la concentración de los contaminantes, las características de la cuenca hidrológica receptora y las corrientes; siendo los últimos dos aspectos los menos atendidos cuando se vierten efluentes o aguas residuales crudas a zonas costeras (PNUMA, 1994; Ramírez-Flores y Espejel-Carbajal, 2001).

De manera general, las aguas residuales crudas pueden contener nutrientes como nitrógeno y fósforo, sólidos, materia orgánica, organismos patógenos (bacterias, virus y protozoos), aceites y grasas, escorrentías de calles, casas y edificios, metales pesados (mercurio, cadmio, cromo, cobre, plomo, etc.) y compuestos químicos tóxicos como pesticidas y fenoles (PNUMA, 1994). El PNUMA en 1994 concentró en un reporte información acerca de las fuentes y los volúmenes de los contaminantes en la Región del Gran Caribe. Parte de la información se muestra en el cuadro 1.3 como la carga de demanda biológica de oxígeno (DBO), sólidos suspendidos totales (SST), nitrógeno total (NP) y fósforo total (PT) en los ambientes costeros de Cuba, Jamaica y Puerto Rico. También se incluye la carga total de cada contaminante de origen doméstico e

**Cuadro 1.3.** Carga de DBO, SST, NT, PT y grasas y aceites (ton/año) en el Caribe.  
Modificado de: PNUMA, 1994

<b>País</b>	<b>DBO</b>	<b>SST</b>	<b>NT</b>	<b>PT</b>	<b>Grasas y aceites</b>
Cuba	9,413	3,481	572	296	112
Jamaica	4,227	6,658	1,097	133	350
Puerto Rico	16,819	20,000	530	890	500
Doméstico	71,079	90,214	5,239	5,503	6,089
Industrial	360,000	990,000	40,000	1,200	130,000

industrial vertida en la zona costera localizada entre Cuba, Haití, República Dominicana, Puerto Rico, Colombia y Venezuela.

Paradójicamente, el aporte de las fuentes domésticas en Puerto Rico, país con la mayor cobertura de saneamiento, es mucho mayor que en Cuba y Jamaica (excepto el nitrógeno total) (cuadro 1.3), dos países donde se han llevado múltiples esfuerzos por disminuir la contaminación marina. Esto demuestra que para proteger la salud humana y ambiental, la implementación de medidas sanitarias debe ir siempre acompañada de un manejo adecuado de aguas residuales. La carga de fuentes industriales (refinerías, plantas petroquímicas, químicas, madereras, de producción de papel, metalúrgicas, entre otras) es en casi todos los casos un orden de magnitud mayor que la de fuentes domésticas (cuadro 1.3), evidenciado parcialmente la predominancia de políticas económicas y de desarrollo sobre la protección y conservación de los recursos hídricos y del ambiente.

Un estudio realizado en algunas bahías del Caribe con grandes cargas de contaminantes identifica al mal manejo y tratamiento insuficiente de aguas residuales domésticas e industriales como las principales fuentes de contaminación a los ambientes costeros (Chabalina y Beltrán-González, 2002) y el 90% de esta contaminación llega a las zonas costeras a través de ríos y arroyos que desembocan en el mar. Así, proteger a los ambientes y asentamientos humanos costeros de la

contaminación marina requiere una visión más regional: el manejo de cuencas y zonas costeras (Ramírez-Flores y Espejel-Carbajal, 2001).

### **1.5.2 Causas y consecuencias de un manejo inadecuado de las aguas residuales en el Caribe**

El cuadro 1.4 enlista las principales causas y consecuencias sociales, económicas, políticas, científico-tecnológicas y ambientales del manejo inadecuado de aguas residuales en el Caribe. Dicha lista no busca ser exhaustiva y algunos de los puntos pueden tener mayor o menor importancia en cada país.

**Cuadro 1.6.** Causas y consecuencias sociales, económicas, políticas, científico-tecnológicas y ambientales de un saneamiento y tratamiento de aguas residuales inadecuados en el Caribe

Causas	Consecuencias	Referencia
<b>Sociales</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento acelerado de la población total y urbana. El 63.2% de la población del Caribe es urbana y el 46.9% vive en ciudades con 5 a 10 millones de habitantes.</li> <li>• Falta de educación ambiental y capacitación técnica.</li> <li>• Desconocimiento por parte de la población de la relación entre el desarrollo y la protección del ambiente, así como, de las consecuencias a corto y mediano plazo del deterioro del ambiente sobre la salud humana y la calidad de vida.</li> <li>• Poca o nula participación de todos los actores involucrados en el saneamiento y el tratamiento de aguas residuales.</li> <li>• Los esfuerzos de mejora en cobertura de saneamiento no han beneficiado a los más pobres.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desigualdad en el acceso al saneamiento entre ricos y pobres, y entre la población urbana y rural.</li> <li>• Los servicios de saneamiento son más costosos para personas de bajos recursos.</li> <li>• Pérdida del uso recreativo-paisajístico de las zonas costeras.</li> <li>• Daños a la salud humana por contacto con o consumo de agua contaminada, así como, el consumo de productos del mar contaminados. Las enfermedades comúnmente asociadas a agua contaminada son cólera, fiebre tifoidea, hepatitis viral, gastroenteritis y disentería.</li> </ul>	<p>PNUMA, 1994; OMS/ONU, 2014; PNUMA/PAM, 2006; Chabalina y Beltrán-González, 2002; PNUD, 1998; Ramírez-Flores y Espejel-Carbajal, 2001; PNUMA, 2010; DINEPA, 2013; Galbán-Rodríguez, 2009</p>
<b>Económicas</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento del desarrollo económico en zonas costeras (turismo, industria, agricultura, etc.) sin contar con la infraestructura para un manejo adecuado de aguas residuales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pérdida de recursos marinos y del valor estético de los ambientes costeros, situación que impacta de manera negativa a actividades económicas como el turismo y la pesca.</li> </ul>	<p>PNUMA, 1994; PNUMA/PAM, 2006; PNUD, 1998; Ramírez-Flores y Espejel-Carbajal, 2001; PNUMA, 2010</p>

- Aumento del tráfico de grandes barcos y cruceros que pueden estar descargando aguas residuales crudas cerca de la costa por falta de infraestructura en los puertos.
- Predominancia de intereses económicos y de desarrollo sobre políticas ambientales. La política económica está desvinculada de la política ambiental.
- Falta de recursos financieros y humanos para llevar a cabo acciones de investigación, monitoreo; y construcción, operación y mantenimiento de infraestructura.

#### Políticas

- |   |  |  |
|---|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ausencia de mecanismos regulatorios eficientes para la aplicación de la legislación ambiental.</li> <li>• El plus político del abastecimiento de agua potable es mucho mayor al del saneamiento y la descontaminación de cuerpos de agua.</li> <li>• Subvención a los servicios de abastecimiento de agua, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales.</li> <li>• Visión sectorial del manejo de los recursos hídricos.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• La sectorialización del manejo de los recursos hídricos impide una gestión integral y eficiente del saneamiento, el tratamiento de aguas residuales y el abastecimiento de agua potable.</li> <li>• Las subvenciones han provocado una cultura de desperdicio del agua y no permiten el acceso de las instituciones gubernamentales al financiamiento necesario para mantener y ampliar el servicio.</li> </ul> | <p>PNUMA, 1994, PNUD, 1998; Ramírez-Flores y Espejel-Carbajal, 2001; PNUMA, 2010</p> |
|---|--|--|

#### Científico-tecnológicas

- |   |   |   |
|---|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Escasos esfuerzos de monitoreo ambiental y del estado del</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• La información obtenida en las investigaciones es poco confiable y poco</li> </ul> | <p>OMS/ONU, 2014; Ramírez-Flores y Espejel-Carbajal, 2001</p> |
|---|---|---|

---

saneamiento.

comparable con otros estudios.

- Tecnología de tratamiento de aguas residuales ineficiente y en ocasiones obsoleta.

### **Ambientales**

- Enriquecimiento de nutrientes de los ecosistemas costeros.

- Problema de contaminación transfronterizos debido a la dispersión por la gran velocidad de las corrientes en el mar Caribe.
- Eutrofización de ecosistemas costeros y marinos cercanos a centros urbanos.
- Modificación de la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas lo cual afecta el equilibrio trófico, la diversidad de especies y los hábitats.
- Colapso de los ecosistemas debido a pequeños aumentos de contaminantes pues la respuesta de aquéllos a éstos no es lineal.

PNUMA/PAM, 2006; PNUD, 1998; Ramírez-Flores y Espejel-Carbajal, 2001

## **Capítulo II. Análisis socioeconómico, cultural, ecológico y científico-tecnológico de las islas del Caribe**

En la primera parte de este capítulo se describen las características físicas y climáticas del mar Caribe, además de la situación sociocultural, económica, ambiental y científico-tecnológica de los cinco países insulares mencionados en el primer capítulo: Las Bahamas, Cuba, Haití, Jamaica y Puerto Rico. En la segunda parte se incluyen un conjunto de instituciones y acuerdos que enmarcan internacionalmente el saneamiento y el tratamiento de aguas residuales.

### **2.1 Características físicas, climatológicas e hidrológicas**

Si bien existen diferencias locales en el clima, la temporada de huracanes o el régimen de precipitación, las características de la región descritas a continuación servirán para seleccionar adecuadamente tecnologías de colección y tratamiento de aguas residuales en los siguientes capítulos.

#### **2.1.1 Geografía y clima**

Las bahías aisladas y los archipiélagos son características de la morfología de las costas en el Caribe. De la zona de interés, Cuba es la isla más grande con una extensión de 114,530 km<sup>2</sup> seguido de La Española, isla que comparten República Dominicana y Haití; éste último tiene una extensión de 27,250 km<sup>2</sup>. El archipiélago de Las Bahamas, Jamaica y Puerto Rico tienen una extensión de 13,940 km<sup>2</sup>, 10,990 km<sup>2</sup> y 8,960 km<sup>2</sup> respectivamente. Aun cuando la forma difiere grandemente, Cuba y Las Bahamas tienen extensiones similares de línea de costa. Haití y Jamaica también tienen extensiones similares y Puerto Rico tiene la menor extensión de costa de los cinco países (PNUMA, 2004b).

De manera general, el clima en el mar Caribe y en las islas es tropical húmedo. La temperatura varía poco durante el año, la media anual es de aproximadamente 25°C y raramente se experimentan temperaturas menores a 13°C. Se distinguen dos épocas en el año: una seca y una lluviosa. Hay predominancia de vientos alisios provenientes del norte (PNUMA, 2004b; FAO, 2003; Agard y Cropper, 2007). La parte sur de las islas es más húmeda que la parte norte debido a que recibe vientos más calientes y húmedos. A nivel del mar, la temperatura está regulada principalmente por el encuentro de vientos húmedos provenientes del sur y vientos con menor humedad del norte. En zonas montañosas el clima es templado y tampoco experimenta grandes variaciones de temperatura (PNUMA, 2004b).

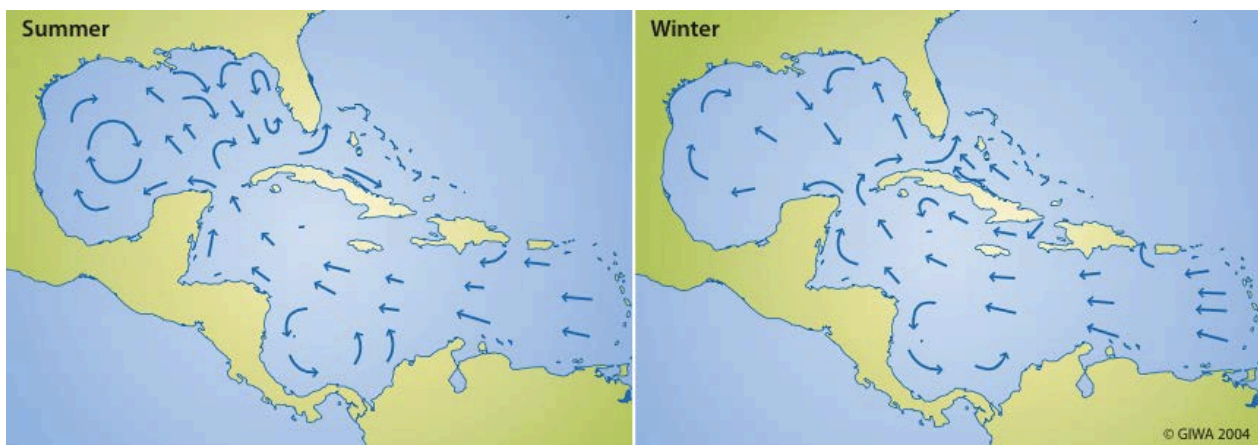
El régimen de precipitación en el Caribe es de 1,300 mm pero varía de manera importante temporal y espacialmente (PNUMA, 2010). En Las Bahamas la precipitación promedio, que se concentran entre junio y octubre (PNUMA, 2004b), varía de 600 mm en las islas del sureste hasta 1,600 mm en las islas del noroeste (Gobierno de Las Bahamas, 2001). La precipitación anual promedio en Cuba es de 1,302 mm y se concentra entre mayo y octubre. En Haití hay dos periodos lluviosos: abril a junio y octubre a noviembre. El promedio es de 3,600 mm en la parte oeste de la península sur y de tan sólo 600 mm en la costa suroeste de la península norte. El promedio anual en las montañas del noreste de Jamaica es de 5,000 mm y de 813 mm en la capital, Kingston. La lluvia se concentra en mayo, junio, octubre y noviembre. En Puerto Rico el promedio de precipitación anual es de 1,500 mm (PNUMA, 2004b). Las tormentas tropicales y los huracanes influyen el régimen de precipitación. Así, la precipitación total en un año puede variar de manera importante respecto al promedio (Gobierno de Las Bahamas, 2001).



### 2.1.2 Características marinas

El movimiento de masas de agua en el Caribe está determinado por las corrientes ecuatoriales del Atlántico, los vientos, la variación en el nivel del mar y la rotación de la Tierra. En la figura 2.1 se muestra esquemáticamente la dirección de las corrientes en el Caribe en verano y en invierno. En ambas épocas, las corrientes ecuatoriales norte y sur del Atlántico determinan la corriente del Caribe que tiene una dirección de este a oeste. La corriente ecuatorial del sur proveniente del noreste de Sudamérica, entra al mar Caribe a través de las Antillas Menores y sale por el canal de Yucatán entrando al Golfo de México. En verano existen múltiples giros y flujos semicerrados en la corriente del Caribe que desaparecen casi por completo en invierno. Las aguas superficiales tardan de 2 a 3 meses en cruzar el mar Caribe (Agard y Cropper, 2007; PNUMA, 2004b).

La temperatura de las aguas superficiales varía poco a lo largo del año y está determinada por el ingreso de corrientes calientes del Atlántico y el movimiento vertical del agua. El rango de temperatura es de 21°C a 30°C y puede variar localmente en 1°C por los vientos. Las principales fuentes de agua dulce y sedimentos al mar Caribe son



**Figura 2.3.** Dirección de las corrientes marinas en el mar Caribe en verano (izquierda) e invierno (derecha).

Fuente: PNUMA, 2004b

los ríos Amazonas, Orinoco y Magdalena. Las descargas estacionales de dichos sistemas de ríos, de los ríos en las Guayanas y en las Antillas influyen la calidad (salinidad, turbidez, etc.) del agua en el mar Caribe y, por ende, su ecología (Agard y Cropper, 2007; PNUMA, 2004b).

### **2.1.3 Fenómenos climáticos**

Debido a su posición geográfica, los fenómenos climáticos más comunes en el Caribe son las tormentas tropicales, los huracanes y terremotos que pueden provocar otros desastres naturales como las inundaciones y los deslizamientos de tierra (PNUMA, 2004b). Los huracanes y las tormentas tropicales son los principales fenómenos climáticos que azotan a las islas en el Caribe. La temporada de huracanes es de junio a noviembre, periodo que puede variar localmente (Agard y Cropper, 2007). Los impactos de los desastres naturales incluyen pérdidas materiales y humanas, desequilibrios macroeconómicos y daños ambientales en ocasiones irreversibles (Simioni, 2003).

El fenómeno El Niño-Oscilación Sur (ENSO por sus siglas en inglés) un ciclo de varios años caracterizado por perturbaciones oceánicas y atmosféricas ha tenido impactos importantes en el medioambiente, la población y la economía del Caribe en época reciente. Este fenómeno ha ocurrido por miles de años pero se ha intensificado y ha acortado su periodicidad debido al cambio climático. Los efectos de El Niño son sequías moderadas a fuertes en la región debidas a la disminución del contraste térmico entre el mar Caribe y la costa oeste del continente americano, menor número de huracanes, temperaturas altas y una disminución en la precipitación promedio anual (Ramírez-Flores, 2001; Agard y Cropper, 2007; NOAA, 2015).

El cambio climático ha sido también una amenaza creciente para el Caribe. Los cambios a escala global que se estima provocará serán el aumento en el nivel del mar,

lo cual afectará directamente a las pequeñas islas y a las costas; aumento en la frecuencia e intensidad de tormentas y huracanes en zonas tropicales, entre ellas el Caribe; incremento del periodo y cobertura de la estación lluviosa; y condiciones consideradas “normales” similares a las de El Niño en el océano Pacífico (Simioni, 2003). Los centros urbanos en el Caribe y los asentamientos costeros serán cada vez más vulnerables a los efectos del cambio climático y de los desastres naturales debido a los altos índices de pobreza, la exclusión económica, el crecimiento acelerado y desordenado de las ciudades, el deterioro ambiental, entre otros factores (Winchester, 2006).

#### **2.1.4 Fuentes de agua dulce**

En las islas del Caribe el agua dulce se acumula en el sustrato cárstico y en las cuevas subterráneas formando un lente delgado en contacto con el agua salada del mar (Gobierno de Las Bahamas, 2001). Las islas en donde no hay ríos y hay intrusión de agua salada en el acuífero, el agua de lluvia es virtualmente la única fuente de agua dulce (PNUMA, 2010). En 2000, se calculaba que los recursos hídricos renovables en el Caribe sumaban 92.6 km<sup>3</sup>/año (0.2% de los recursos hídricos mundiales para 0.6% de la población mundial) lo que se traducía en 2,465.7 m<sup>3</sup>/año por habitante, tres veces menos el promedio mundial. Sin embargo, estos valores no muestran objetivamente la disponibilidad de agua dulce en la región pues las tormentas tropicales, los huracanes y otros fenómenos climáticos como El Niño provocan grandes variaciones interestacionales e interanuales en la cantidad de agua dulce disponible (FAO, 2003).

Además, existen diferencias espaciales como se muestra en el cuadro 2.1 en la que se incluyen los valores de los recursos hídricos renovables per cápita, así como, la

**Cuadro 2.1.** Recursos hídricos renovables per cápita, uso y extracción en el Caribe.  
Fuente: CEPAL, 2016; FAO, 2003

País	Recursos hídricos renovables per cápita (m <sup>3</sup> /habitante) <sup>1</sup>	Uso de recursos hídricos (%)	Extracción de agua (% de recursos hídricos totales) <sup>4</sup>	Población total (miles de personas) <sup>5</sup>
Las Bahamas	60.2	-	-	378
Cuba	3,368.4	18.3 <sup>2</sup>	21.5	11,393
Haití	1,598.7	10.3 <sup>3</sup>	7.6	10,465
Jamaica	3,519.5	-	4.4	2,773
Puerto Rico	1,775.9	-	-	3,691
Caribe	2,465.7	19.5 <sup>3</sup>	-	42,584

<sup>1</sup> 2007, <sup>2</sup> 2015, <sup>3</sup> 2010, <sup>4</sup> 2000, <sup>5</sup> 2013

extracción y uso de dichos recursos en Las Bahamas, Cuba, Haití, Jamaica y Puerto Rico.

Las islas del Caribe experimentan grados variables de estrés hídrico dependiendo de los fenómenos climáticos que afectan localmente las precipitaciones, la demanda de agua para riego, el tamaño de la población, el número de turistas, entre otros factores (PNUMA, 2004b). Por ejemplo, los habitantes de Cuba tiene en promedio una mayor disponibilidad de agua que los habitantes en Haití (cuadro 2.1), ya que en este último país los recursos hídricos son menores, la densidad poblacional es mayor (el tamaño de Cuba es cuatro veces mayor a la de Haití teniendo ambos países poblaciones similares) y la extracción de agua está limitada por la geología y la falta de recursos económicos (PNUMA, 2004b).

Los recursos hídricos del Caribe se utilizan principalmente y en orden de importancia para la agricultura (~50%), el uso doméstico (~30%), la industria y la generación de energía hidroeléctrica (~20%). Así, el mayor impacto directo sobre la disponibilidad del agua en la región proviene del sector agrícola, sin embargo, las descargas de aguas residuales no tratadas por las industrias pueden representar una amenaza indirecta

mayor (ver cuadro 1.3). Además, en la mayoría de las ciudades, independientemente del tipo de fuente, hay un desequilibrio entre los recursos hídricos disponibles y la demanda de la creciente población (PNUMA, 2010).

## 2.2 Características socioculturales

Debido a similitudes geográficas, climáticas e históricas, los países insulares del Caribe comparten ciertas características como la producción de cultivos fáciles de vender en el mercado internacional y poblaciones racial y culturalmente mixtas. Sin embargo, presentan diferencias marcadas en el tipo de régimen político, el acceso de la población a servicios básicos, la distribución de la población, la estabilidad económica, entre otros aspectos (PNUMA, 2004b). Para mostrar dichas similitudes y diferencias se concentra la estructura de edades de Las Bahamas, Cuba, Haití, Jamaica, Puerto Rico y el Caribe en el cuadro 2.2 y diversos parámetros poblacionales para los mismos países en el cuadro 2.3.

En cuanto a la estructura de edades (cuadro 2.2) no se observan grandes diferencias entre los países del Caribe: entre el 60% y 70% de la población tiene entre 15 y 64 años. El segundo rubro más numeroso es el de 0 a 14 años siendo Haití el país con el mayor número de niños y jóvenes (33.8%) comparado con el resto de los países en el cuadro y el promedio del Caribe (25.1%).

**Cuadro 2.2.** Estructura de edades en el Caribe.  
Fuente: CEPAL, 2016

País	Grupo de edad (%)		
	<15	15-64	>64
Las Bahamas	20.9	70.8	8.3
Cuba	16.4	69.7	13.9
Haití	33.8	61.6	4.6
Jamaica	23.6	67.3	9.1
Puerto Rico	18.9	66.6	14.5
El Caribe	25.1	65.6	9.3

Hay grandes diferencias en el número de habitantes de cada país (cuadro 2.3), sin embargo, las proporciones de poblaciones urbana y rural difieren en menor medida. Las Bahamas, Cuba y Puerto Rico tienen porcentajes muy altos de poblaciones urbanas (>70%). En cambio, la proporción entre poblaciones urbana y rural en Jamaica y Haití es más equilibrada, contraria a la tendencia en el Caribe.

**Cuadro 2.3.** Parámetros poblaciones e indicadores sociales en el Caribe.  
Fuente: CEPAL, 2016

		Las Bahamas	Cuba	Haití	Jamaica	Puerto Rico	El Caribe
<b>Población (miles de personas)<sup>1</sup></b>		378	11,393	10,465	2,773	3,691	42,584
<b>Población urbana y rural (%)<sup>2</sup></b>	Urbana	82.5	76.6	47.5	53.7	93.8	67.5
	Rural	17.4	23.4	52.4	46.3	6.2	32.5
<b>Población económicamente activa (miles de personas)<sup>2</sup></b>		-	4,913.1	3,794.2	-	-	-
<b>Tasa de desempleo</b>		12.0 <sup>3</sup>	2.7 <sup>4</sup>	-	13.5 <sup>3</sup>	-	6.6 <sup>3,6</sup>
<b>Relación entre niñas y niños en enseñanza</b>	Primaria	1.019 <sup>2</sup>	0.990 <sup>1</sup>	-	-	1.02 <sup>1</sup>	0.976 <sup>1</sup>
	Secundaria	1.05 <sup>2</sup>	0.996 <sup>1</sup>	-	1.04 <sup>1</sup>	1.06 <sup>1</sup>	1.06 <sup>1</sup>
	Terciaria <sup>1</sup>	-	1.6 <sup>1</sup>	-	2.3 <sup>1</sup>	1.4 <sup>1</sup>	1.3 <sup>3,6</sup>
<b>Crecimiento poblacional (%)<sup>7</sup></b>	Total	1.83	0.09	1.56	0.47	-0.28	0.78
	Urbano	1.89	0.31	3.26	0.79	-0.34	1.69
	Rural	1.52	-1.09	0.39	0.04	0.68	-1.16
<b>Población que vive con menos de<sup>5,6</sup></b>	1.9 USD al día	-	-	-	-	-	5.58
	3.1 USD al día	-	-	-	-	-	11.96
<b>Índice de concentración de Gini<sup>1,6</sup></b>	Nacional	-	-	-	-	-	0.497
	Urbano	-	-	-	-	-	0.472
	Rural	-	-	-	-	-	0.475

<sup>1</sup>2013, <sup>2</sup>2010, <sup>3</sup>2015, <sup>4</sup>2014, <sup>5</sup>2012, <sup>6</sup>Dato para América Latina y el Caribe, <sup>7</sup>2005-2010

La tendencia general del crecimiento poblacional es positiva, con excepción de Puerto Rico, país con el mayor porcentaje de población urbana, en donde ésta se ha reducido y Cuba, donde la población rural también se redujo (CEPAL, 2016). La reducción de la población urbana en Puerto Rico es consecuencia de un proceso de suburbanización (Carrillo-Martín, 2013). Si bien menos del 50% de la población total en Haití es urbana, este tipo de población se triplicó de 2005 a 2010 y se prevé que dicha tendencia continúe (CEPAL, 2016). De manera general, el crecimiento poblacional se ha reducido ligeramente de 2000 a la fecha, aunque probablemente dicha reducción no sea suficiente para disminuir la pobreza y la desigualdad social en las ciudades del Caribe (PNUMA, 2010), ya que 17.5% de la población sobrevive con menos de 3.1 USD al día y el índice de Gini o de distribución del ingreso es cercano a 0.5 (cuadro 2.3).

### **2.3 Características económicas**

Desde tiempos coloniales, la economía de los países del Caribe ha estado muy ligada al ambiente, específicamente a la explotación de recursos naturales. Actualmente, el desarrollo económico y tecnológico, y el crecimiento de la población han estrechado más esta relación. A pesar de que la economía en las islas del Caribe es mejor que la de otros complejos insulares, el crecimiento de la misma depende en gran medida de inversiones y préstamos extranjeros. El flujo de recursos extranjeros se presenta de cuatro maneras: el comercio de bienes agrícolas y productos de bajo valor agregado, la importante derrama económica del turismo, la ayuda extranjera y las inversiones extranjeras en la exportación de bienes agrícolas y turismo. Dado que dicha entrada de recursos depende de la estabilidad de las economías estadounidense y europeas, las fuentes de recursos resultan volátiles, lo que afecta el desarrollo y la estabilidad de las economías caribeñas (PNUMA, 2004b).

### **2.3.1 Actividades económicas**

Una de las principales actividades económicas en el Caribe es la agricultura. Los principales cultivos en los países del Caribe son la caña de azúcar, tabaco, cítricos, café, cacao, papas, plátanos, maíz, frijoles, yuca, algodón, arroz, coco, mangos, piñas y diversos vegetales. Gran parte de estos productos agrícolas y otros producidos a partir de ellos (alimentos procesados, licores, etc.) son exportados principalmente a Estados Unidos, Europa y Asia (PNUMA, 2004b). Actualmente debido al acelerado crecimiento de las ciudades, los terrenos arables han sido convertidos en urbanos (PNUMA, 2010).

Por otro lado y a pesar de haber perdido una parte de su peso en la economía del Caribe por el crecimiento del turismo, la pesca sigue siendo la principal fuente de ingreso directo o indirecto para 1.5 millones de personas. La forma tradicional de pesca se sigue practicando ampliamente en la región, llevada a cabo por personas o cooperativas con capital limitado, a pequeña escala y dirigida a la captura de varias especies (Agard y Cropper, 2007). Los recursos marinos comúnmente extraídos son: pargo, mero, pez volador, camarón, langosta, caracol, damisela, gobios, ronco, lubina, jurel, pez loro, pez globo, lábridos, entre otros (PNUMA, 2004b; Agard y Cropper, 2007). La importancia de la pesca no sólo es económica sino social al constituirse como una fuente importante de empleo en una región en la que el desempleo surge como una problemática importante (Agard y Cropper, 2007).

En el Caribe, la actividad minera se reduce a la extracción de bauxita, de arena y de otros materiales para la construcción. Por otro lado, la extracción de petróleo en la región representa el 13% del total en América Latina y el Caribe. Este combustible fósil es la fuente de energía más importante en la región seguida del gas natural y las fuentes renovables. Sin embargo, los países siguen dependiendo de las importaciones



de combustible para cubrir sus necesidades energéticas. Dado que el mar Caribe poseen un gran potencial para la extracción de petróleo, Cuba ha ampliado su explotación a aguas más profundas (PNUMA, 2010; Agard y Cropper, 2007). La industria no tiene un rol preponderante en la economía del Caribe, excepto en Puerto Rico en donde este sector representa 45% del producto interno bruto (PIB) nacional (Agard y Cropper, 2007).

Sin duda, el sector económico que más ha prosperado en los últimos años es el de los servicios (Agard y Cropper, 2007), con algunas excepciones como en Haití (PNUMA, 2004b). El turismo ha sido generador de empleos y deja cada año derramas económicas importantes en los países del Caribe. En 2000, 25 millones de personas visitaron la región siendo Puerto Rico con 3.3 millones de visitantes, Cuba con 1.8 millones, Las Bahamas con 1.6 millones y Jamaica con 1.3 millones algunos de los destinos favoritos. Así mismo, llegaron 14.6 millones de turistas en cruceros. De entre ellos, Las Bahamas recibió a 2.5 millones y Puerto Rico a 1.3 millones (Agard y Cropper, 2007).

### **2.3.2 Crecimiento económico y PIB**

El PIB de los cinco países de los que se ha venido hablando y del Caribe, así como la aportación al PIB de algunas actividades económicas se muestra en el cuadro 2.4. En Las Bahamas, los sectores con mayor aporte al PIB son los relacionados con el turismo (hoteles, restaurantes y transporte) (cuadro 2.4). La industria al estar poco desarrollada en este archipiélago tiene la menor aportación al PIB respecto al resto de las actividades y respecto a la aportación que tiene este rubro en otros países.

En cambio, la aportación del sector servicios en Cuba no es tan importante y la industria

**Cuadro 2.4.** Producto interno bruto nacional y aportaciones por sector económico.  
Fuente: CEPAL, 2016

Rubro (%)	Las Bahamas	Cuba	Haití	Jamaica	El Caribe
<b>Producto interno bruto (PIB) (millones de USD)</b>	8,219.5	70,907.3	7,800.6	13,530.6	63,441.9
<b>Agricultura, silvicultura, caza y ganadería</b>	0.6	3.5	-	5.7	3.8
<b>Pesca</b>	0.9	0.1	-	-	-
<b>Minería</b>	1.05	0.6	-	1.2	14.5
<b>Industria</b>	3.5	15.6	-	7.6	6.2
<b>Hoteles y restaurantes</b>	11.9	5.2	-	4.1	-
<b>Transporte</b>	4.03	-	-	-	-

está más consolidada (PNUMA, 2004b). Los empleos e ingresos de exportación generados por el turismo en el Caribe son el doble del promedio global y un quinto de la inversión extranjera en la región se destina a este sector (Agard y Cropper, 2007).

El desarrollo económico en Las Bahamas, Jamaica y Puerto Rico es atribuido principalmente al crecimiento del turismo y el sector financiero. En comparación, el desarrollo económico en Cuba ha sido más sostenido y se ha visto menos afectado por las crisis económicas globales. En este país, tanto la agricultura, la industria y el sector servicios han experimentado crecimiento. Por otro lado, Haití ha tenido el menor desarrollo económico en la región debido a múltiples factores como los problemas sociales, la inestabilidad política, el agotamiento de recursos naturales y la mala gestión de la economía (PNUMA, 2004b).

La explotación de recursos naturales para abastecer el mercado internacional se ha convertido en el motor del desarrollo económico en los países del Caribe. Es así que el cambio a modelos de explotación más sostenibles se hace imperativo, si se desea

continuar en el camino del desarrollo económico y social a largo plazo. Así mismo, debe replantearse y revalorizarse el rol que tienen los recursos naturales en la economía (PNUMA, 2010).

## **2.4 Factores medioambientales**

El Caribe es una de las regiones en el mundo con mayor diversidad de ecosistemas terrestres, marinos y costeros. Dado que los dos últimos tipos de ecosistemas son los más afectados por el mal manejo de las aguas residuales, en esta sección se tratará solamente del estado y los esfuerzos de protección de los arrecifes de coral, los pastos marinos y los manglares.

### **2.4.1 Estructura y funcionamiento de los ecosistemas marinos y costero**

Las principales características de la estructura, la función y las amenazas al manglar, los pastos marinos y el arrecife de coral se resumen en el cuadro 2.5. Dado que existe un flujo constante de materia y energía entre estos ecosistemas, las amenazas y la pérdida de extensión en uno de ellos representan un riesgo para todo el sistema (Agard y Cropper, 2007).

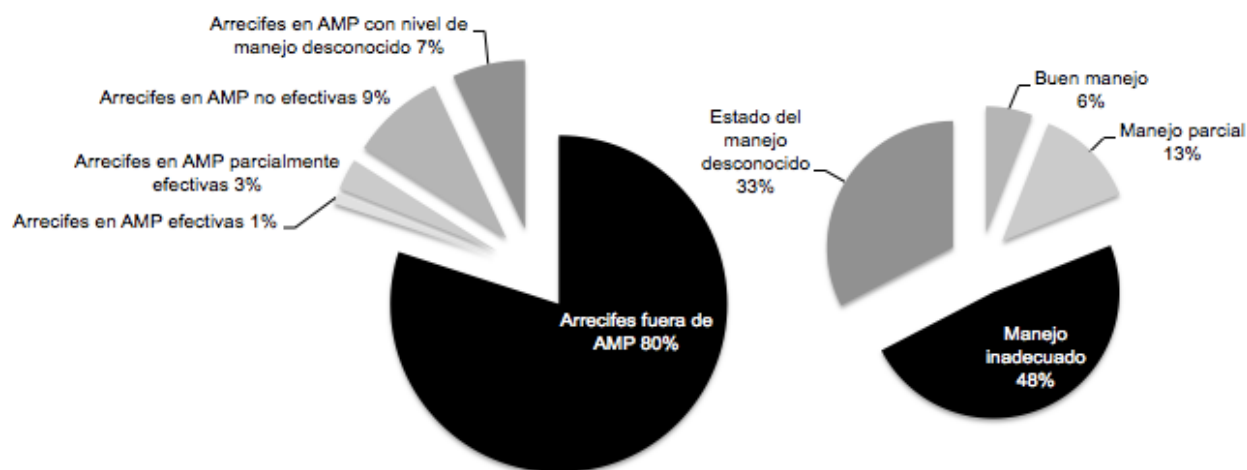
**Cuadro 2.5.** Estructura, servicios ambientales, amenazas y afectaciones a los ecosistemas costero-marinos en el Caribe.

Ecosistema	Estructura	Servicios ambientales	Amenazas y afectaciones	Referencias
<b>Manglar</b>	Las especies arbóreas dominantes son el mangle rojo ( <i>Rhizophora mangle</i> ), negro ( <i>Avicennia germinans</i> ) y blanco ( <i>Laguncularia racemosa</i> ). Los manglares son ecosistemas de transición entre el ambiente terrestre y el marino. Su distribución sigue la línea de costa.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hábitat, lugar de crianza y alimento para un gran número de especies terrestres y marinas.</li> <li>• Fuente de productos maderables y no maderables.</li> <li>• Protección de la costa contra vientos, tormentas, huracanes y corrientes marinas.</li> <li>• Retención de sedimentos.</li> </ul>	A pesar de los esfuerzos regionales por proteger a los manglares, su cobertura en el Caribe ha disminuido a un ritmo de 1% por año desde 1980. Algunas de las causas de la pérdida en cobertura son la tala, el cambio de uso de suelo (agricultura, acuicultura), la alteración del régimen hidrológico, la contaminación, la sedimentación, el turismo y la sobreexplotación costera.	PNUMA, 2004b; Agard y Cropper, 2007; PNUMA, 2010
<b>Pastos marinos</b>	Los pastos marinos se encuentran en aguas someras en las costas adyacentes a los manglares. La especie dominante es la 'hierba de tortuga' ( <i>Thalassia testudinum</i> ).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hábitat, lugar de crianza y alimento de diversas especies marinas.</li> <li>• Retención y estabilización de sedimentos.</li> <li>• Reducción de la fuerza de las olas.</li> </ul>	Algunas de las amenazas que pesan sobre este ecosistemas son la remoción para "mejorar" el aspecto de las playas, el dragado para hacer canales, el aumento de sedimentos provenientes de actividades de dragado y relleno en la costa y la contaminación y ulterior eutrofización	PNUMA, 2004b; Agard y Cropper, 2007
<b>Arrecife de coral</b>	Los arrecifes de coral son comunidades de corales que precipitan calcio creando estructuras duras. En el Caribe hay cerca de 26,000 km <sup>2</sup> de arrecifes de coral, lo que representa el 7% del total global.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Su compleja estructura tridimensional ofrece una gran variedad de hábitats a muchas especies marinas, algunas altamente amenazadas.</li> <li>• Protección contra tormentas, huracanes y oleaje.</li> <li>• Su gran productividad da sustento a una gran biodiversidad.</li> </ul>	Cerca de dos terceras partes de los arrecifes de coral en el Caribe están amenazados por alguna actividad antropogénica. Los arrecifes menos amenazados se encuentran en Las Bahamas (30%). Sin embargo, en Jamaica y Haití el 80% está en riesgo (una tercera parte altamente amenazada) y en Puerto Rico, lugar donde se encuentran los arrecifes más amenazados de la región, el 90% está en riesgo (80% altamente amenazada). Algunas de las causas de su deterioro son: contaminación marina y terrestre (aporte excesivo de nutrientes, derrames de combustible, etc.), aporte excesivo de sedimentos de zonas erosionadas adyacentes, sobrepesca, huracanes, enfermedades, blanqueamiento, extracción y daño por anclas.	PNUMA, 2010; Burke y Maidens, 2004; Ramírez-Flores, 2001; Agard y Cropper, 2007

## 2.4.2 Esfuerzos actuales de conservación

Las áreas naturales protegidas son la principal estrategia de conservación de los ecosistemas y de la biodiversidad en el Caribe (PNUMA, 2010). El ecosistema sobre el que se ha ejercido el mayor esfuerzo de conservación son los arrecifes de coral. A pesar de que 20% de los arrecifes en la región está dentro de áreas marinas protegidas (AMP) sólo el 4% se encuentra dentro de AMP con manejo adecuado o parcialmente adecuado (figura 2.2) (Burke y Maidens, 2004).

Sólo el 19% de las AMP en el Caribe tienen un manejo adecuado o parcialmente adecuado, es decir, tienen un plan de manejo, llevan a cabo actividades específicas de protección como patrullajes y cuentan con los recursos materiales y humanos necesarios (Burke y Maidens, 2004). El cuadro 2.6 muestra el número y el nivel de manejo de las AMP en los países insulares del Caribe y en la región. Cuba cuenta con el mayor número de AMP pero la mayor parte (80%) son manejadas de manera inadecuada. Jamaica y Puerto Rico tienen la mayor extensión de arrecifes protegidos (22% y 21% respectivamente). Haití, país en el que los arrecifes están altamente amenazados, no cuenta con ninguna área protegida.



**Figura 4.2.** Protección de los arrecifes de coral y nivel de manejo de las AMP en el Caribe.  
Fuente: Burke y Maidens, 2004

**Cuadro 2.6.** Número de AMP en el Caribe y el nivel de manejo.

Fuente: Burke y Maidens, 2004

País	Total de AMP	Nivel de manejo				Porcentaje de arrecifes dentro de AMP
		Bueno	Parcial	Inadecuado	Desconocido	
Las Bahamas	9	0	1	0	8	2
Cuba	30	0	4	24	2	13
Haití	0	0	0	0	0	0
Jamaica	4	0	1	3	0	22
Puerto Rico	15	0	3	7	5	21
<b>El Caribe</b>	<b>285</b>	<b>17</b>	<b>37</b>	<b>138</b>	<b>93</b>	<b>20</b>

Respecto a la protección de los manglares, existen 14 sitios Ramsar en el Caribe pero no se conoce la efectividad de esta denominación en la protección de estos ecosistemas (PNUMA, 2010). No se encontró información acerca de la protección específica de pastos marinos, aunque ciertas extensiones de éstos y de manglar podrían estar protegidos por las AMP descritas. Así mismo, los países han tratado de controlar el fenómeno de sobrepesca a través de regulaciones legales estableciendo un tamaño o peso mínimo para la comercialización de algunas especies (Puerto Rico), vedas, prohibiciones sobre el uso de redes o la reducción del uso de arrastre de fondo (Cuba), suspensión de exportaciones de especies amenazadas (Haití con la langosta y el caracol), entre otras estrategias (Wilkinson, 2008).

Algunos de los factores que propician el fracaso en el manejo de las AMP en el Caribe son (PNUMA, 2010):

- Interferencia de las políticas económicas y de comercio exterior.
- Poca efectividad de las instituciones nacional y locales relacionadas con el establecimiento y manejo de las AMP.
- Inestabilidad política, pobreza y corrupción.

- Se da prioridad a los arrecifes de coral dejando sin protección a manglares y pastos marinos.
- Factores esenciales como el tamaño, la conectividad y la distancia entre reservas no se han tomado en cuenta al momento de crear AMP.
- Carencia de recursos humanos y financieros suficientes.
- Poca participación de todos los sectores involucrados sobre todo de las comunidades locales en la planeación, implementación y gestión de las AMP.

Además de afrontar los retos que presentan estas situaciones y las grandes amenazas sobre los ecosistemas derivadas de actividades antropogénicas, los países insulares en el Caribe deben comenzar a proteger la biodiversidad en zonas urbanas, periurbanas y semiurbanas (PNUMA, 2010).

## **2.5 Aspectos científico-tecnológicos**

Según un estudio realizado por el PNUMA en 2010 algunas de las características del desarrollo tecnológico y científico en el Caribe son:

- No hay suficiente personal capacitado debido a una escasa inversión en el sector.
- Fuerte tendencia a importar y adaptar tecnología extranjera ya que existe un rezago interno en la generación de conocimiento y de tecnología.
- Si bien el número de publicaciones científicas se duplicó entre 1997 y 2006, éste se da principalmente en universidades e instituciones que no tienen suficiente vinculación con el sector industrial y productivo, situación que no ocurre en países desarrollados.
- Especialización en áreas como la agricultura y baja participación en investigación y desarrollo traducido en un bajo número de patentes otorgadas.

- Tendencia a importar tecnología de punta para solucionar problemas de sostenibilidad.
- Las instituciones del sector ambiental han privilegiado el uso de tecnología para el tratamiento de residuos urbanos, descuidando otras áreas del sector ambiental. Aun así, el manejo de residuos es insuficiente.

La aplicación de tecnología extranjera adaptada para la colección y tratamiento de aguas residuales puede llevar al fracaso de las operaciones si no se toman en cuenta las particularidades físicas, climáticas y sociales de la región, poniendo aún más en peligro al medioambiente.

## **2.6 El saneamiento en el Caribe en un contexto internacional**

Los esfuerzos en los últimos años para la prevención, protección y restauración del medioambiente en el Caribe de los últimos años han sido propiciados en gran parte por una multitud de instituciones, acuerdos, convenios, protocolos y programas internacionales creados para abordar los problemas ambientales y que han servido como referencia para la creación de instituciones, ministerios o agencias a nivel nacional, regional y local. El cuadro 2.7 incluye una lista que no busca ser exhaustiva que ha formado un marco de referencia internacional para el saneamiento y el tratamiento de aguas residuales. El Convenio de Cartagena y sus protocolos son los acuerdos que más impacto han tenido en la región. Debe propiciarse la ratificación del convenio y sus protocolos en los países que aún no lo han hecho, como Haití, ya que representan marcos legales de referencia y jurídicamente vinculantes a partir de los cuales pueden generarse acciones concretas para el mejoramiento del saneamiento y del tratamiento de aguas residuales, protegiendo así la salud humana y la integridad de



**Cuadro 2.7.** Marco de referencia internacional para la protección del medioambiente marino contra la contaminación de actividades terrestres.

<b>INSTITUCIONES Y AGENCIAS</b>			
<b>Acrónimo</b>	<b>Nombre</b>	<b>Mandato</b>	<b>Referencia</b>
CAR/RCU	Unidad Regional Coordinadora de PNUMA en el Caribe	Establecida en 1986 funge como secretaría del Programa Ambiental del Caribe (CEP) y de la Convención de Cartagena.	PNUMA/CEP, 2015a
ROLAC	Oficina Regional para América Latina y el Caribe	Esta institución trabaja para ayudar a satisfacer las necesidades de la región y sus actividades están descritas en los programas establecidos por PNUMA.	PNUMA, 2016
<b>ACUERDOS Y CONVENIOS</b>			
<b>Acrónimo</b>	<b>Nombre</b>	<b>Mandato</b>	<b>Referencia</b>
MARPOL 73/78 (Anexo IV)	Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques	Formado por seis anexos técnicos, este convenio busca prevenir y minimizar la contaminación accidental o intencional de los mares y océanos proveniente de barcos. El Anexo IV habla específicamente de contaminación por aguas residuales. Sólo Jamaica se ha adherido a este convenio.	IMO, 2016a; IMO, 2016b
Convenio de Cartagena	Convención para la Conservación y Desarrollo del Medio Marino de la Región del Gran Caribe	Tratado jurídica y regionalmente vinculante establecido en 1983 que brinda marco legal al Programa Ambiental del Caribe (CEP) a través de tres protocolos que tratan de resolver tres problemas específicos: derrames de combustible, áreas protegidas y vida silvestre, y contaminación marina de fuentes terrestres. Sólo Haití no ha ratificado este convenio.	PNUMA/CEP, 2015a; PNUMA/CEP, 2015b
Protocolo LBS	Protocolo Relativo a la Contaminación Procedente de Fuentes y Actividades Terrestres	Instrumento legal y regional que apoya la elaboración e implementación de leyes y normas dirigidas a la prevención de la contaminación del medio marino proveniente de fuentes terrestres. Las Bahamas, Jamaica y Puerto Rico han ratificado este protocolo.	PNUMA/CEP, 2006; PNUMA/CEP, 2015b
<b>PROGRAMAS</b>			
<b>Acrónimo</b>	<b>Nombre</b>	<b>Mandato</b>	<b>Referencia</b>
Agenda 21	Agenda 21	Establece que los gobiernos deben hacer frente a los problemas de salud y del medioambiente derivados de un mal manejo de aguas residuales.	ONU, 2016
CEP	Programa Ambiental del Caribe	En conjunto con el Programa de Acción Mundial (GPA) apoya la implementación de Planes de Acción Nacional (NPA) en el Caribe.	PNUMA, 2012
CEPPOL	Programa Regional para la Evaluación y Control de la Contaminación Marina	Desde 1990 este programa lleva a cabo diversas actividades de evaluación y control de la calidad medioambiental en el Caribe. Una de las siete áreas de acción de este programa es el control de fuentes terrestres de contaminación domésticas, agrícolas e industriales.	PNUMA, 1994
CRew	Proyecto del Fondo Regional del Caribe para el Manejo de Aguas	Programa de cuatro años que tiene por objetivo general el establecimiento de mecanismos innovadores de financiamiento en la	PNUMA/CEP, 2015b

	Residuales	región del Gran Caribe para lograr un flujo sostenible de recursos al manejo de las aguas residuales.	
GPA	Programa de Acción Mundial para la Protección del Medio Marino contra las Actividades Realizadas en Tierra	La función de este programa creado en 1995 es asistir a los países en el mundo a llevar acciones nacionales o regionales de prevención, reducción, control o eliminación de la degradación del medio marino. El progreso de cada país se evalúa cada 5 años.	PNUMA, 1995
GW <sup>2</sup> I	Iniciativa Global de Aguas Residuales	Esta iniciativa es una plataforma en la que diversos sectores interesados (gobiernos, científicos, organizaciones internacionales, etc.) promueven la acción conjunta y las inversiones en todas las áreas relacionadas con las aguas residuales.	GPA, 2014
JMP	Programa Conjunto de Monitoreo para el Abastecimiento de Agua Potable y Saneamiento	Este programa conjunto de la ONU y la OMS creado en 1990 tiene como objetivo la elaboración de reportes sobre el estado global del saneamiento y el abastecimiento de agua potable.	ONU, 2014
NPA	Plan Nacional de Acción para la Protección de Ambientes Costeros y Marinos de Fuentes Terrestres de Contaminación	Concebidos como herramienta para abordar de una manera lógica e integral la contaminación en un contexto nacional. Así, el desarrollo de NPA en cada país debe estar delimitado por marcos de referencia nacionales. Las Bahamas, Cuba y Jamaica ya han completado NPA.	PNUMA, 2006
PAE	Plan de Acción Estratégico sobre Aguas Residuales Municipales y los Lineamientos sobre el Manejo de Aguas Residuales Municipales	El objetivo de este plan es la realización de acciones concretas a nivel local y nacional encaminadas a la búsqueda de tecnologías de saneamiento y tratamiento de aguas residuales, mecanismos innovadores de financiamiento, asociaciones productivas, entre otras.	PNUMA/OMS/HABITAT/WSSCC, 2004
WET-WASH	Objetivos de Emisión de Aguas Residuales, Saneamiento e Higiene para Todos	Campaña orientada al establecimiento de objetivos de emisión que pueden ser alcanzados en una generación. Se abordan los temas de salud, ambiente y pobreza.	PNUMA, 2005; PNUMA/PAM, 2002

los ecosistemas. Así mismo, deben promoverse el resto de los convenios y programas sobretodo aquellos que dirigen sus esfuerzos a la región.

### **Capítulo III. Introducción a las alternativas de colección y tratamiento de aguas residuales para el Caribe**

En la primera parte de este capítulo se discuten las ventajas y desventajas de opciones de saneamiento diferentes a la convencional. Posteriormente se describen cuatro elementos en común que se encontraron en algunas metodologías para diseñar planes de manejo de saneamiento. En la última parte se describen de manera muy breve tres de estas metodologías que se consideran propicias para el contexto social de los países insulares del Caribe.

#### **3.1 Los paradigmas del saneamiento**

Desde hace algunos años, se ha abogado por un cambio de paradigma en el saneamiento hacia la implementación de tecnologías diferentes a los sistemas de alcantarillado convencional y el tratamiento centralizado de aguas residuales (Winblad, 1996). A pesar de que el tratamiento en grandes plantas es en muchas ocasiones adecuado en ambientes urbanos, los países en desarrollo en los que aún un gran porcentaje de la población carece de instalaciones sanitarias mejoradas, un tratamiento de este tipo resulta prohibitivamente costoso. En dichas circunstancias, resulta conveniente analizar otras opciones de saneamiento y tratamiento. Aun así, la elección de un tipo de saneamiento dependerá del tamaño y densidad poblacionales, del tipo de uso de suelo, del clima, de las características ambientales, económicas, sociales de la región, de los hábitos y prácticas de la población, entre otros aspectos (CSD, 2005). A continuación se describen otros “paradigmas” del saneamiento que pueden ayudar a solucionar el problema en los países en desarrollo.

### **3.1.1 Tratamiento centralizado y descentralizado de aguas residuales**

El tratamiento centralizado se basa en la concentración de las aguas residuales en una planta de tratamiento (alejada del lugar de generación) transportadas ahí por un sistema de alcantarillado. El costo de construcción, operación y mantenimiento de este tipo de saneamiento es muy alto. En cambio, en el tratamiento descentralizado las excretas humanas y las aguas grises son tratadas por separado en lugares cercanos al de generación (SNV, 2015).

El tratamiento descentralizado es menos costoso si se utilizan tecnologías menos sofisticadas (pero no por eso menos efectivas) en las que la descomposición de materia orgánica y la inactivación de patógenos se logra por acción de elementos naturales como la radiación solar, el calor, la acidez del medio, la sedimentación por gravedad, entre otros. El mantenimiento y operación de dichos sistemas también es más sencillo y menos costoso. Por otro lado, tratan volúmenes mucho menores de aguas negras y grises, y los procesos son más lentos (CSD, 2005). Aun así, la Organización Neerlandesa para el Desarrollo (SNV) (2005) promueve el saneamiento sostenible descentralizado (SSD) ya que ofrece numerosas ventajas:

- Menores costos de inversión, operación y mantenimiento.
- Es posible lograr una rápida cobertura ya que su implementación es más fácil.
- Representa una visión más integral del ciclo del agua y de la gestión de los recursos hídricos.
- Permite una mayor participación de la comunidad, de ONG y de prestadores de servicios medianos y pequeños.
- La cantidad de aguas negras y grises tratadas es mucho menor.

- Promueve el uso y desarrollo de tecnologías menos costosas y con menor impacto en el medioambiente.

La implementación del SSD requiere de un marco normativo e institucional que especifique claramente la gestión de las aguas residuales y que regule la participación de actores públicos, privados y de la comunidad en dicha gestión. Un elemento esencial de este tipo de saneamiento es el completo involucramiento de la comunidad que se logra si los beneficios emanados del sistema cubren cabalmente sus necesidades (aunque esta necesidad puede ser “creada”, ver sección 3.3.1). Asimismo, se busca que la población considere seriamente el reuso de los desechos tratados (SNV, 2005).

A pesar de que en muchos documentos se expone que la colección y tratamiento descentralizado de excretas y aguas grises no es adecuado para ambientes urbanos, la urbanización acelerada, la baja cobertura de saneamiento y la pobreza en la que viven muchas personas en zonas periurbanas y asentamientos ilegales justifica el uso de sistemas de colección y tratamiento descentralizados también en zonas urbanas de países en desarrollo (ver capítulo 4) (Saywell y Shaw, 2007). Esto se vuelve cada vez más evidente cuando existen plantas de tratamiento en países en desarrollo que ya no operan o no son mantenidas u operadas adecuadamente por falta de recursos financieros y personal capacitado (Parr, Smith y Shaw, 2007).

Se cree que una de las principales limitaciones para el uso de tecnologías de colección y tratamiento a nivel de casa-habitación (letrinas, inodoro de compostaje, etc.) en ciudades es la falta de espacio. Sin embargo, se han encontrado hogares con una extensión de hasta 14 m<sup>2</sup> con este tipo de sistemas funcionando correctamente. Asimismo, la mayoría de los usuarios están satisfechos con el funcionamiento del

sistema (Saywell y Shaw, 2007). Al parecer, los inconvenientes que se atribuyen a los sistemas descentralizados y de baja tecnología requieren un mayor análisis.

Por otro lado, en Brasil, Bolivia y Perú se ha probado con éxito desde hace tres décadas un sistema de alcantarillado más sencillo y menos costoso que los sistemas convencionales llamado alcantarillado condominial. A través de este sistema se provee de agua potable o alcantarillado a un bloque de casas (condominio) y no a cada casa como en el sistema convencional. En varias ciudades, fue posible reducir los costos entre 30% y 60% acortando la extensión y diámetro de las tuberías, colocándolas a menor profundidad y modificando las estaciones de inspección. Dichas modificaciones no afectaron la operación y mantenimiento de la red, la cual no presentó mayores retos que una red convencional. Además, como el saneamiento sostenible descentralizado, el alcantarillado condominial estimula una participación completa de la comunidad en el diseño, construcción, operación y mantenimiento e incluso en actividades de educación sanitaria. También promueve una mejor comunicación entre prestadores de servicios y los usuarios. Los sistemas de tratamiento descentralizados se contemplan como la mejor opción para acoplar con el alcantarillado condominial (Lampoglia y Mendoza, 2006; WSP, 2005).

### **3.1.2 Saneamiento seco**

El saneamiento seco es la disposición de heces y orina humanas sin utilizar agua como acarreador. Las heces pueden pasar por uno de dos procesos: deshidratación o descomposición. En el caso de la deshidratación, se dispone de manera separada de la orina y las heces. La orina puede almacenarse o dirigirse a un lecho filtrante (ver sección 3.2). Las heces van a una cámara a la que se agrega cal, tierra o cenizas después de cada uso para ayudar al proceso de deshidratación. El producto final son

heces deshidratadas. En la descomposición, las condiciones dentro de la cámara en donde caen las excretas son controladas (temperatura, humedad y aireación) para lograr la producción de composta por bacterias, lombrices u otros organismos. También se agregan otros compuestos celulósicos como desechos de frutas y vegetales, paja, aserrín, cáscara de coco e incluso estiércol. El producto final es composta. La composta puede utilizarse como acondicionador de suelo y las heces deshidratadas pueden enriquecer suelos pobres y mejorar la retención de agua y carbono del suelo (Peasey, 2000; Tilley et al., 2014).

La gestión inadecuada de instalaciones de saneamiento seco representa una gran amenaza para la salud humana si todavía hay patógenos viables en heces deshidratadas o en la composta al momento de entrar en contacto con estos productos durante el vaciado de las cámaras. Además, el estado de salud de los usuarios también determina el nivel de riesgo de este tipo de saneamiento. La información sobre tasas de supervivencia de patógenos en composta es mayor que en heces deshidratadas, pero se reconoce que existe un riesgo para la salud humana (Blum y Feachem, 1985; Strauss, 1985). En consecuencia, se requiere más información sobre la supervivencia de patógenos en los productos de estos sistemas para saber si su gestión y uso no representan un riesgo para la salud humana, lo que hace de su adopción un proceso lento (Peasey, 2000).

El cuadro 3.1 enlista las principales ventajas y desventajas que ofrecen instalaciones de saneamiento seco correctamente operadas. Cabe destacar que este tipo de saneamiento es adecuado en zonas de baja densidad poblacional (rurales o periurbanas); no sería muy apropiado en zonas urbanas donde hay poco espacio y

**Cuadro 3.1.** Ventajas y desventajas del saneamiento seco.

Fuente: Peasey, 2000; Scott, 2002

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
El consumo de agua es mínimo. La construcción es fácil y económica. Las unidades prefabricadas son también fáciles de instalar.	Es común que se utilicen de manera incorrecta. La operación no es tan simple. Se requieren conocimientos básicos de los procesos de compostaje y deshidratación.
La contaminación del agua subterránea es menos probable ya que las excretas están contenidas en la cámara.	La limpieza del asiento del inodoro puede ser un poco complicada ya que no debe utilizarse mucha agua, sobretodo cuando se tiene un inodoro desviador de orina. Si las superficies quedan sucias pueden generarse olores desagradables, gérmenes y moscas.
El contenido de patógenos viables en la composta y las heces deshidratadas es bajo.	La composta y las heces deshidratadas todavía pueden contener muchos patógenos viables si las instalaciones no se utilizan de manera adecuada o si no pasa el tiempo requerido dentro de la cámara bajo las condiciones adecuadas.
No hay olores desagradables ni presencia de moscas.	Los hombres deben sentarse para orinar, lo cual puede ser una práctica no aceptada.
La composta o las heces deshidratadas pueden utilizarse como acondicionadores de suelo y la orina como fertilizante.	Si se utiliza agua en lugar de papel u otro tipo de materiales secos para limpiarse después de utilizar el inodoro, se debe disponer de éstos de manera separada.
Si se da suficiente información y capacitación a la población, este sistema puede ser muy bien aceptado.	Las instalaciones deben probarse durante algunos años en una comunidad para que las personas aprendan a utilizarlas correctamente y experimenten los beneficios de este tipo de saneamiento.
Las mujeres se sienten más cómodas y se tiene menos temor de que los niños caigan dentro.	
La población ya no tiene que depender de sistemas centralizados.	

poca o nula demanda de composta o heces deshidratadas como acondicionadores de suelo (Peasey, 2000; Scott, 2002).

### **3.1.3 Saneamiento ecológico**

Comúnmente conocido como EcoSan, este nuevo paradigma o concepto aboga por una nueva visión de saneamiento que contemple el uso racional de los recursos, principalmente el agua, y la protección de los ecosistemas que son afectados por descargas de aguas no tratadas o pobremente tratadas (DWC, 2016).



Una de las principales consignas de este nuevo paradigma es no mezclar heces con orina, excretas humanas con agua, aguas negras con aguas grises, aguas residuales municipales con industriales y aguas residuales con agua de escorrentía. Así, será más fácil el tratamiento de cada tipo de residuo (Winblad, 1996). La otra consigna importante es la disposición y gestión seguras, además de la desinfección, de las excretas humanas en el lugar de generación (DWC, 2016).

Las heces pueden utilizarse después de un tratamiento primario (deshidratación), secundario (compostaje) o terciario (incineración). La orina puede evaporarse, dirigirse a un lecho de filtración o almacenarse y utilizarse después como fertilizante (Winblad, 1996). Si bien el saneamiento ecológico se estableció como un concepto y no como un tipo de tecnología (DWC, 2016), se han elaborado inodoros o instalaciones “ecológicas” que no sólo se han comercializado en países en desarrollo o en comunidades con recursos limitados.

Un primer ejemplo de instalación ecológica es el inodoro deshidratador WM Ekologen, comercializado en Suecia que se instala dentro de los hogares. La orina es almacenada para usarse después como fertilizante y las heces son deshidratadas en una pequeña cámara justo debajo del inodoro. Otro ejemplo conocido es el inodoro de compostaje Clivus Multrum en el que las excretas humanas se mezclan con compuestos celulósicos en una cámara conectada al inodoro y a la cocina (Peasey, 2000). Otro modelo de inodoro de compostaje es el diseñado por el Centro de Cooperación para el Desarrollo (CCD por sus siglas en inglés) para climas tropicales. La cámara de compostaje esta conectada a un invernadero para eliminar la humedad por evotranspiración. Dentro de la cámara se utilizan redes de nailon y hojas para separar los sólidos de los líquidos (Winblad, 1996).

### **3.2 Las aguas residuales como recurso**

Como ya se expuso en secciones anteriores, las aguas residuales contienen una gran cantidad de nutrientes, principalmente fósforo y nitrógeno, que podrían utilizarse después de ser tratadas en el riego de cultivos, la acuicultura o la producción de biogás. Así, las aguas residuales comienzan a considerarse un recurso más que un desecho, sobretodo en regiones en las que escasea el agua y en concordancia con los principios de desarrollo sostenible (CSD, 2005; Kalbermatten et al., 1982; Noyola, Morgan-Sagastume y Güereca, 2013).

El uso seguro de heces deshidratadas, de composta o de humus (similar a la composta obtenido de tecnologías como Fossa Alterna (ver sección 4.1.3) requiere un tiempo de almacenamiento mínimo de 12 meses con un pH alcalino (aunque algunos autores recomiendan hasta 24 meses) (Tilley et al., 2014; Peasey, 2000). La composta debe contener menos de 1 huevo de nematodo por kilogramo de masa húmeda y menos de 1,000 unidades de coliformes fecales por litro si se quiere aplicar directamente sobre la superficie (Peasey, 2000). Las heces deshidratadas deben dejar de aplicarse al suelo un mes antes de la cosecha de cultivos comestibles, sobretodo si se comen crudos. El humus de Fossa Alterna ha probado su eficacia en jardines de hortalizas (Tilley et al., 2014).

El contenido de patógenos en la orina humana es mucho menor que el de las heces, sin embargo, puede haber contaminación cruzada de la orina en las instalaciones sanitarias (Stenström et al., 2011). Así, se recomienda almacenar la orina por 6 meses para utilizarla de forma segura. Como con las heces deshidratadas, se recomienda dejar de fertilizar los cultivos con orina un mes antes de la cosecha de cultivos comestibles. Los cultivos que han respondido positivamente a la fertilización con orina

son maíz, arroz, mijo, sorgo, trigo, acelga, nabo, zanahoria, col, repollo, plátano, papaya y naranjas (Tilley et al., 2014), algunos de los cuales son cultivos importantes en el Caribe (ver sección 2.3.1).

En el caso de efluentes (libres de sólidos y patógenos, es decir, que han pasado por tratamiento primario y secundario) (Tilley et al., 2014) que contienen gran cantidad de nutrientes pueden ser útiles en numerosas actividades como riego de áreas verdes públicas, llenado de lagunas o arroyos artificiales, llenado de cisternas para apagar incendios, lavado de automóviles, en la industria (en sistemas de enfriamiento, intercambiadores de calor, lavado de estructuras o vehículos), entre otras (Noyola, Morgan-Sagastume y Güereca, 2013). También pueden irrigarse cultivos alimenticios como la alfalfa y el maíz, y otro tipo de cultivos como el algodón, el tabaco, árboles frutales, el eucalipto, el álamo, el sauce y los mencionados en el párrafo anterior (Tilley et al., 2014).

Finalmente, los lodos resultantes de la remoción de sólidos de las aguas residuales (de origen municipal preferentemente) pueden también servir como acondicionadores de suelo o fertilizantes después de que se ha eliminado la mayor parte de la humedad, los patógenos y otros compuestos contaminantes (p.e. metales pesados). Los lodos provenientes de aguas residuales industriales pueden contener grandes cantidades de compuestos contaminantes, lo que complica su reutilización. El reuso de los lodos puede ser menos costoso que disponer de ellos en un vertedero (Noyola, Morgan-Sagastume y Güereca, 2013; Tilley et al., 2014).

Mas allá de los riesgos a la salud que implica un mal reuso de las aguas residuales tratadas, deben tomarse en cuenta factores económicos, técnicos y sociales relacionados con este reuso. Debe existir un mercado para las porciones tratadas, es

decir, deben identificarse actividades (agricultura, estanques de plantas y de peces) en las que puedan utilizarse los recursos. El reuso no debe ser altamente redituable para considerarse, sólo debe ser un poco más económico que otras opciones. También deben tomarse en cuenta las actitudes de las personas hacia la manipulación de excretas tratadas. Algunas comunidades pueden resistirse a utilizarlas basados en creencias religiosas o convenciones sociales. Y por último, el reuso debe seguir un cuidadoso proceso de planificación para disminuir los riesgos a la salud humana y al ambiente (Tilley et al., 2014). Así, el reuso de aguas residuales tratadas puede ser un componente importante en el proceso de mejora del saneamiento en el Caribe, pero se necesita un cambio de enfoque en varios contextos.

### **3.3 Elaboración de un plan de manejo de aguas residuales**

Kalbermatten y colaboradores (1982) definen un plan de manejo de aguas residuales como el proceso a través del cual se identifica, diseña e implementa la mejor tecnología de saneamiento y definen a la mejor tecnología como aquella que provee un saneamiento social, ambiental y técnicamente adecuado con el menor costo. El plan de manejo debe contemplar los lineamientos para una operación y un mantenimiento correctos de las instalaciones de saneamiento para obtener los beneficios de cualquiera de las tecnologías que se utilizan (House et al., 2007).

Actualmente, existen varias metodologías para elaborar un plan de manejo de aguas residuales (Kalbermatten et al., 1982; Lüthi et al., 2011; Parkinson, Lüthi y Whalter, 2014) y en muchas de ellas se distinguen ciertos elementos comunes como el análisis de la demanda, la educación y la participación de la comunidad en la elaboración del plan; los criterios de selección de las tecnologías de saneamiento; y el análisis social,

técnico, financiero y ambiental. Todos estos elementos se discuten brevemente a continuación y después se enlistan las etapas de tres metodologías.

### **3.3.1 Análisis de la demanda, educación y participación comunitaria**

Si se lleva a cabo de manera óptima, el análisis de la demanda provee información detallada y representativa de las preferencias de los usuarios, de su capacidad y disposición para pagar por el saneamiento, de su respuesta a ciertas opciones, entre otros aspectos. A pesar de que se reconoce que el análisis de la demanda es un punto esencial en la identificación de la mejor opción de saneamiento, no parece existir consenso entre los profesionales y actores respecto al significado de demanda y a la forma de medirla (Parry-Jones, 1999). Sin embargo, de manera general deben tomarse en cuenta los siguientes aspectos al evaluar la demanda: características demográficas (edad, ingresos por hogar, género, nivel educativo, ocupación, etc.), beneficios adicionales de las nuevas prácticas de saneamiento respecto a las ya existentes, percepción de las autoridades y los prestadores de servicios por parte de la comunidad, entre otros (Jenkins y Curtis, 2005; Parry-Jones, 1999).

En muchos proyectos la implementación de tecnologías de saneamiento se realizó sin tomar en cuenta la demanda existente, ya que pesaban más los objetivos de desarrollo de los gobiernos locales. Los resultados de este tipo de proyectos han demostrado que las comunidades hacen uso de los sistemas sanitarios que fueron diseñados con base en sus necesidades y cuando perciben claramente los beneficios de dichos sistemas, y que el proyecto está condenado al fracaso si la comunidad no participa en él (Kalbermatten et al., 1982; SNV, 2014). Así, hay metodologías que basan la elección de una tecnología dada en la demanda. Sin embargo, hay autores que expresan reservas respecto a esta estrategia, ya que la demanda puede no ser suficiente o existen

limitaciones técnicas, financieras e institucionales que dejan sólo algunas opciones viables. En el primer caso, la demanda podría ser “creada”, es decir, se debe suscitar el interés de la comunidad por algunos sistemas de saneamiento y en el segundo caso el análisis puede no ser ya necesario si sólo quedara como una colección de información. Más allá del peso de la demanda en la elección de una tecnología, la participación de la comunidad en el diseño e implementación de un plan de manejo ha probado aumentar las probabilidades de éxito (Jenkins y Curtis, 2005; Parry-Jones, 1999).

De manera general, la forma de obtener información de la comunidad es a través de encuestas y entrevistas. Existen diversas técnicas para llevar a cabo estas entrevistas y su aplicación adecuada depende principalmente del tamaño de la población a la que se aplican. Por ejemplo, Parry-Jones (1999) documenta que la evaluación participativa es una técnica efectiva en proyectos rurales en los que es importante que las autoridades locales o los encargados del proyecto establezcan una relación con las personas de la comunidad y es necesario establecer un diálogo de dos vías que propicie la acción de la comunidad en la elaboración del plan de manejo. Sin embargo, en proyectos urbanos las encuestas de valoración contingente son más apropiadas para determinar entre otras cosas las tarifas del servicio, los subsidios y la recuperación de la inversión. El autor concluye que, de ser posible, las diferentes técnicas pueden aplicarse en diferentes etapas de la elaboración del plan, pero nunca deben mezclarse sino suceder en paralelo para obtener la información necesaria.

La educación sobre higiene, saneamiento y manejo de los recursos hídricos es otro elemento que es considerado para algunos como determinante para el éxito de un programa de saneamiento. Dado que temas como la higiene o la protección al medioambiente pueden no ser prioritarias para la comunidad, se han diseñado varias

estrategias para transmitir los beneficios de un programa de saneamiento como sesiones con cada sector de la población (por edad, por sexo), uso de diferentes medios visuales y auditivos, el uso de incentivos para asistir a las reuniones (comida o artículos de cuidado personal gratuitos) o la impartición de los temas por líderes o personas con gran influencia en la comunidad (House et al., 2007; Saywell y Hunt, 1999). Por otro lado, otros autores abogan por la identificación de los “motivadores” por los cuales las comunidades podrían adoptar otro tipo de prácticas de saneamiento, ya que éstas podrían tener poco que ver con la protección de la salud y el medioambiente. Por ejemplo, Jenkins y Curtis (2005) descubrieron que el principal motivador de comunidades rurales en Benín en África para optar por una letrina como opción de saneamiento era el prestigio. Otro aspecto a considerar es el hecho de que los beneficios a la salud relacionados con el saneamiento tienen más que ver con prácticas higiénicas que con la elección de una tecnología particular (Cairncross, 2003).

### **3.3.2 Comparación de tecnologías de colección y tratamiento de aguas residuales**

La opción más popular para comparar tecnologías es el arreglo de ciertos criterios técnicos, financieros, sociales y ambientales en una matriz en la que cada criterio será evaluado para cada tecnología (Kalbermatten et al., 1982). Según Kalbermatten y colaboradores (1982) la tecnología apropiada debe ser la menos costosa, realizable en términos técnicos, asequible para los usuarios y mantenida de manera efectiva por los mismos, para la cual el marco normativo e institucional permita una operación adecuada y que contemple las necesidades futuras de la población. Además, Noyola, Morgan-Sagastume y Güereca (2013) consideran que la tecnología debe ser también sostenible, utilizando la menor cantidad de recursos y de energía, adaptándose a las

condiciones sociales y económicas de la comunidad, teniendo el menor impacto sobre el ambiente y considerando el reuso de los desechos generados.

A continuación se presenta una lista de factores que se toman en cuenta en matrices de decisión. Cabe destacar que la lista no busca ser exhaustiva y dependiendo de las características de la región, algunos factores podrían reemplazarse (Kalbermatten et al., 1982; Noyola, Morgan-Sagastume y Güereca, 2013):

- Factores técnicos: acceso a una conexión de agua u otras fuentes (captación de agua de lluvia, pozos), condiciones del suelo (estabilidad, permeabilidad, dureza), densidad poblacional, tipo de material utilizado para limpieza anal (materiales secos o agua), operatividad de las tecnologías, tipo de aguas residuales (municipales, agrícolas, industriales).
- Factores financieros: costos, financiamiento externo, subsidios, capacidad de pago de la comunidad, inversiones complementarias (p.e. vaciado de letrinas), reuso de desechos.
- Factores sociales: disponibilidad de recursos humanos capacitados, aceptación de la comunidad.
- Factores ambientales: impacto sobre el ambiente de los desechos producidos, producción de gases de efecto invernadero en el tratamiento de efluentes y lodos.

Los conceptos, matrices y metodologías disponibles deben adaptarse en la medida de lo posible a cada situación, no deben utilizarse de manera mecánica porque arrojarán resultados inadecuados. En resumen, la tecnología adecuada cumplirá con tres factores: es aceptada socialmente, tiene el menor impacto al medioambiente y los menores costos (Noyola, Morgan-Sagastume y Güereca, 2013).



### **3.3.3 Análisis técnico, económico, social y ambiental de las opciones de saneamiento**

El análisis económico tiene como objetivo principal buscar las herramientas que harán asequible la tecnología elegida para la comunidad servida (Kalbermatten et al., 1982). Dado que en muchas ocasiones los gobiernos locales en los países en desarrollo no cuentan con el presupuesto para proveer de instalaciones sanitarias mejoradas a toda la población, se ha propuesto recurrir al sector privado con regulación del gobierno local para asegurar que se está proveyendo un servicio adecuado (CSD, 2005). Sin embargo, existen algunas inconsistencias. Primeramente, la participación del sector privado en el saneamiento en países en desarrollo se ha visto concentrada en un puñado de empresas internacionales pues los procesos de licitación son complejos, difíciles de ganar por empresas locales. Además se tiene una percepción bastante negativa de la “privatización” de servicios públicos (Harbach y Rudolph, 2007). Finalmente, la justificación expresada por muchos para la participación de las empresas dada la incapacidad de los gobiernos de proveer de saneamiento mejorado a toda la población puede no ser acertada. En muchas ocasiones, el aumento de inversiones tan esperado cuando el sector privado participa en la prestación de servicios sanitarios no ha ocurrido y las empresas han sacado ventaja de su mayor experiencia en negociación de contratos (Cairncross, 2003).

En el análisis económico, todos los costos (no sólo financieros) deben identificarse y evaluarse (determinar el monto). Esto permitirá el establecimiento de una tarifa (cuando se trate de sistemas centralizados) que debe cubrir gastos de administración, operación y mantenimiento (SNV, 2014). Si los costos de implementación de los sistemas de saneamiento representan de 5% a 10% de los ingresos de una familia debe

considerarse el subsidio gubernamental para realizar el proyecto (Noyola, Morgan-Sagastume y Güereca, 2013). Sin embargo, dado que ha habido situaciones en las que los subsidios tienen consecuencias negativas, pueden implementarse otro tipo de estrategias como los micro-financiamientos (Saywell y Hunt, 1999).

El análisis ambiental permitirá determinar claramente el tipo y magnitud del impacto al medioambiente del sistema de saneamiento a implementar. El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) permite la evaluación de este impacto a través de las emisiones de gases de efecto invernadero provocadas por cada componente y cada etapa de implementación y operación del sistema, el uso de recursos, la contaminación de suelos y agua. El ACV consta de cuatro pasos: la definición del objetivo y el alcance, listar todas las entradas y salidas del sistema a evaluar (inventario de ciclo de vida), identificar las emisiones generadas por cada elemento del inventario de ciclo de vida a un impacto específico y finalmente se comparan las tecnologías según la evaluación de los impactos (Noyola, Morgan-Sagastume y Güereca, 2013).

El análisis social se enfoca a la identificación y al control de los impactos del plan de saneamiento en la sociedad y viceversa (O'Shaughnessy, 2006). En esta etapa pueden diseñarse programas de educación y de promoción de las tecnologías a implementar. El uso de tecnologías de saneamiento seco o ecológico requiere en ocasiones cambios en la percepción de la población a través de estos programas e incluso cambios en la estructura municipal (Kalbermatten et al., 1982).

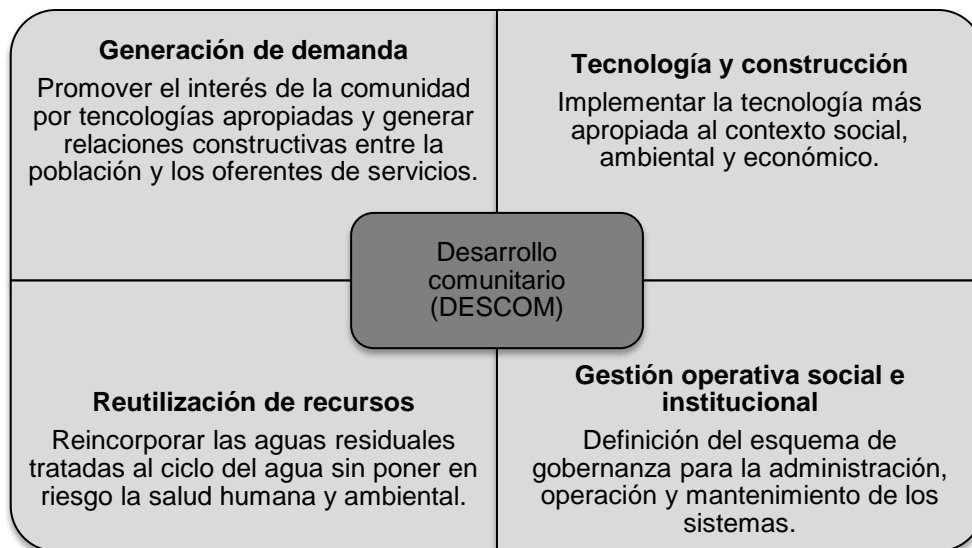
Finalmente, el análisis técnico se dirige a la verificación de la disponibilidad de los recursos materiales y humanos para cubrir las acciones de construcción, operación y mantenimiento del sistema de saneamiento (O'Shaughnessy, 2006). Es importante mencionar que todas estas actividades requieren un esfuerzo importante y pueden

aumentar el costo de la implementación de un sistema de saneamiento. Así, debe considerarse seriamente la pertinencia de llevar a cabo estos análisis para identificar la mejor tecnología.

### 3.3.4 Metodologías para la elaboración de planes de manejo de aguas residuales

En esta sección se presentan tres metodologías que a consideración de la autora serían apropiadas para la implementación de sistemas de saneamiento sostenibles en países en desarrollo como los del Caribe. Ninguna de las metodologías se describirá a profundidad, ya que este no es el objetivo del documento y cada una es explicada exhaustivamente en la literatura citada.

La primera de estas metodologías es la propuesta por la SNV denominada Modelo de Gestión Integral del SSD. Esta metodología consta de cinco elementos, uno de los cuales se presenta como transversal (DESCOM), que se describen brevemente en la figura 3.1.



**Figura 3.5.** Elementos del Modelo de Gestión Integral del SSD.  
Modificado de: SNV, 2014

El DESCOM se refiere a la participación de todas las personas beneficiarias del sistema a implementar que debe tocar cada etapa y elemento del desarrollo e implementación del plan.

La Asociación Internacional del Agua (IWA por sus siglas en inglés) propone una estrategia que llama Sanitation 21 y que pone de manifiesto factores clave que deben ser tomados en cuenta por los diferentes sectores interesados para encontrar soluciones asequibles y adecuadas al problema del saneamiento en ambientes urbanos. Los factores que se toman en cuenta son las expectativas e intereses de los diferentes sectores interesados; los procesos sociales, económicos y políticos que determinan la magnitud y tipo de inversiones en el saneamiento y la provisión del mismo; rol preponderante de la comunidad en la planificación e implementación de sistemas de saneamiento; la diversidad de características en las ciudades determinará el tipo de tecnología adecuado; y uso de los recursos disponibles (Parkinson, Lüthi y Whalter, 2014). Las etapas y actividades de Sanitation 21 se presentan en el cuadro 3.2. Este tipo de planificación se diseñó para áreas periurbanas o asentamientos irregulares en los que existe una gran limitación de recursos.

Finalmente, Lüthi (2011) propone una planificación de saneamiento urbano basada en la participación de la comunidad llamado Saneamiento Urbano Ambiental Dirigido por la Comunidad (CLUES por sus siglas en inglés). Como Sanitation 21, CLUES se desarrolló como una herramienta para zonas urbanas o periurbanas con limitados recursos para proveer a la población de agua potable, saneamiento y manejo de residuos sólidos con el menor impacto al medioambiente. Esta estrategia se desarrolla en siete pasos, define tres actividades transversales que deben realizarse en todas las etapas y describe la existencia de un elemento esencial al que llama “entorno

**Cuadro 3.2.** Etapas de la estrategia Sanitation 21.

Fuente: Parkinson, Lüthi y Whalter, 2014

<b>Etapa</b>	<b>Actividades</b>
<b>Crear compromiso institucional y asociaciones para la planificación</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Elegir un líder para el proceso de planificación y un grupo de trabajo.</li><li>• Consultar y facilitar el proceso de planificación.</li><li>• Evaluar las prioridades y los incentivos</li><li>• Definir una visión y prioridades para la mejora del saneamiento.</li><li>• Ponerse de acuerdo en el proceso de planificación.</li></ul>
<b>Analizar la situación actual y definir prioridades</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Reunir y analizar información acerca de la situación actual del saneamiento.</li><li>• Identificar limitaciones para la prestación del servicio.</li><li>• Evaluar el mercado del saneamiento.</li><li>• Identificar las áreas prioritarias a mejorar.</li></ul>
<b>Desarrollar sistemas de mejora del saneamiento</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Delimitar las zonas en donde se mejorará el saneamiento.</li><li>• Considerar opciones adecuadas de inodoros.</li><li>• Desarrollar estrategias de tratamiento y disposición o reuso.</li><li>• Colección y transporte de aguas residuales o de lodos.</li><li>• Considerar los requisitos de operación y mantenimiento.</li><li>• Evaluar los costos de las opciones de mejora propuestas.</li></ul>
<b>Desarrollar modelos de prestación del servicio</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Crear acuerdos de gestión adecuados.</li><li>• Diseñar mecanismos de recuperación de la inversión.</li><li>• Fortalecer los mecanismos financieros.</li><li>• Crear acuerdos para el mantenimiento y la regulación</li></ul>
<b>Preparación a la implementación</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Asegurar que las propuestas cubren las expectativas de mejora.</li><li>• Promoción del saneamiento, apoyo y sensibilización.</li><li>• Consolidación de capacidades.</li></ul>

habilitador”. Todos estos elementos se explican de manera general en el cuadro 3.3.

Para la aplicación de esta metodología se requiere personal capacitado con habilidades de mediación y negociación.

### Cuadro 3.3. Elementos de CLUES.

Fuente: Lüthi, 2011

---

#### Etapas

1. Inicio del proceso y creación de la demanda. En esta etapa se promueve el saneamiento para despertar el interés de la comunidad y establecer un grupo de trabajo.
2. Lanzamiento del proceso de planificación. Los sectores interesados en conjunto identifican los problemas de saneamiento y acuerdan la manera de abordarlos.
3. Análisis detallado de la situación actual que provee un “punto de partida” para planear los siguientes pasos.
4. Priorización de los problemas en la comunidad y validación.
5. Identificación de las opciones de servicio. Los sectores interesados eligen una o dos opciones de tecnología de saneamiento apropiadas para la región con la ayuda de expertos en esta área.
6. Diseño de un plan de acción por parte de la comunidad, las autoridades y el sector privado para la implementación de las tecnologías escogidas en la etapa anterior
7. Implementación del plan de acción.

---

#### Actividades transversales

1. Sensibilización de la comunidad y comunicación entre sectores interesados para crear la demanda y propiciar la toma informada de decisiones.
2. La consolidación de capacidades tiene como objetivo el desarrollo de habilidades de gestión, de planeación colaborativa, de ingeniería, de construcción, de operación y de desarrollo.
3. La evaluación y monitoreo del proceso permite identificar y corregir errores a tiempo.

El **entorno habilitador** genera condiciones favorables para la implementación de un saneamiento ambiental en ámbitos urbanos con múltiples limitaciones y que presentan grandes retos. Está formado por seis elementos: apoyo gubernamental, marco legal y normativo, arreglos institucionales, habilidades y capacidades, arreglo financiero y aceptación sociocultural.

---

### 3.3.5 Reconsiderando las opciones de saneamiento ante un escenario de cambio climático

Las alteraciones ambientales producto del cambio climático afectan directamente el funcionamiento de los sistemas de saneamiento ya implementados y el diseño de futuros sistemas. Pero también dichos sistemas contribuyen a dicho cambio pues siempre tienen un impacto al medioambiente (OMS, 2009a). Así, deben tomarse medidas para limitar los impactos al medioambiente de nuevos sistemas de saneamiento y considerar su adaptabilidad al cambio climático (resiliencia) (Noyola, Morgan-Sagastume y Güereca, 2013).

En los próximos años se prevé que la precipitación promedio en el Caribe disminuirá pero la intensidad y frecuencia de huracanes y tormentas tropicales aumentará lo que provocará inundaciones. Patrones irregulares de precipitación pueden variar grandemente los flujos que reciben plantas de tratamiento disminuyendo su eficiencia. Además, al requerir grandes volúmenes de agua para funcionar se enfrentarían a grandes problemas si el agua escasea. Entonces una manera de proteger y conservar los recursos hídricos disponibles es optar por tecnologías que utilicen poca agua en las que no haya mezcla de excretas con agua de escorrentía o aguas grises y que contengan de manera eficiente los desechos (OMS, 2009a).

Según un reporte de la OMS (2009a), los sistemas de letrinas en su conjunto presentan una buena resiliencia. Sin embargo, esto no se traduce en una buena resiliencia de unidades independientes, ya que para alcanzar una resiliencia de los sistemas a nivel de casa-habitación se requiere, según este reporte, un enfoque basado en la demanda (ver sección 3.3.1), orientación y un marco normativo propicio. Se cree que el costo de sistemas de saneamiento a nivel de casa-habitación (p.e. letrinas) es un obstáculo para su implementación, sin embargo, el problema parece radicar en el desconocimiento de los usuarios acerca del verdadero costo de este tipo de sistemas, de otros más baratos y en los desacuerdos acerca de quién debe pagarlos (gobierno, usuario o propietario) (OMS, 2009b).

Las principales conclusiones del reporte de la OMS sobre cambio climático y saneamiento que podrían servir al momento de proveer de este servicio a las comunidades del Caribe son:

- La adaptación de los sistemas de saneamiento al cambio climático puede promover la elección de tecnologías que proveen un saneamiento más sostenible a una mayor población.
- Las predicciones de las alteraciones ambientales provocadas por el cambio climático apuntan hacia una necesidad urgente de grandes cambios en el marco normativo y las estrategias de planificación para elegir las tecnologías que provean un saneamiento sostenible.
- Mas que capacidad adaptativa potencial, los sistemas de saneamiento deben tener resiliencia que debe evaluarse sistemáticamente.
- La investigación dirigida puede llenar vacíos en el conocimiento básico del saneamiento y tecnológico, ya que se requieren estrategias de planificación más sencillas e información a escala regional sobre cambio climático.



## **Capítulo IV. Sistemas sostenibles de colección y tratamiento de aguas residuales para el Caribe**

Según Noyola, Morgan-Sagastume y Güereca (2013) las tres tecnologías más utilizadas en ALC (80% de los procesos) son los lodos activados, que tratan 58% de las aguas residuales de la región; las lagunas de estabilización, que tratan un 15%; y el reactor anaerobio de lecho de lodos (UASB por sus siglas en inglés), que trata el 7%. El uso de esta última tecnología ha aumentado en los últimos años. Los autores también mencionan que uno de los grandes problemas en esta región es la gestión inadecuada de los lodos. Las plantas de tratamiento pequeñas desechan los lodos no tratados en el mar o en suelos o vertederos no controlados. Los lodos sí son correctamente tratados en las grandes plantas, sin embargo, el reuso de éstos en suelos agrícolas es una práctica rara.

En la primera parte de este último capítulo se presentan individualmente sin entrar en detalles técnicos las tecnologías sostenibles para el Caribe y después algunos de los sistemas de colección y tratamiento de aguas residuales presentados en el Compendio de Sistemas y Tecnologías de Saneamiento (Tilley et al., 2014) con ciertas modificaciones pues se desea presentar opciones sostenibles. Las personas interesadas pueden consultar los documentos citados para obtener mayor información.

### **4.1 Tecnologías sostenibles de colección y tratamiento de aguas residuales**

A continuación se describen ciertas características técnicas y algunas de las implicaciones sociales y ambientales de las tecnologías sostenibles escogidas.

#### **4.1.1 Inodoro seco, desviador de orina, de baja descarga y mingitorio**

El diseño de un inodoro seco puede ser el de un pedestal sobre el que se sientan los usuarios o como una plataforma para acucillarse. El inodoro seco se coloca sobre una

cámara y las excretas y otros elementos, según el tipo de tecnología de colección utilizada, caerán a la cámara a través de un hoyo (ver sección 4.2.1). El inodoro desviador de orina puede ser también un pedestal o una plataforma que cuenta con orificios separados para las heces y la orina. Las heces caen a una cámara y la orina es almacenada separadamente en un tanque o un recipiente. En ninguno de estos dos dispositivos se utiliza agua como acarreador y sólo debe utilizarse una mínima cantidad para limpieza (Tilley et al., 2014). En México se han utilizado varios modelos de inodoros secos en diversas comunidades. Destaca el Sistema de Reciclamiento de Desechos Orgánicos (SIRDO) que produce una composta de alta calidad e incluso puede tratar aguas grises (Peasey, 2000).

El inodoro de baja descarga también puede ser un pedestal o una plataforma en el que se utiliza cierta cantidad de agua (1 a 2 litros por uso) para acarrear las excretas y para mantener un sello de agua por debajo del pedestal o plataforma en la que los malos olores y la generación de moscas son menos probables que en un inodoro seco. El inodoro de baja descarga presenta menos riesgos a la salud que el seco y puede escalarse más fácilmente (Kalbermatten et al., 1982). Finalmente, el mingitorio o urinario es un dispositivo de colección exclusiva de orina (Tilley et al., 2014).

#### **4.1.2 Letrina de pozo simple, letrina mejorada de pozo ventilado y letrina de doble pozo**

La letrina de pozo simple consiste en un pozo por excavación o construido sobre la superficie sobre el que se coloca un inodoro o plataforma y una estructura alrededor para privacidad y contención. Las paredes de un pozo excavado pueden estar aisladas pero el fondo no lo está para permitir la absorción de los lixiviados en el subsuelo. El

pozo debajo del inodoro puede estar desplazado verticalmente para evitar malos olores y la generación de moscas (Kalbermatten et al., 1982; Tilley et al., 2014).

Las características adicionales de la letrina mejorada de pozo ventilado respecto a la simple es un tubo cuya salida está cubierta con una malla que se coloca por fuera de la estructura que cubre el inodoro. Esta ventilación permite la generación de un flujo de aire en el pozo que evita malos olores y sirve como una trampa para las moscas. La letrina de doble pozo con o sin ventilación cuenta con dos pozos que son utilizados de manera alternada: cuando uno de los pozos se llena hasta tres cuartas partes, se cubre con tierra y se utiliza el segundo pozo, una vez que el segundo pozo está por llenarse se vacía el primero, se cubre el segundo y se utiliza de nuevo cuenta el primero. El material almacenado en el pozo es humus y si la letrina es operada de manera correcta es posible reutilizarlo de manera segura (Kalbermatten et al., 1982; Tilley et al., 2014). Todos los tipos de letrina son adecuados para zonas rurales o periurbanas (con una densidad poblacional de hasta 500 o 600 personas por hectárea si hay suficiente espacio para las operaciones de vaciado y un sistema adecuado de tratamiento de los lodos) (Kalbermatten et al., 1982) con suelo no rocoso o demasiado compacto, nivel freático bajo, no inundables y con escasez de agua (Tilley et al., 2014). Se requiere mayor precisión acerca de los procesos anaerobios de descomposición de la materia en el pozo (Bhagwan et al., 2008) para propiciar un uso más extendido y seguro de este tipo de saneamiento.

#### **4.1.3 Fossa Alterna, cámara de compostaje, cámara de deshidratación y Arborloo**

El diseño de la Fossa Alterna es muy parecido al de la letrina de doble pozo a la que se agregan diversos materiales (tierra, ceniza, hojas, aserrín, etc.) para disminuir la

humedad de las excretas y producir humus. Este tipo de dispositivo de colección es apto para zonas rurales y periurbanas (Tilley et al., 2014).

Como su nombre lo indica, la cámara de deshidratación consta de un espacio aislado sobre la superficie en el que las heces son deshidratadas con la ayuda de ceniza, cal, tierra seca o aserrín. La orina es colectada separadamente en un tanque o recipiente. Por otro lado, la cámara de compostaje consta de cuatro partes: cámara de almacenamiento con un fondo inclinado, ventilación, sistema de colección de lixiviados y una puerta de acceso. Dentro de la cámara deben mantenerse condiciones aerobias, entre 45% y 70% de humedad, una temperatura de 40°C a 50°C y 25 partes de carbono por una de nitrógeno para producir una composta libre de patógenos a partir de excretas, compuestos orgánicos, desechos de comida y material de absorción. En ocasiones, dado que es difícil mantener las condiciones antes mencionadas, la composta obtenida debe pasar por otro proceso de composteo fuera de la cámara para usarse de manera segura. Tanto la cámara de deshidratación con la de compostaje son adecuadas para zonas rurales, periurbanas y urbanas (no requieren grandes espacios) con suelos rocosos y nivel freático alto (ya que se construyen sobre la superficie del suelo) (Tilley et al., 2014).

Arborloo se refiere a la práctica de plantar árboles sobre pozos de antiguas letrinas que se llenaron y cubrieron. También se ha logrado plantar árboles cerca de letrinas todavía funcionales. Cenizas, tierra o cal se añaden a los pozos además de excretas. Los árboles primero crecen en macetas o bolsas de plástico y después se plantan sobre el pozo cubierto añadiendo composta y orina diluida como fertilizantes. Algunas especies de árboles que se utilizan en este método son el eucalipto, la banana, el mango, la papaya y el aguacate. A pesar de que se cree que las raíces de los árboles cercanos a

las letrinas causan daños estructurales al pozo, esto no ocurre sino hasta después de 10 años de crecimiento del árbol que sobrepasa el tiempo de vida de la letrina (Morgan, 2011). Tilley y colaboradores (2014) mencionan que también pueden utilizarse hortalizas como el tomate o la calabaza en lugar de árboles. Este tipo de estrategia es adecuada para zonas rurales, periurbanas e incluso urbanas si hay suficiente espacio para seguir cavando pozos (Tilley et al., 2014).

#### **4.1.4 Alcantarillado libre de sólidos, simplificado y condominial**

En el alcantarillado simplificado se utilizan diámetros de tubería más pequeños y se colocan a profundidades menores; no se utilizan estándares de diseño tan conservadores como en el alcantarillado convencional lo que permite una mejor adaptación a las características de la región. Es adecuado en zonas donde no hay espacio para instalar tecnologías a nivel de casa-habitación y hay suficiente agua para transportar las excretas a un sistema descentralizado (60 L/persona/día) (Tilley et al., 2014). El alcantarillado condominial es similar al simplificado con la diferencia de que se hace una conexión por conjunto de hogares lo que reduce grandemente los costos y ha probado su conveniencia en zonas densamente pobladas (ver sección 3.1.1) (WSP, 2005).

El alcantarillado libre de sólidos transporta sólo efluentes que pasaron por un primer tratamiento a nivel de casa-habitación (p.e. tanque séptico). También puede transportar aguas grises que pasaron por una trampa para arena y grasas. Como en el alcantarillado simplificado se utilizan tuberías de diámetros pequeños que se colocan a poca profundidad. Este tipo de sistema es apto para zonas donde no hay espacio para pozos de absorción o lechos filtrantes, donde hay baja capacidad de infiltración o un nivel freático alto. Los tres tipos de alcantarillado son aptos para zonas periurbanas y

deberían ser la primer opción considerada de alcantarillado en países en desarrollo ya que es menos costoso (Kalbermatten et al., 1982; Tilley et al., 2014).

#### **4.1.5 Tanque séptico, ABR, filtro anaerobio y reactor de biogás**

Los tanques sépticos son cámaras impermeables que se colocan por debajo de la superficie y reciben excretas, agua de arrastre e incluso aguas grises. Dentro de la cámara hay sedimentación y el efluente que todavía contiene gran cantidad de materia orgánica y patógenos se dirige a un pozo de absorción o un lecho filtrante o es transportado a otro sistemas de tratamiento (Kalbermatten et al., 1982; Tilley et al., 2014; Noyola, Morgan-Sagastume y Güereca, 2013). El reactor anaerobio con deflectores (ABR) es un tanque séptico mejorado en el que las aguas negras y grises pasan a través de varios deflectores en flujo forzado. El filtro anaerobio consta de varias cámaras empacadas con filtros a través de los cuales pasan aguas negras y grises y quedan atrapadas las partículas y donde la materia orgánica es degradada por la biomasa activa (Noyola, Morgan-Sagastume y Güereca, 2013). Los tanques sépticos, ABR y el filtro anaeróbico pueden construirse para servir a un hogar o a un conjunto, requieren poco espacio, sin embargo, no se recomienda construirlos cerca de pozos o fuentes de agua ni en zonas de alto nivel freático (a pesar de que son impermeables hay riesgo de contaminación) o con alta densidad poblacional ya que pueden saturar el suelo.

El reactor de biogás ofrece el mismo nivel de tratamiento que un tanque séptico pero hay producción de biogás (una mezcla de metano, bióxido de carbono y otros gases traza) que se utiliza como fuente de energía. Dentro de este sistema se descomponen anaeróticamente aguas negras (no se recomienda la adición de aguas grises) y otros compuestos orgánicos (p.e. estiércol). Los reactores de biogás pueden servir a un

hogar, a un conjunto o tratar lodos en una planta descentralizada (Kalbermatten et al., 1982; Tilley et al., 2014).

#### **4.1.6 Humedales artificiales, lagunas de estabilización, lechos de secado y UASB**

Los humedales artificiales son filtros hechos de algún material granular (p.e. grava) en el que crecen las raíces de plantas (herbáceas del género *Phragmites* y carrizos del género *Typha*) que proveen tratamiento secundario y terciario a las aguas residuales (el tratamiento de aguas crudas puede hacerse en tanques Imhoff, tanques sépticos o lagunas de estabilización). Las aguas residuales reciben un tratamiento aerobio por los microorganismos en la rizosfera de las plantas y anaeróbicamente por los organismos en los intersticios del filtro. Los humedales artificiales pueden remover sólidos suspendidos, materia orgánica, nutrientes, metales pesados y algunos compuestos tóxicos (Kayombo et al., 2005; Noyola, Morgan-Sagastume y Güereca, 2013). Las ventajas de este sistema son bajos requerimientos energéticos, bajos costos de construcción, operación y mantenimiento, son fáciles de operar y mantener, nivel adecuado de tratamiento, relativa tolerancia a cambios en flujos hidrológicos y de contaminantes, creación de hábitats y espacios útiles a la educación. Las principales desventajas incluyen requerimiento de grandes extensiones de terreno, imprecisiones en el diseño y operación, falta de conocimiento y control de los complejos procesos que se llevan a cabo, costo de los materiales de relleno, la posible generación de plagas y la dependencia de los procesos del pH, la temperatura y la presencia de oxígeno (Kayombo et al., 2005; Noyola, Morgan-Sagastume y Güereca, 2013; Senzia, Mashauri y Mayo, 2003; Tilley et al., 2014). Los humedales artificiales son aptos en sistemas descentralizados en zonas urbanas y periurbanas (Tilley et al., 2014).

Las lagunas de estabilización son extensos tanques de poca profundidad en los que pueden tratarse aeróbica y anaeróticamente desde aguas crudas hasta efluentes que ya pasaron por un tratamiento primario. Hay tres tipos de lagunas: anaerobias o facultativas primarias, facultativas secundarias y de maduración o pulimento. Generalmente se utilizan en serie; las aguas crudas entran a la laguna anaerobia, se genera una capa de lodo en el fondo y el efluente queda en la parte superior, el efluente es tratado por una o varias lagunas facultativas secundarias donde sigue la descomposición de materia orgánica y finalmente la remoción de organismos patógenos se lleva a cabo en la laguna de maduración (Kayombo et al., 2005; Noyola, Morgan-Sagastume y Güereca, 2013; Tilley et al., 2014). Las lagunas de estabilización son adecuadas en zonas urbanas y periurbanas con disponibilidad de suficiente espacio alejado de la población, es decir, no son adecuadas para zonas urbanas densamente pobladas ya que el olor o la producción de moscas y mosquitos pueden ser una molestia (Tilley et al., 2014). Cabe mencionar que las lagunas anaerobias pueden tener un alto impacto en el ambiente ya que hay elevada producción de metano y otros gases de efecto invernadero (Noyola, Morgan-Sagastume y Güereca, 2013).

Los lechos de secado con o sin plantas son camas permeables para secar lodos. Los lixiviados pasan a través del filtro y los lodos se quedan en la cama para secarse por evaporación. En lechos con plantas el secado es más rápido por la evotranspiración y ofrecen un mejor tratamiento de los lodos comparado con los lechos sin plantas (Tilley et al., 2014). Los inconvenientes de los lechos de secado son los malos olores y que requieren de grandes extensiones de terreno, sin embargo, son sencillos de operar (Noyola, Morgan-Sagastume y Güereca, 2013).



Finalmente, el UASB consta de un reactor en el que las aguas residuales son tratadas al fluir del fondo del tanque hacia arriba a través de una capa de lodos suspendidos. Este tipo de sistema es apto para el tratamiento de aguas residuales de tipo industrial pero como se indicó en la primera parte de este capítulo, se ha utilizado ampliamente para tratar aguas residuales municipales (Tilley et al., 2014) ya que logra una gran remoción de materia orgánica con tiempos de retención hidráulica y volúmenes reducidos. En la parte superior del reactor se coloca un colector de biogás y es la tecnología utilizada en ALC con la menor huella de carbono (Noyola, Morgan-Sagastume y Güereca, 2013).

#### **4.1.7 Estanque de peces y de plantas**

Los estanques de peces y plantas han sido utilizados como depósito final de efluentes y lodos tratados. Los peces más comúnmente utilizados en estanques son la carpa y la tilapia que se alimentan de los organismos que crecen en las aguas ricas en nutrientes. Para evitar la contaminación de los peces con patógenos humanos, los peces se colocan en estanques con agua limpia antes de recolectarse para consumo humano, para producir alimento para otras especies de acuicultura o para animales de granja. En los estanques de peces o en lagunas de maduración pueden colocarse plantas flotantes como el jacinto o la lenteja de agua. Las plantas pueden utilizarse como alimento de peces o para la producción de fibras y textiles. Tanto los peces como las plantas ayudan a la remoción de nutrientes de las aguas tratadas (Kalbermatten et al., 1982; Tilley et al., 2014).

Como se ha mencionado a lo largo de este capítulo y del capítulo 3, el factor económico tiene un peso importante en la elección de un sistema de saneamiento. Determinar el costo específico de un sistema depende de las circunstancias particulares en las que se

**Cuadro 4.1.** Costo aproximado de las tecnologías de tratamiento de aguas residuales más utilizadas.  
Modificado de: Carr y Strauss, 2001

Tecnología de tratamiento	Uso de agua (litros/persona/día)	Costo de construcción	Inversión anual
Letrina mejorada de pozo ventilado	0	1-2	6
Letrina de doble pozo	0	1	3
Letrina de doble pozo con inodoro de baja descarga	10-15	1	3
Tanque séptico	20-30	15-25 Incluye un sistema de infiltración, el vaciado y el tratamiento centralizado de los lodos.	30-50
Lagunas de estabilización	20-100	5-40 Depende en gran medida del costo de la tierra.	5-15
Alcantarillado simplificado	60-100	5-40 Disminuye conforme aumenta la densidad poblacional y el número de casas conectadas.	12-15
Alcantarillado convencional	>100	20-70 Disminuye conforme aumenta la densidad poblacional y el número de casas conectadas.	30-50

desarrolla el proyecto, sin embargo, se han reportado costos aproximados para algunas tecnologías ampliamente utilizadas. En el cuadro 4.1 se presenta una aproximación del costo de las tecnologías de saneamiento más comunes. El costo de construcción y la inversión anual se presentan como porcentajes del ingreso anual de una familia promedio de recursos limitados en 1990.

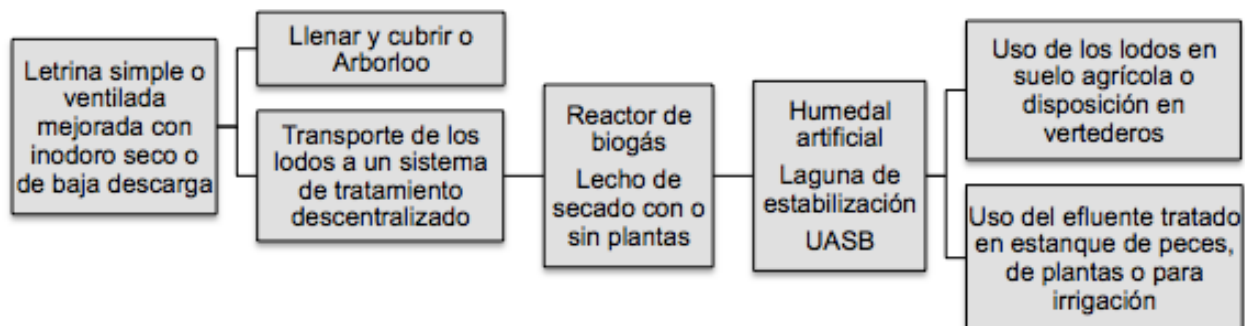
#### 4.2 Sistemas de colección y tratamiento de aguas residuales

Tilley y colaboradores (2014) presentan en el compendio nueve sistemas de tratamiento con una diversidad de tecnologías. En este documento se presentan sólo seis de los nueve sistemas. Los sistemas de pozo con inodoro de baja descarga y con inodoro seco se explican en una misma sección por considerarse similares, el sistema de

tratamiento de aguas negras con infiltración no se discute ya que es un tratamiento ampliamente utilizado en el Caribe y que ha probado tener impactos negativos importantes en la salud humana y en los ecosistemas en zonas muy pobladas donde no se da el mantenimiento adecuado a las tecnologías, y el sistema con alcantarillado y desviación de orina tampoco se discute por considerarse una opción costosa y en la que se requiere un tipo muy específico de inodoro que puede ser difícil de encontrar.

#### 4.2.1 Sistema de letrina de pozo

El esquema simplificado de este sistema se muestra en la figura 4.1. Tilley y colaboradores (2014) recomiendan este tipo de sistema para zonas rurales o periurbanas ya que en zonas densamente pobladas no hay suficiente espacio para permitir la entrada de camiones y maquinaria para vaciar los pozos de las letrinas. Sin embargo, el Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos desarrolló un dispositivo de vaciado llamado Vacutug de fácil manejo en zonas densamente pobladas y con una capacidad de 500 litros que se utiliza en varias regiones de África para las operaciones de vaciado (Stenström et al., 2011). El sistema de letrina simple no se recomienda en zonas susceptibles de inundación y con nivel freático alto ya que los lixiviados de las letrinas pueden contaminar el agua subterránea (Tilley et al., 2014).

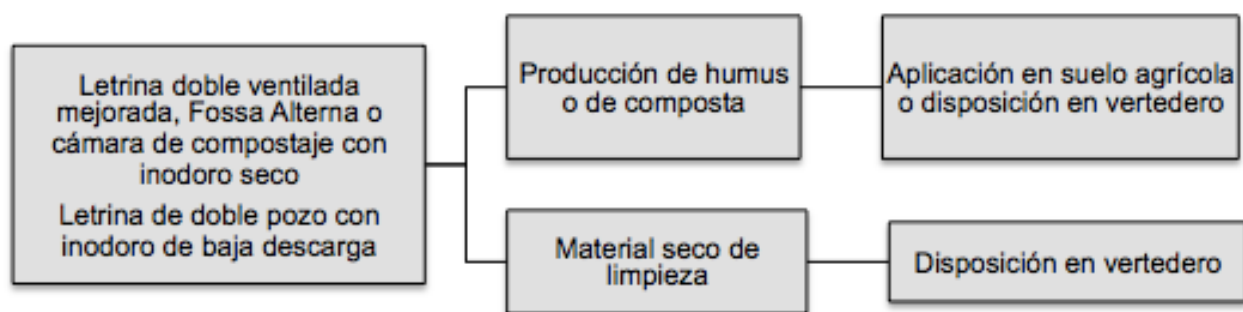


**Figura 4.1.** Sistema de letrina de pozo.  
Modificado de: Tilley et al., 2014

#### 4.2.2 Sistema seco o de baja descarga sin producción de lodos

El sistema seco sin producción de lodos puede implementarse en zonas urbanas densamente pobladas y con escasez de agua ya que el doble pozo permite la permanencia de la estructura que cubre el sistema y el vaciado de los pozos o la cámara de compostaje es manual, no se requieren camiones u otro tipo de transporte. Si el sistema se operó de manera correcta, el humus o composta producidos pueden utilizarse como acondicionadores de suelo de manera segura. El material seco de limpieza puede añadirse al pozo (Tilley et al., 2014).

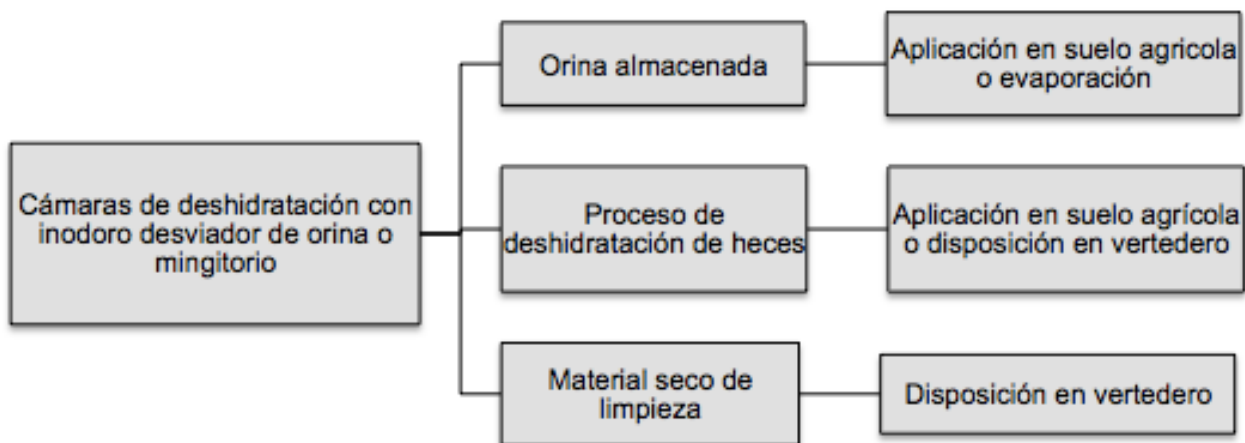
El sistema de baja descarga sin producción de lodos es adecuado en zonas rurales o peri-urbanas en las que el suelo tiene capacidad para absorber los lixiviados que salen de los pozos, en donde el nivel freático es bajo, el suelo no es compacto o arcilloso y poco inundable. El material seco de limpieza no debe añadirse a los pozos (Tilley et al., 2014). En ambos sistemas, presentados en la figura 4.2, el contacto con el humus o composta de los pozos puede presentar un riesgo alto de infección si el material no está lo suficientemente seco o si duró menos de 1.5 o 2 años en el pozo. También es percibida como una actividad nada agradable por los usuarios. Así, en algunos lugares de África con este sistema el gobierno local realiza el vaciado de los pozos a cambio de una cuota reducida (Stenström et al., 2011).



**Figura 4.2.** Sistema seco o de baja descarga sin producción de lodos.  
Modificado de: Tilley et al., 2014

### 4.2.3 Sistema seco con desviación de orina

El sistema seco con desviación de orina es adecuado para zonas urbanas y periurbanas donde hay poco espacio, escasez de agua, un nivel freático alto y un suelo rocoso. El funcionamiento de este sistema es especialmente bueno en climas calientes y secos (las heces se deshidratan más rápido). Para un mejor rendimiento debe disponerse del material seco de limpieza en un vertedero (Tilley et al., 2014). Como en los sistemas seco y de baja descarga sin producción de lodos algunas municipalidades en África han establecido redes de prestadores de servicios que vacían las cámaras a cambio de cuotas reducidas. La infiltración inadecuada de orina en el suelo puede contaminar el manto freático. El contacto con heces que no han permanecido suficiente tiempo en la cámara de deshidratación o con alto contenido de humedad pueden poner en riesgo la salud humana (Stenström et al., 2011). Los componentes de este sistema se muestran en la figura 4.3. El tratamiento y disposición de aguas grises en este sistema y en los dos anteriores se hace de manera separada en lechos de filtración, pozos de absorción e incluso puede utilizarse para riego después de tratarse (Tilley et al., 2014).



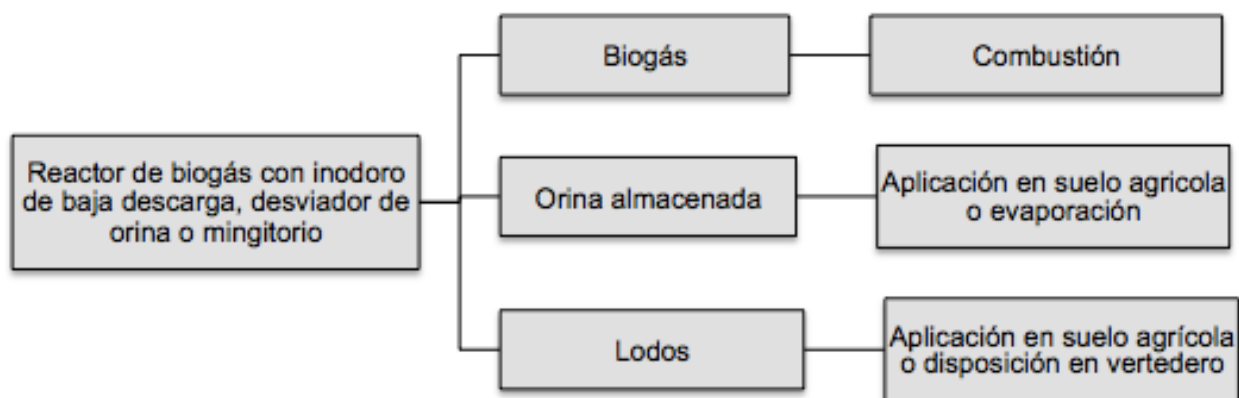
**Figura 4.3.** Sistema seco con desviación de orina.  
Modificado de: Tilley et al., 2014

#### 4.2.4 Sistema de producción de biogás

Los reactores de biogás pueden utilizarse en zonas rurales, periurbanas e incluso urbanas si existe suficiente espacio y hay disponibilidad de materiales orgánicos y estiércol. En zonas urbanas donde se desea implementar este sistema debe establecerse también un manejo efectivo de los lodos. El material seco de limpieza puede añadirse al reactor pero se recomienda cortar en trozos pequeños materiales de gran tamaño (Tilley et al., 2014). Este sistema se presenta en la figura 4.4.

#### 4.2.5 Sistema de tratamiento de aguas negras con transporte del efluente

Este sistema es adecuado para zonas urbanas en las que la infiltración de los efluentes de tecnologías de tratamiento primario a nivel de casa-habitación puede contaminar el agua subterránea (zonas con nivel freático alto o inundables) o en suelos con baja capacidad de absorción. El tratamiento de los efluentes en instalaciones descentralizadas eleva considerablemente el costo del sistema. Por otro lado, la construcción de alcantarillado simplificado, libre de sólidos o condominial es menos costoso que un sistema convencional y tanto las aguas grises como negras reciben tratamiento (Tilley et al., 2014). El tratamiento de aguas negras con transporte de efluente requiere de una gran coordinación entre gobierno local y los usuarios, el

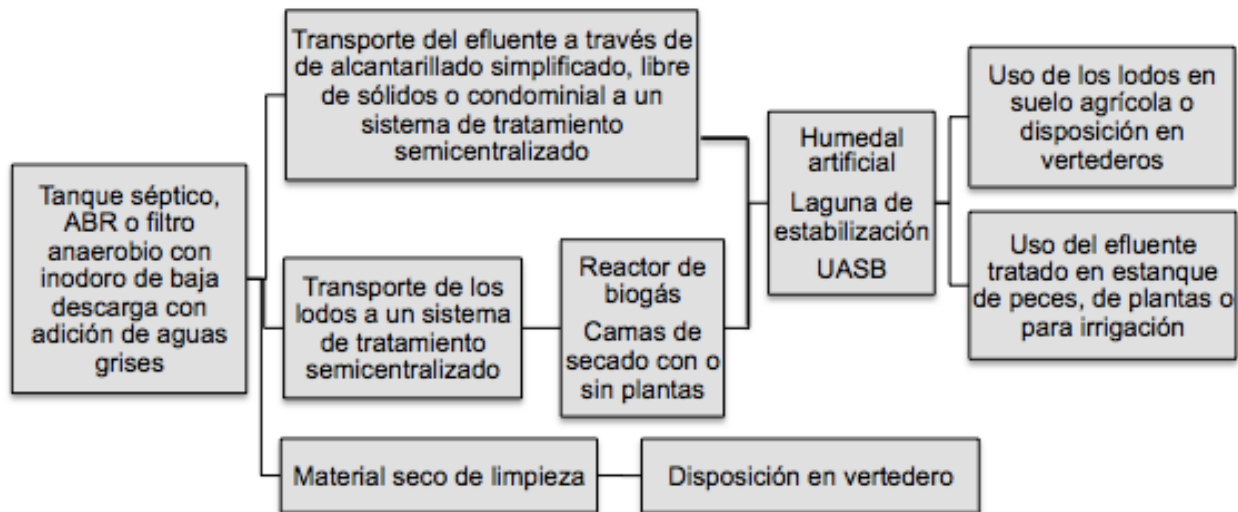


**Figura 4.4.** Sistema de producción de biogás.  
Modificado de: Tilley et al., 2014

primero debe tener la apertura para utilizar otros sistemas de colección y tratamiento diferentes a los convencionales y a ofrecer a los usuarios opciones de pago, y los segundos deben estar dispuestos a pagar por el servicio y aceptar las adecuaciones que se requieran. La exposición a agentes infecciosos es mucho menor en este tipo de sistema y puede ocurrir en el mantenimiento del alcantarillado o en el tratamiento de los efluentes (Stenström et al., 2011). Los componentes de este sistema se muestran en la figura 4.5.

#### 4.2.6 Sistema de tratamiento descentralizado

El tratamiento descentralizado (primario, secundario y terciario) es apto para zonas urbanas o periurbanas densamente pobladas en las que no hay espacio para tratamiento primario a nivel de casa-habitación o para el vaciado de pozos o cámaras. Evidentemente, debe existir una gran voluntad pero sobretodo capacidad de pago por parte de los usuarios ya que este sistema es más costoso que todos los anteriores (Tilley et al., 2014). También requiere el trabajo en conjunto y coordinado del gobierno



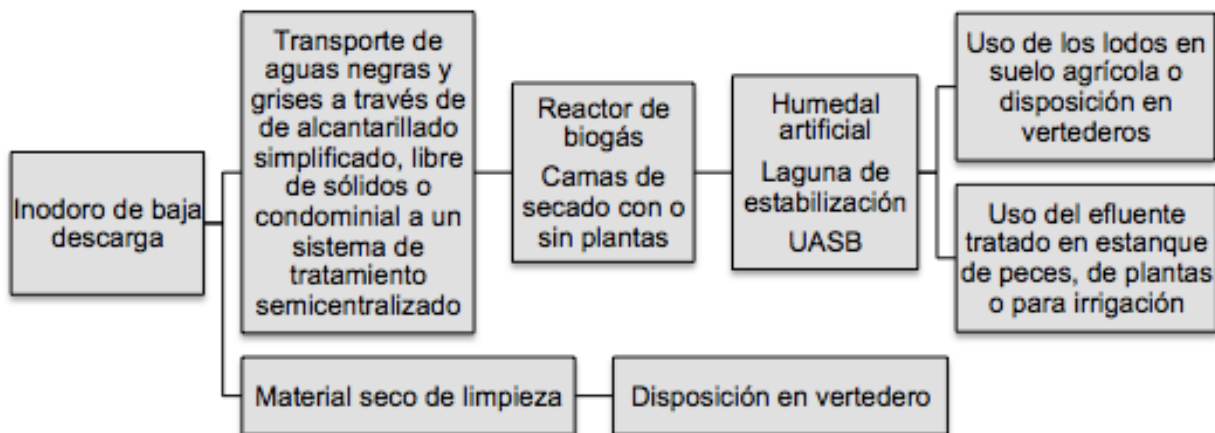
**Figura 4.5.** Sistema de tratamiento de aguas negras con transporte del efluente.  
Modificado de: Tilley et al., 2014

local y los usuarios. Un esquema simplificado del sistema se presenta en la figura 4.6.

### 4.3 El futuro del saneamiento en los países en desarrollo del Caribe

Los países en desarrollo, no sólo en el Caribe, enfrentan grandes retos desde hace décadas y deben encontrar soluciones en los próximos años, soluciones con una visión a largo plazo. En particular, el reto que presenta el saneamiento debe afrontarse considerando las tecnologías no como unidades individuales sino como parte de un conjunto de tecnologías cuya funcionalidad y pertinencia depende de un contexto sociocultural, institucional, económico y ambiental determinado (Stenström et al., 2011). Además, la evidencia resumida y presentada en este documento generada por instituciones internacionales especializadas sobre el uso de tecnologías de colección y tratamiento a nivel de casa-habitación y descentralizadas en zonas urbanas, tiene como objetivo llamar la atención de gobiernos y especialistas en el área para implementar sistemas de saneamiento más económicos, resilientes ante el cambio climático y mejor integrados a los ciclos naturales en el Caribe.

A continuación se mencionarán los sistemas que, según la información recaba en este documento, pueden brindar saneamiento sostenible a la fracción de la población urbana y rural que todavía no tiene acceso a este servicio. Estas recomendaciones se hacen



**Figura 4.6.** Sistema de tratamiento descentralizado.  
Modificado de: Tilley et al., 2014



con la salvedad de que el diseño e implementación de sistemas de saneamiento son altamente específicos para cada lugar y contexto.

En Las Bahamas en zonas rurales y urbanas pueden implementarse el sistema seco o de baja descarga sin producción de lodos, con desviación de orina y el sistema de producción de biogás (4.2.2, 4.2.3 y 4.2.4). Son sistemas que no requieren tanto espacio y si bien la comercialización de la composta o el humus producido presentan inconvenientes, no hay producción de lodos los cuales, como ya se mencionó, no reciben un tratamiento adecuado en ALC (Noyola, Morgan-Sagastume y Güereca, 2013).

En las zonas rurales de Cuba, Jamaica y Puerto Rico podrían considerarse los tres mencionados para Las Bahamas y también el sistema de letrina de pozo en las zonas en las que el nivel freático sea bajo y el suelo menos rocoso (4.2.1, 4.2.2, 4.2.3 y 4.2.4). En estos países la comercialización del humus o composta producidos puede ser menos complicada ya que la práctica de la agricultura es mayor. En zonas urbanas podrían considerarse los sistemas de tratamiento de aguas negras con transporte de efluente y el tratamiento descentralizado con lagunas anaerobias como tratamiento primario y unidades de humedales artificiales como tratamiento secundario e incluso terciario. Senzia, Mashauri y Mayo (2003) encontraron que esta sucesión ocupaba mucho menos espacio que la sucesión de varias lagunas de estabilización.

Finalmente, en Haití debe comenzar a considerarse en zonas rurales la implementación de sistemas secos que no produzcan lodos ya que no cuentan con la infraestructura necesaria para transportarlos y tratarlos de manera segura. En este sentido, se recomiendan los mismos sistemas que para Cuba, Jamaica y Puerto Rico (4.2.1, 4.2.2, 4.2.3 y 4.2.4). En zonas urbanas densamente pobladas es necesario implementar

estaciones de lechos de secado con plantas en las estaciones “provisionales” en donde se descargan los lodos y en la medida de lo posible implementar sistemas descentralizados en los que se traten los efluentes o las aguas residuales con tecnologías de bajo costo como son los humedales artificiales.

Algunos aspectos adicionales a considerar cuando se elige entre sistemas de tratamiento a nivel de casa-habitación y sistemas descentralizados (p.e. plantas de tratamiento de pequeño caudal) son:

- El tratamiento de aguas residuales es óptimo cuando se incluyen procesos anaerobios y aerobios, además de que la producción de lodos es cinco veces menor y son parcialmente estabilizados (Noyola, Morgan-Sagastume y Güereca, 2013).
- Los sistemas que tienen bajos requerimientos energéticos que son menos costoso ocupan mayores extensiones de terreno (Noyola, Morgan-Sagastume y Güereca, 2013). Ejemplos clásicos son las lagunas de estabilización y los humedales artificiales que parecen una opción más que adecuada para el tratamiento de aguas residuales en climas calientes como el del Caribe.
- Teniendo en mente los dos puntos anteriores, los procesos anaerobios parecen una mejor opción que los aerobios en el Caribe gracias al clima, además de que consumen menos energía y son menos sensibles a disminuciones en el caudal que entra a la planta.
- El manejo de subproductos (especialmente los lodos) representa un porcentaje alto de los costos de mantenimiento y operación (hasta 50%) (Noyola, Morgan-Sagastume y Güereca, 2013).

- Noyola, Morgan-Sagastume y Güereca (2013) arguyen que el UASB es la mejor opción de tratamiento desde un punto de vista técnico, económico y ambiental.

## CONCLUSIONES

En 1996 Uno Winblad hizo la siguiente pregunta: ¿cómo puede lograrse un saneamiento seguro y no contaminante para todos los habitantes de una ciudad que cuenta con limitados recursos hídricos y financieros y limitada capacidad institucional?. Ésta es una cuestión que ha tratado de resolverse por años en los países en desarrollo en el Caribe y a cuya solución se encamina la información en este documento.

A pesar de que existen grandes diferencias en la cobertura sanitaria y el manejo de las aguas residuales entre países desarrollados y en desarrollo, ambos son considerados temas de suma relevancia en el mundo ya que un saneamiento y manejo inadecuados tienen impactos sociales, económicos y ecológicos graves. En el Caribe, una gran porción de las aguas residuales se vierte cruda a cuerpos de agua creando zonas altamente contaminadas. Evidentemente, la cobertura sanitaria y el manejo de aguas residuales es mejor en países como Cuba, Jamaica, Puerto Rico y Las Bahamas que en otros, como Haití. Sin embargo, la desigualdad de cobertura entre ricos y pobres, y entre zonas urbanas y rurales, además de un manejo deficiente son características comunes en todos estos países. Algunas de las causas del atraso en el saneamiento son de carácter socioeconómico o político como la falta de mecanismo de aplicación de leyes y la poca participación de las personas en los proyectos, pero también hay causas relacionadas con características físicas y climatológicas en la región.

Los países insulares de alto desarrollo turístico en el Caribe cuentan con un espacio limitado, un suelo rocoso, precipitaciones irregulares, recursos hídricos limitados, huracanes y tormentas tropicales que han dificultado los esfuerzos de mejora del saneamiento. Las poblaciones urbanas en los países del Caribe han crecido

aceleradamente en los últimos años y la actividad económica que más ha prosperado es el turismo que ha traído consigo la construcción de un mayor número de complejos e instalaciones para abastecer a este sector que no siempre siguen una planeación de bajo impacto social, ambiental y económico. Es por esto que se han hecho esfuerzos por disminuir las amenazas que pesan sobre los ecosistemas, sin embargo, la falta de recursos financieros, personal capacitado y el débil impulso al desarrollo tecnológico dificultan esta tarea, además de frenar el desarrollo social y económico de dichos países.

Siendo el vertimiento de aguas residuales sin tratamiento la principal fuente de contaminación marina, desde hace ya más de dos décadas se ha abogado por un cambio de enfoque de saneamiento de un sistema centralizado con gran consumo de recursos a uno más sostenible, con menor uso de recursos y que considera el reuso de excretas. El saneamiento seco y el saneamiento ecológico han sido los dos enfoques que más han destacado y que han propiciado el diseño e implementación de tecnologías de colección y tratamiento de aguas residuales sostenibles y eficientes. Además, la implementación de tecnologías es sólo una etapa en un plan de manejo que debe elaborarse para resolver de manera integral el problema del saneamiento. Las características en común de las metodologías para la elaboración de planes de manejo incluyen el análisis de la demanda, la educación y la participación de la comunidad en la elaboración del plan; la definición de criterios de selección de las tecnologías de saneamiento; y el análisis social, técnico, financiero y ambiental. Aún más, los impactos actuales y futuros del cambio climático demandan la elección de tecnologías de colección y tratamiento de aguas residuales resilientes y una visión a largo plazo en la implementación de sistemas de saneamiento.

Dado que los sistemas convencionales de saneamiento no han sido suficientes para lograr una cobertura sanitaria total y el tratamiento de la totalidad de las aguas residuales en los países del Caribe, es imperativo comenzar a considerar sistemas descentralizados que utilizan tecnologías con bajo consumo de recursos y el reuso de excretas. Incluso existen sistemas semicentralizados de diseño similar a los convencionales pero que tienen menores costos. Estas consideraciones son a corto plazo. A largo plazo, los gobiernos de los países insulares en el Caribe deben fortalecer sus instituciones, generar políticas transversales relacionando saneamiento, salud humana y protección del medioambiente, elaborar políticas económicas y de desarrollo coherentes con las ambientales, perseguir una visión y manejo integrales de los recursos hídricos, entre otras estrategias. El saneamiento sostenible es posible incluso en zonas urbanas densamente pobladas o en asentamiento irregulares y existe una cantidad sustancial de información acerca de los aspectos sociales, económicos, ecológicos y científico-tecnológicos de tecnologías “no convencionales”, sin embargo, para considerar todo esto se requiere un cambio de enfoque por parte de los gobiernos ante un escenario de cambio climático y de constante desarrollo turístico.

## REFERENCIAS

- Agard, J.B.R., Cropper, A., 2007. *CARSEA Caribbean Sea Ecosystem Assessment*. [pdf] The Cropper Foundation. Disponible en: <https://www.cbd.int/doc/meetings/mar/rwebsa-wcar-01/other/rwebsa-wcar-01-crfm-03-en.pdf> [Visitada el 14 de Enero de 2016].
- Bhagwan, J.N., Still, D., Buckley, C., Foxon, K., 2008. Challenges with up-scaling dry sanitation technologies. *Water Science & Technology*. [online] Disponible en: <http://www.thermopileproject.com/wp-content/uploads/2014/06/Challenges-with-up-scaling-dry-sanitation-technologies1.pdf> [Visitada el 24 de Febrero de 2016].
- Blum, D., Feachem, R.G., 1985. *Health aspects of nightsoil and sludge use in agriculture and aquaculture. Part III An Epidemiological Perspective*. [pdf] IRCWD. Disponible en: <http://www.ircwash.org/sites/default/files/352.0-85HE-6552.pdf> [Visitada el 6 de Marzo de 2016].
- Burke, L., Maidens, J., 2004. *Reefs at Risk in the Caribbean*. [pdf] Estados Unidos:World Resources Institute. Disponible en: [http://pdf.wri.org/reefs\\_caribbean\\_front.pdf](http://pdf.wri.org/reefs_caribbean_front.pdf) [Visitada el 16 de Enero de 2016].
- Cairncross, S., 2003. Water supply and sanitation: some misconceptions. *Tropical Medicine and International Health*. [online] Disponible en: <http://hygienecentral.org.uk/pdf/Misconceptions.pdf> [Visitada el 4 de Marzo de 2016].
- Carballo-Díaz, Y., 2002. Tutela jurídica del ecosistema de manglar en Cuba. En: M. Ménendez-Carrera, J.M. Guzmán, ed. 2002. *Ecosistemas de Manglar en el Archipiélago Cubano*. Cuba:UNESCO/MAB/IES. pp.425-442.
- Carr, R., Strauss, M., 2001. Excreta-related infections and the role of sanitation in the control of transmission. In: L. Fewtrell, J. Bartram, eds. 2001. *Water-Quality: Guidelines, Standards and Health - Assessment of risk and risk management for water-related infectious disease*, Ginebra:OMS. Ch.5.
- Carrillo-Martín, F., 2013. ¿Ciudad sin ciudadanos? Mapas coloniales de Puerto Rico. *CIBOD D'Afers Internacionals*. [online] Disponible en: <http://www.raco.cat/index.php/RevistaCIDOB/article/download/271189/358820> [Visitada el 25 de Abril de 2016].
- CEPAL Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2016. *Bases de Datos y Publicaciones Estadísticas*. [online] Disponible en: [http://estadisticas.cepal.org/cepalstat/web\\_cepalstat/Portada.asp?idioma=e](http://estadisticas.cepal.org/cepalstat/web_cepalstat/Portada.asp?idioma=e) [Visitada el 10 de Enero de 2016].
- Cepero-Martín, J.A., Luna-Martínez, M.V., 1997. *Reglamentación ambiental en Cuba*. [pdf] CITMA. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/puertorico/viii.pdf> [Visitada el 9 de Enero de 2016].
- Chabalina, L., Beltrán-González, J., 2002. *Contaminación marina en bahías y zonas costeras de Cuba y del Gran Caribe*. [pdf] Cuba:CIMBA. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/caliagua/peru/cubcca005.pdf> [Visitada el 13 de Enero 2016].
- CSD Commission on Sustainable Development, 2005. *Sanitation: policy options and possible actions to expedite implementation*. [pdf] ONU. Disponible

- en: [http://www.un.org/ga/search/view\\_doc.asp?symbol=E/CN.17/2005/3&Lang=E](http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=E/CN.17/2005/3&Lang=E) [Visitada el 17 de Febrero de 2016].
- DINEPA Dirección Nacional de Agua Potable y Saneamiento, 2013. *Directive Technique. Dépotage des matières de vidange*. [pdf] DINEPA. Disponible en: <http://www.dinepa.gouv.ht/referentieltechnique/doc/2-assainissement/2.5.5%20DIT1%20Depotage%20des%20matieres%20de%20vidange.pdf> [Visitada el 13 de Enero de 2016].
- DINEPA Dirección Nacional de Agua Potable y Saneamiento, 2014. *Etat des lieux du droit à l'eau en Haïti: Quels accès à l'eau et à l'Assainissement?*. [pdf] DINEPA. Disponible en: <http://www.collectif-haiti.fr/data/file/CHF/DINEPA-Etat%20des%20lieux.pdf> [Visitada el 11 de Enero de 2016].
- DWC DecRen Water Consult, 2016. *What is ECOSAN (Ecological Sanitation)?*. [online] Disponible en: <http://www.dwc-water.com/ecological-sanitation/index.html> [Visitada el 2 de Febrero de 2016].
- EPA Agencia de Protección Ambiental, 2006. *News Releases - Toxic Chemicals and Pesticides*. [online] (22 de Junio de 2006) Disponible en: <http://yosemite.epa.gov/opa/admpress.nsf/4f88b25ea20ccbf985257359003f5345/f120c4f065c8bce685257195006a1831!OpenDocument> [Visitada el 17 de Enero de 2016].
- EPA Agencia de Protección Ambiental, 2015. *Puerto Rico Aqueduct and Sewer Authority, et al. Clean Water Act Settlement*. [online] (15 de Septiembre de 2015) Disponible en: <http://www.epa.gov/enforcement/puerto-rico-aqueduct-and-sewer-authority-et-al-clean-water-act-settlement> [Visitada el 13 de Enero de 2016].
- FAO Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2003. *Review of World Water Resources by Country*. [pdf] Italia:FAO. Disponible en: <ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/wr23e.pdf> [Visitada el 18 de Enero de 2016].
- Galbán-Rodríguez, L., 2009. El tratamiento descentralizado de aguas residuales domésticas como alternativa sostenible para el saneamiento periurbano en Cuba. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, [en línea] Disponible en: <http://riha.cujae.edu.cu/index.php/riha/article/view/87> [Visitada el 16 de Enero de 2016].
- Gobierno de Las Bahamas, 2001. *The Bahamas National Report Integrating Management of Watersheds and Coastal Areas in Small Island Developing States (SIDS) of the Caribbean*. [pdf] BEST Comission/ICF Consulting. Disponible en: <http://www.oas.org/reia/IWCAM/pdf/bahamas/Bahamas%20Report.PDF> [Visitada el 16 de Enero de 2016].
- GPA Plan de Acción Mundial, 2014. *What is the Global Wastewater Initiative?*. [online] Disponible en: <http://www.unep.org/gpa/gwi/> [Visitada el 1 de Febrero de 2016].
- Harbach, M., Rudolph, K.-U., 2007. *Private Sector Participation in Water and Sanitation for Developing Countries*. [pdf] CESifo DICE. Disponible en: [http://econpapers.repec.org/article/cesifodic/v\\_3a5\\_3ay\\_3a2007\\_3ai\\_3a2\\_3ap\\_3a33-39.htm](http://econpapers.repec.org/article/cesifodic/v_3a5_3ay_3a2007_3ai_3a2_3ap_3a33-39.htm) [Visitada el 3 de Marzo de 2016].
- House, S., Ince, M., Shaw, R., 2007. 51. *Water, sanitation and hygiene understanding*. [pdf] WELL. Disponible



- en: <http://www.lboro.ac.uk/well/resources/technical-briefs/51-water-sanitation-and-hygiene-understanding.pdf> [Visitada el 5 de Marzo de 2016].
- IMO Organización Marítima Internacional, 2016a. *International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL)*. [online] Disponible en: [http://www.imo.org/en/About/Conventions/listofconventions/pages/international-convention-for-the-prevention-of-pollution-from-ships-\(marpol\).aspx](http://www.imo.org/en/About/Conventions/listofconventions/pages/international-convention-for-the-prevention-of-pollution-from-ships-(marpol).aspx) [Visitada el 4 de Febrero de 2016].
- IMO Organización Marítima Internacional, 2016b. *Status of Conventions*. [online] Disponible en: <http://www.imo.org/en/About/Conventions/StatusOfConventions/Pages/Default.aspx> [Visitada el 4 de Febrero de 2016].
- Jenkins, M.W., Curtis, V., 2005. Achieving the 'good life': Why some people want latrines in rural Benin. *Social Science & Medicine*. [online] Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0277953605002078> [Visitada el 15 de Febrero de 2016].
- Kalbermatten, J.M., Julius, D.S., Gunnerson, C.G., Mara, D.D., 1982. *Appropriate Sanitation Alternatives. A Planning and Design Manual*. [pdf] Banco Mundial. Disponible en: [http://www-wds.worldbank.org/external/default/WDSContentServer/WDSP/IB/1999/09/17/000178830\\_98101911364168/Rendered/PDF/multi\\_page.pdf](http://www-wds.worldbank.org/external/default/WDSContentServer/WDSP/IB/1999/09/17/000178830_98101911364168/Rendered/PDF/multi_page.pdf) [Visitada el 1 de Marzo de 2016].
- Kayombo, S., Mbwette, T.S.A., Katima, J.H.Y., Ladegaard, N., Jørgensen, S.E., 2005. *Waste Stabilization Ponds and Constructed Wetlands. Design Manual*. [pdf] University of Dar es Salaam/Danish University of Pharmaceutical Sciences. Disponible en: [http://www.unep.org/ietc/Portals/136/Publications/Water&Sanitation/PondsAndWetlands\\_Design\\_Manual.pdf](http://www.unep.org/ietc/Portals/136/Publications/Water&Sanitation/PondsAndWetlands_Design_Manual.pdf) [Visitada el 2 de Marzo de 2016].
- Lampoglia, T.C., Mendonça, S.R., 2006. *Alcantarillado condominial : una estrategia de saneamiento para alcanzar los objetivos del milenio en el contexto de los municipios saludables*. [pdf] CEPIS/OPS. Disponible en: [http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacq/guialcalde/2sas/d24/059\\_Alcantarillado\\_Condominial-Lampoglia/Alcantarillado%20Condominial%20-%20Teresa.pdf](http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacq/guialcalde/2sas/d24/059_Alcantarillado_Condominial-Lampoglia/Alcantarillado%20Condominial%20-%20Teresa.pdf) [Visitada el 25 de Abril de 2016].
- Lüthi, C., 2011. *Community-Led Urban Environmental Sanitation Planning (CLUES)*. [pdf] Eawag/WSSCC/UN-HABITAT. Disponible en: [http://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/schwerpunkte/esp/CLUES/CLUES\\_Guidelines.pdf](http://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/schwerpunkte/esp/CLUES/CLUES_Guidelines.pdf) [Visitada el 25 de Febrero de 2016].
- Morgan, P., 2011. *Trees as Recyclers of Nutrients Present in Human Excreta*. [pdf] SEI. Disponible en: <http://www.susana.org/resources/documents/default/2-1285-2-1285-main-tree-report-4-sept-2011.pdf> [Visitada el 3 de Marzo de 2016].
- NEPA Agencia Nacional de Medio Ambiente y Planeación, 2016. *Policies & Standards*. [online] (22 de Enero de 2016) Disponible en: [http://www.nepa.gov.jm/new/legal\\_matters/policies\\_standards/index.php](http://www.nepa.gov.jm/new/legal_matters/policies_standards/index.php) [Visitada el 8 de Enero de 2016].
- NOAA Administración Nacional Oceánica y Atmosférica, 2015. *With El Niño likely, what climate impacts are favored for this summer?*. [online] (28 de Myo de 2015)

- Disponible en: <https://www.climate.gov/news-features/blogs/enso/el-ni%C3%B1o-likely-what-climate-impacts-are-favored-summer> [Visitada el 22 de abril de 2016].
- Noyola, A., Morgan-Sagastume, J.M., Güereca, L.P., 2013. *Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales. Guía de apoyo para ciudades pequeñas y medianas*. [pdf] México: UNAM/IDRC. Disponible en: <https://www.globalmethane.org/documents/Seleccion-de-Tecnologias-para-el-Tratamiento-de-Aguas-Residuales-Municipales.pdf> [Visitada el 9 de Enero de 2016].
- NWC National Water Commission, 2016. *Sewerage Treatment Plants*. [en línea] (13 de Enero de 2016) Disponible en: [http://www.nwcjamaica.com/SEWRAGE\\_TREATMENTPLANT.asp](http://www.nwcjamaica.com/SEWRAGE_TREATMENTPLANT.asp) [Visitada el 10 de Enero de 2016]
- OEFA Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental, 2014. *Fiscalización ambiental en aguas residuales*. [pdf] OEFA. Disponible en: [https://www.oefa.gob.pe/?wpfb\\_dl=7827](https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827) [Visitada el 13 de Enero de 2016].
- OMS Organización Mundial de la Salud, 2009a. *Summary and Policy Implications. Vision 2030. The Resilience of Water Supply and Sanitation in the Face of Climate Change*. [pdf] OMS. Disponible en: [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/vision\\_2030\\_9789241598422.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/vision_2030_9789241598422.pdf) [Visitada el 1 de Marzo de 2016].
- OMS Organización Mundial de la Salud, 2009b. *Scaling Up Household Water Treatment Among Low-Income Populations*. [pdf] OMS. Disponible en: [http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/70049/1/WHO\\_HSE\\_WSH\\_09.02\\_eng.pdf](http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/70049/1/WHO_HSE_WSH_09.02_eng.pdf) [Visitada el 7 de Marzo de 2016].
- OMS/ONU Organización Mundial de la Salud/Naciones Unidas, 2014. *UN-water global analysis and assessment of sanitation and drinking-water (GLAAS) 2014 – report. Investing in water and sanitation: increasing access, reducing inequalities*. [pdf] OMS/ONU. Disponible en: [http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/139735/1/9789241508087\\_eng.pdf](http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/139735/1/9789241508087_eng.pdf) [Visitada el 15 de Enero de 2016].
- OMS/UNICEF Organización Mundial de la Salud/ Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia, 2014. *Progress on Drinking-Water and Sanitation. 2014 Update*. [pdf] OMS/UNICEF. Disponible en: [http://www.unwater.org/fileadmin/user\\_upload/unwater\\_new/docs/jmp.2014\\_eng.pdf](http://www.unwater.org/fileadmin/user_upload/unwater_new/docs/jmp.2014_eng.pdf) [Visitada el 17 de Enero del 2016].
- OMS/UNICEF Organización Mundial de la Salud/ Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia, 2015. *Progress on Sanitation and Drinking Water: 2015 Update and MDG Assessment*. [pdf] OMS/UNICEF. Disponible en: [http://www.unicef.org/publications/files/Progress\\_on\\_Sanitation\\_and\\_Drinking\\_Water\\_2015\\_Update\\_.pdf](http://www.unicef.org/publications/files/Progress_on_Sanitation_and_Drinking_Water_2015_Update_.pdf) [Visitada el 14 de Enero de 2016].
- ONU Naciones Unidas, 2003. *Cuba: A case study. Related best practice or lessons learned in water & sanitation*. [pdf] ONU. Disponible en: <http://www.un.org/esa/agenda21/natlinfo/countr/cuba/CaseStudyCubaws3.pdf> [Visitada el 8 de Enero de 2016].
- ONU Naciones Unidas, 2014. *Updates Report of the WHO/UNICEF Joint Monitoring Programme for Water Supply and Sanitation (JMP)*. [online]

- Disponible en: <http://www.unwater.org/publications/imp/en/> [Visitada el 3 de Febrero de 2016].
- ONU Naciones Unidas, 2016. *Documentos. Programa 21*. [online] Disponible en: <http://www.un.org/spanish/esa/sustdev/agenda21/> [Visitada el 3 de Febrero de 2016].
- O'Shaughnessy, W., 2006. *La conception et l'évaluation de projet*. Tome 2. Les Éditions SMG. 314 p.
- Parkinson, J., Lüthi, C., Whalter, D., 2014. *Sanitation 21. A Planning Framework for Improving City-wide Sanitation Services*. [pdf] IWA/Eawag/GIZ. Disponible en: [http://www.iwa-network.org/filemanager-uploads/IWA-Sanitation-21\\_22\\_09\\_14-LR.pdf](http://www.iwa-network.org/filemanager-uploads/IWA-Sanitation-21_22_09_14-LR.pdf) [Visitada el 3 de Marzo de 2016].
- Parr, J., Smith, M., Shaw, R., 2007. *64. Wastewater treatment options*. [pdf] WELL. Disponible en: <http://www.lboro.ac.uk/well/resources/technical-briefs/64-wastewater-treatment-options.pdf> [Visitada el 10 de Febrero de 2016].
- Parry-Jones, S., 1999. *Optimising the selection of demand assessment techniques for water supply and sanitation projects*. [pdf] WELL. Disponible en: <http://www.lboro.ac.uk/well/resources/well-studies/full-reports-pdf/task0207.pdf> [Visitada el 2 de Marzo de 2016].
- Peasey, A., 2000. *Health Aspects of Dry Sanitation with Waste Reuse*. [pdf] WELL. Disponible en: <http://www.ircwash.org/sites/default/files/Peasey-2000-Health.pdf> [Visitada el 28 de Febrero de 2016].
- PNUD Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 1998. *Planning and Management of Heavily Contaminated Bays and Coastal Areas in the Wider Caribbean*. [pdf] PNUD. Disponible en: [http://iwlearn.net/iw-projects/614/project\\_doc/caribbean-contaminated-bays-final-project-summary-pilot-phase-98p-628k.pdf](http://iwlearn.net/iw-projects/614/project_doc/caribbean-contaminated-bays-final-project-summary-pilot-phase-98p-628k.pdf) [Visitada el 17 de Enero de 2016].
- PNUMA Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 1994. *Regional Overview of Land-Based Sources of Pollution in the Wider Caribbean Region. CEP Technical Report No. 33*. [pdf] PNUMA. Disponible en: <http://cep.unep.org/meetings/documents/822c2db2122288bd089824fe61f76ae7> [Visitada el 12 de Enero de 2016].
- PNUMA Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 1995. *Global Programme of Action for the Protection of the Marine Environment from Land-based Activities*. [pdf] Estados Unidos:PNUMA. Disponible en: [http://coralreef.noaa.gov/threats/pollution/resources/unep\\_lbsp\\_pgrm.pdf](http://coralreef.noaa.gov/threats/pollution/resources/unep_lbsp_pgrm.pdf) [Visitada el 4 de Febrero de 2016].
- PNUMA Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2004a. *Water Supply and Sanitation Coverage in UNEP Regional Seas, Need for Regional Wastewater Emission Targets? Section III: An Inventory of Regional Specific Data and the Feasibility of developing Regional Wastewater Emission Targets (WET)*. [pdf] PNUMA. Disponible en: [http://esa.un.org/iys/docs/san\\_lib\\_docs/wet\\_section\\_iii\\_english.pdf](http://esa.un.org/iys/docs/san_lib_docs/wet_section_iii_english.pdf) [Visitada el 9 de Enero de 2016].
- PNUMA Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2004b. *Global International Waters Assessment. Regional Assessment 4. Caribbean Islands*. [pdf] Suecia:PNUMA. Disponible

- en: [http://www.unep.org/dewa/qiwa/areas/reports/r4/qiwa\\_regional\\_assessment\\_r4.pdf](http://www.unep.org/dewa/qiwa/areas/reports/r4/qiwa_regional_assessment_r4.pdf) [Visitada el 17 de Enero de 2016].
- PNUMA Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2005. *UNEP Annual Report 2004*. PNUMA.
- PNUMA Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2010. *Perspectivas del Medio Ambiente. América Latina y el Caribe*. [pdf] PNUMA. Disponible en: <http://www.pnuma.org/geo/geoalc3/Doc%20COMPLETO/GEO%20ALC%20%20WEB%20VERSION%20C.pdf> [Visitada el 11 de Enero de 2016].
- PNUMA Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2012. *Progress in implementing the Global Programme of Action for the Protection of the Marine Environment from Land-based Activities at the National Level*. [pdf] Filipinas:PNUMA. Disponible en: <http://unep.org/gpa/documents/meetings/IGRIII/IGRIII GPAProgressNationalLevel.pdf> [Visitada el 3 de Febrero de 2016].
- PNUMA Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2016. *About UNEP/ROLAC*. [online] Disponible en: <http://web.unep.org/regions/rolac/about-uneprolac> [Visitada el 1 de Febrero de 2016].
- PNUMA/CEP Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente/Programa Ambiental del Caribe, 2006. *National Programmes of Action for the Protection of the Coastal and Marine Environment from Land-based Sources of Pollution: The Caribbean Experience*. [pdf] Jamaica:PNUMA/CEP. Disponible en: <http://www.cep.unep.org/publications-and-resources/technical-reports/technical-reports> [Visitada el 20 de Enero de 2016].
- PNUMA/CEP Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente/Programa Ambiental del Caribe, 2015a. *UNEP CEP - Protecting our Caribbean Sea & Securing our Future*. [online] Disponible en: <http://www.cep.unep.org/about-us> [Visitada el 2 de Febrero de 2016].
- PNUMA/CEP Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente/Programa Ambiental del Caribe, 2015b. *GEF Projects*. [online] Disponible en: <http://www.cep.unep.org/gef-projects> [Visitada el 4 de Febrero de 2016].
- PNUMA/OMS/HABITAT/WSSC Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente/Organización Mundial de la Salud/Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos/Consejo Colaborativo de Suministro de Agua y Saneamiento, 2004. *Guidelines on Municipal Wastewater Management*. [pdf] Países Bajos:PNUMA/OMS/HABITAT/WSSC. Disponible en: [http://esa.un.org/iys/docs/san\\_lib\\_docs/guidelines\\_on\\_municipal\\_wastewater\\_english.pdf](http://esa.un.org/iys/docs/san_lib_docs/guidelines_on_municipal_wastewater_english.pdf) [Visitada el 29 de Enero de 2016].
- PNUMA/PAM Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente/Programa de Acción Mundial, 2002. *Need for Wastewater Emission Targets?*. [pdf] Países Bajos:PNUMA/PAM. Disponible en línea: [http://dinrac.nowpap.org/documents/GPA\\_WET\\_Handout.pdf](http://dinrac.nowpap.org/documents/GPA_WET_Handout.pdf) [Visitada el 6 de Febrero de 2016].
- PNUMA/PAM Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente/Programa de Acción Mundial, 2006. *The State of the Marine Environment. Trends and processes*. [pdf] Países Bajos:PNUMA/PAM.

- Disponible en: [http://www.env-  
edu.gr/Documents/The%20State%20of%20the%20Marine%20Environment%20-  
%20Trends%20and%20processes.pdf](http://www.env-<br/>edu.gr/Documents/The%20State%20of%20the%20Marine%20Environment%20-<br/>%20Trends%20and%20processes.pdf) [Visitada el 10 de Enero de 2016].
- PRASA Autoridad de Acueductos y Alcantarillado de Puerto Rico, 2003. *Rules and Regulations for the Supply of Water and Sewer Service*. [pdf] PRASA. Disponible en: [https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:Tvu2xVB-  
J50J:https://www.acueductospr.com/NUESTRAAUTORIDAD/download/reglamen-  
tos/Regulations%2520PRASA-english\\_2a.doc+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=mx](https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:Tvu2xVB-<br/>J50J:https://www.acueductospr.com/NUESTRAAUTORIDAD/download/reglamen-<br/>tos/Regulations%2520PRASA-english_2a.doc+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=mx) [Visitada el 15 de Enero de 2016].
- Ramírez-Flores, O.M., Espejel-Carbajal, I., 2001. *Las aguas residuales municipales como fuentes terrestres de contaminación de la zona marino-costera en la región de América Latina y El Caribe*. [pdf] PNUMA/PAM/ROLAC. Disponible en: <http://www.pnuma.org/deat1/pdf/Manejo%20de%20Aguas%20Residuales.pdf> [Visitada el 12 de Enero del 2016].
- Saywell, D., Hunt, C. 1999. *Sanitation Programmes Revisited*. [pdf] WELL. Disponible en: [http://www.lboro.ac.uk/well/resources/well-studies/full-reports-  
pdf/task0161.pdf](http://www.lboro.ac.uk/well/resources/well-studies/full-reports-<br/>pdf/task0161.pdf) [Visitada el 18 de Marzo de 2016].
- Saywell, D., Shaw, R., 2007. 61. *On-plot sanitation in urban areas*. [pdf] WELL. Disponible en: [http://www.lboro.ac.uk/well/resources/technical-briefs/61-on-plot-  
sanitation-in-urban-areas.pdf](http://www.lboro.ac.uk/well/resources/technical-briefs/61-on-plot-<br/>sanitation-in-urban-areas.pdf) [Visitada el 7 de Febrero de 2016].
- Scott, E., 2002. Dry sanitation solutions. *Journal of Rural and Remote Environmental Health*, [online]. Disponible en: <http://jrtph.jcu.edu.au/vol/v01scott2.pdf> [Visitada el 20 de Febrero de 2016].
- Senzia, M.A., Mashauri, D.A., Mayo, A.W., 2003. Suitability of constructed wetlands and waste stabilisation ponds in wastewater treatment: nitrogen transformation and removal. *Physics and Chemistry of the Earth*. [online] Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S147470650300180> [Visitada el 5 de Marzo de 2016].
- Simioni, D., 2003. Planificación y vulnerabilidad urbana. En: M. Balbo, R. Jordán, D. Simioni, ed. 2003. *La Ciudad Inclusiva*. Chile:ONU. pp. 279-304.
- Smith, I., 2005. *National Sanitation Policy for Jamaica*. [pdf] Environmental and Engineering Managers Ltd. Disponible en: [http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd48/Sanitation\\_Policy.pdf](http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd48/Sanitation_Policy.pdf) [Visitada el 10 de Enero de 2016].
- SNV Organización Neerlandesa para el Desarrollo, 2014. *Modelo Integral de Sostenibilidad de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales con Reuso de Aguas Tratadas*. [pdf] Bolivia:SVN. Disponible en: [http://www.snv.org/public/cms/sites/default/files/explore/download/modelo\\_int-  
egral\\_de\\_sostenibilidad\\_ssd\\_reuso.pdf](http://www.snv.org/public/cms/sites/default/files/explore/download/modelo_int-<br/>egral_de_sostenibilidad_ssd_reuso.pdf) [Visitada el 16 de Febrero de 2016].
- Strenström, T.A., Seidu, R., Ekane, N., Zurbrügg, C., 2011. *Microbial Exposure and Health Assessments in Sanitation Technologies and Systems*. [pdf] SEI. Disponible en: [https://www.sei-  
international.org/mediamanager/documents/Publications/SEI-Report-Stenstrom-  
MicrobialExposureAndHealthAssessmentsInSanitationTechnologiesAndSystems-  
2011.pdf](https://www.sei-<br/>international.org/mediamanager/documents/Publications/SEI-Report-Stenstrom-<br/>MicrobialExposureAndHealthAssessmentsInSanitationTechnologiesAndSystems-<br/>2011.pdf) [Visitada el 27 de Febrero de 2016].

- Strauss, M., 1985. *Health aspects of nightsoil and sludge use in agriculture and aquaculture. Part I Existing Practices and Beliefs in the Utilization of Human Excreta.* [pdf] IRCWD. Disponible en: <http://www.ircwash.org/sites/default/files/352.0-86HE-6547.pdf> [Visitada el 5 de Marzo de 2016].
- Tilley, E., Ulrich, L., Lüthi, C., Reymond, P., Zürbrugg, C., 2014. *Compendium of Sanitation Systems and Technologies.* [pdf] IWA. Disponible en: [http://www.sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/TILLEY%20et%20al%202014%20Compendium%20of%20Sanitation%20Systems%20and%20Technologies%202nd%20Revised%20Edition.pdf](http://www.sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/TILLEY%20et%20al%202014%20Compendium%20of%20Sanitation%20Systems%20and%20Technologies%202nd%20Revised%20Edition.pdf) [Visitada el 18 de Febrero de 2016].
- WSP Water and Sanitation Program, 2005. *The Experience of Condominial Water and Sewerage Systems in Brazil. Case Studies from Brasilia, Salvador and Parauapebas.* [pdf] WSP. Disponible en: <http://www.wsp.org/sites/wsp.org/files/publications/BrasilFinal2.pdf> [Visitada el 5 de Marzo de 2016].
- Winchester, L., 2006. Desafíos para el desarrollo sostenible de las ciudades en América Latina y El Caribe. *Revista de Estudios Urbano Regionales*, [online] Disponible en: [http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0250-71612006000200002&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0250-71612006000200002&script=sci_arttext) [Visitada el 8 de Enero de 2016].
- Wilkinson, C., 2008. *Status of Coral Reefs of the World: 2008.* [pdf] Australia:GCRMN. Disponible en: [http://www.icriforum.org/sites/default/files/GCRMN\\_Status\\_Coral\\_Reefs\\_2008.pdf](http://www.icriforum.org/sites/default/files/GCRMN_Status_Coral_Reefs_2008.pdf) [Visitada el 15 de Enero de 2016].
- Winblad, U., 1996. *Towards an ecological approach to sanitation.* [pdf] Sida. Disponible en: <http://libweb.anglia.ac.uk/referencing/harvard.htm> [Visitada el 7 de Marzo de 2016].