



Distr. LIMITADA

UNEP(DEPI)/CAR WG.41/INF.23/Rev.1

18 June 2021

Original: INGLÉS

Quinta Reunión de las Partes Contratantes (COP) al Protocolo Relativo a la Contaminación Procedente de Fuentes y Actividades Terrestres (FTCM) en la Región del Gran Caribe

Virtual, el 19 de julio de 2021

Documento informativo sobre las directrices/normas de gestión de nutrientes para los vertidos de aguas residuales en la región del Gran Caribe

Por razones de salud pública y seguridad asociadas a la pandemia de COVID-19, esta reunión se está convocando virtualmente. Se ruega a los delegados que accedan a todos los documentos de la reunión en formato electrónico para descargarlos cuando sea necesario.

Documento informativo sobre las directrices/normas de gestión de nutrientes para los vertidos de aguas residuales en la región del Gran Caribe

Dr. Hugh Sealy
2021



Centre for Resource Management and Environmental
Studies (CERMES)

The University of the West Indies, Faculty of Science and
Technology Cavehill Campus, Barbados

Tabla de Contenidos

Lista de Figuras.....	iii
Lista de Tablas.....	iii
LISTA DE APÉNDICES.....	iv
GLOSARIO.....	v
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 El Problema.....	1
1.1.1 Contribución de los vertidos de aguas residuales a la contaminación por nutrientes en la RGC.....	8
1.2 Importancia de las normas de descarga de nutrientes.....	9
2 MARCOS E INICIATIVAS MUNDIALES Y REGIONALES PERTINENTES EXISTENTES.....	14
2.1 Iniciativas globales.....	14
2.2 Asociación mundial para la gestión de los nutrientes.....	14
2.3 Iniciativas regionales.....	17
3 PRINCIPIOS Y ENFOQUES PARA LA GESTIÓN DE LAS NORMAS SOBRE AGUAS RESIDUALES EN LA RGC.....	21
3.1 El principio de precaución.....	21
3.2 Más vale prevenir que curar.....	22
3.3 El principio de que quien contamina paga.....	23
3.4 Normas de rendimiento y basadas en la tecnología.....	26
3.5 Normas basadas en la salud.....	27
3.6 Normas basadas en la calidad del agua.....	30
3.7 Cargas máximas diarias totales.....	33
4 REVISIÓN SELECTIVA DE LAS NORMAS VIGENTES SOBRE NUTRIENTES EN LOS VERTIDOS DE AGUAS RESIDUALES.....	37
4.1 CARICOM.....	37
4.1.1 Países seleccionados de América Latina y el Caribe dentro de la RGC.....	38
5 UN ESTUDIO DE CASO SOBRE EL DESARROLLO DE UN PLAN DE REUTILIZACIÓN DE AGUA Y GESTIÓN DE NUTRIENTES - BARBADOS.....	40
5.1 Principales estadísticas económicas y relacionadas con el agua en Barbados.....	40
5.2 Los factores facilitadores.....	41

5.3	Propuesta de plan de recuperación de aguas para Barbados	43
5.4	Estudio de prefactibilidad de la Recuperación de Aguas de la Costa Sur.....	44
5.4.1	Concentraciones en función de las cargas	49
5.4.2	Impacto económico nacional previsto	50
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	51
7	REFERENCIAS.....	53
8	APÉNDICE.....	56

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: El estado actual de las variables de control para siete de los nueve límites planetarios. (Steffen et. al., 2015)	2
Figura 1.2: Reproducido de la Figura ES1 Las cinco amenazas principales de un exceso o una falta de nutrientes (Sutton et. al. 2013)	3
Figura 1.3: Proyección de la producción mundial de fertilizantes (NPK) para 2050 (Drescher et. al., 2011)	4
Figura 1.4: Estado del nitrógeno inorgánico disuelto en RGC (PNUMA PAC 2019)	5
Figura 1.5: Fósforo inorgánico disuelto en la RGC (PNUMA PAC 2019)	6
Figura 1.6: Principales fuentes de nitrógeno y fósforo en la RGC - año base 2000. (RNPRSAP, en prensa)	7
Figura 3.1: Ubicación de la cuenca hidrográfica de Palm Coast (WBID 2363D) en la cuenca superior de la costa este (reproducido de la Figura 1.1 - Magley, 2013)	33
Figura 5.1: Sección transversal de oeste a este de Barbados.....	38
Figura 5.2: Propuesta de plan de reutilización de aguas residuales para Barbados	41
Figura 5.3: Diagrama de flujo del proceso para la propuesta de mejora de la EDAR de la Costa Sur (AECOM 2020)	46

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1: Valores umbrales de la calidad del agua ambiente utilizados para el DIN y el DIP (PNUMA PAC 2019	5
Tabla 2.1: Limitaciones de efluentes del protocolo FTCM para los vertidos de aguas residuales domésticas en la RGC	16
Tabla 3.1: Efectos del nitrógeno y el fósforo en las aguas residuales utilizadas para el riego (WHO 2006b)	26
Tabla 3.2: WQC de nutrientes seleccionados para el estado de Hawai	28-29
Tabla 4.1: Propuesta de Directrices de Efluentes para el Vertido de Aguas Residuales Municipales en las Aguas Costeras de la Región del Gran Caribe	34
Tabla 4.2: Normas de Vertido de Aguas residuales con nutrientes de algunos Estados miembros dentro de la RGC.....	35

Tabla 4.3: Resumen de los Parámetros y Matrices que se controlan para la Contaminación por nutrientes por 12 países/territorios de habla inglesa y francesa que respondieron (Los valores son porcentajes. NR: sin respuesta) (reproducido de Tabla 3.3, Ch. IV, RNPRSAP).....	36
Tabla 5.1: Normas de calidad del Agua de recarga de acuíferos potables propuestas para Barbados (AECOM 2020)	45
Tabla 5.2: Normas de calidad del Agua no potable propuestas para Barbados (AECOM 2020)	42-43
Tabla 5.3: Límites de Detección de Parámetros de Nutrientes en muestras marinas en Barbados (proporcionados por los Servicios Analíticos del Gobierno, Gobierno de Barbados, marzo de 2021)	42
Tabla 5.4: Mecanismos implicados en la Eliminación del Nitrógeno Total (EPA EE.UU. 2005).....	44
Tabla 5.5: Mecanismos implicados en la Eliminación del Fósforo Total (EPA EE.UU. 2005).....	44
Tabla 5.6: Comparación de las Configuraciones comunes de BNR (EPA EE.UU. 2005).....	45
Tabla 5.7: Límites de la Tecnología para las grandes y pequeñas EDAR (EPA EE.UU. 2005).....	45

LISTA DE APÉNDICES

Tabla 7.1: Referencias de las Normas citadas en Tabla 3.....	53-54
--	-------

GLOSARIO

BMP	-	Mejores prácticas de gestión
BNR	-	Eliminación biológica de nutrientes
CAR	-	Centro de Actividad Regional
CARPHA	-	Agencia de Salud Pública del Caribe
CEHI	-	Instituto de Salud Ambiental del Caribe
Chla	-	Clorofila-a
DBO	-	Demanda biológica de oxígeno
DIN	-	Nitrógeno inorgánico disuelto
DIP	-	Fósforo inorgánico disuelto
EDAR	-	Planta de Depuración de Aguas Residuales
ENCORE	-	Experimento de nutrientes elevados en arrecifes de coral
F.A.C.	-	Código Administrativo de Florida
FMAM	-	Fondo Mundial para el Medio Ambiente
FTCM	-	Protocolo relativo a la contaminación procedente de fuentes y actividades terrestres del Convenio para la Protección y el Desarrollo del Medio Marino en la Región del Gran Caribe
GPNM	-	Asociación Mundial para la Gestión de Nutrientes
HABS	-	Floraciones de Algas Nocivas
ICEP	-	Índice de Potencial de Eutrofización Costera
IFA	-	Asociación Internacional de Fertilizantes
INI	-	Iniciativa Internacional del Nitrógeno
INMS	-	Sistema Internacional de Gestión del Nitrógeno
ISO	-	Organización Internacional de Normalización
IWR	-	Regla de aguas superficiales deterioradas
LA	-	Asignación de cargas
LME	-	Ecosistemas Grandes Marinos
MOS	-	Margen de seguridad

MPCA	-	Ley de Control de la Contaminación Marina
NPDES	-	Sistema Nacional de Eliminación de Vertidos Contaminantes
NUE	-	Eficiencia en el uso de nutrientes
PAC	-	Programa Ambiental del Caribe
PNUMA	-	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
RGC	-	Región del Gran Caribe
RNPRSAP	-	Estrategia y plan de acción regional para la eliminación de la contaminación por nutrientes
R.O.	-	Ósmosis inversa
SOCAR	-	Informe sobre el estado de la zona del Caribe
SS	-	Sólidos en suspensión
TMDL	-	Carga máxima diaria
TN	-	Nitratos totales
TP	-	Fosfatos totales
USGS	-	Servicios Geológicos de los Estados Unidos
WBID	-	Número de identificación de la masa de agua
WCS	-	Mar del Gran Caribe
WLA	-	Asignación de carga de residuos
WQC	-	Determinación de los criterios de calidad del agua

1 INTRODUCCIÓN

Este documento es fruto de la recomendación en el Resultado 1.1.2 del Proyecto CREW + del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM) de que se modifique el Protocolo relativo a la contaminación procedente de fuentes y actividades terrestres (Protocolo FTCTM) del Convenio de Cartagena, adoptado en 1999, para permitir la adopción de nuevos criterios o normas para los vertidos de aguas residuales domésticas y aumentar la reutilización de las mismas. Por ende, el presente documento se centra en la gestión y regulación de los nutrientes (nitrógeno y fósforo) en los vertidos de aguas residuales domésticas en el Mar del Gran Caribe (WCS) y presenta un estudio de caso para el uso de agua regenerada en un pequeño estado insular en desarrollo con escasez de agua. Este documento informativo ha sido elaborado en el marco de una consultoría a corto plazo para el Programa Ambiental del Caribe (PAC) del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Secretaría del Convenio de Cartagena, y refleja únicamente las opiniones del autor.

1.1 El Problema

A nivel mundial, los ciclos naturales del nitrógeno y el fósforo se han alterado de forma significativa. El concepto de "límites planetarios" se introdujo en 2009 (Rockstrom et. al, 2009) y se actualizó en 2015 (Steffen et. al., 2015). El concepto de límites implica que hay límites ambientales dentro de los cuales los seres humanos pueden seguir desarrollándose y prosperando de forma sostenible. Existe una zona segura. En 2009, Johan Rockstrom y otros 27 científicos identificaron 9 procesos, a nivel planetario, que son fundamentales para mantener esta zona segura. El siguiente diagrama (Figura 1.1), reproducido a partir del artículo de 2015, indica que los flujos biogeoquímicos de nitrógeno ya han superado el límite propuesto y los de fósforo han pasado a ser de alto riesgo¹.

¹ El límite planetario propuesto para la alteración del ciclo del nitrógeno, tanto por los procesos industriales (por ejemplo, Haber Bosch) como por la fijación biológica intencionada, es de 62 Tg de N al año-1 y para los flujos de fósforo de los sistemas de agua dulce a los océanos es de 11 Tg P yr⁻¹ (Steffen et. al., 2015).

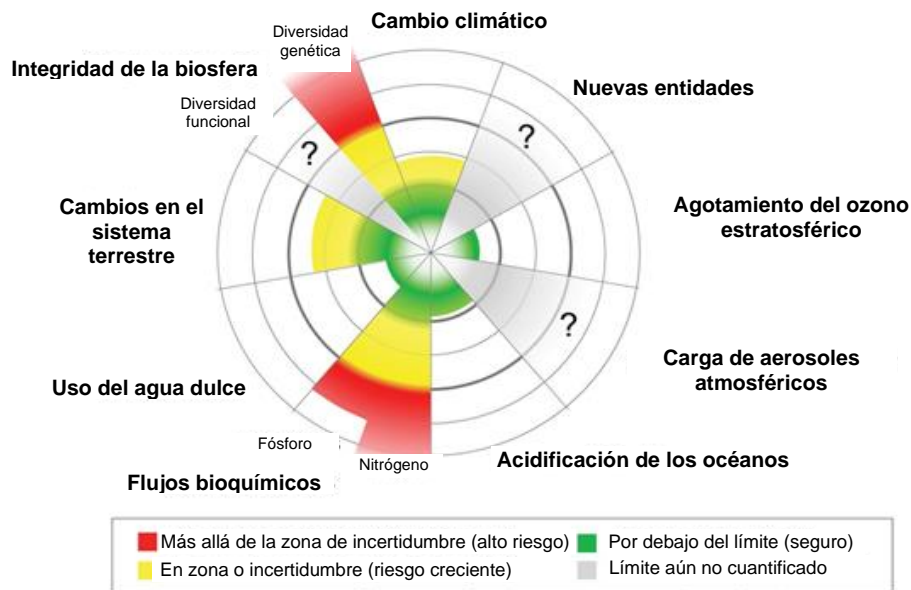


Figura 1.1: El estado actual de las variables de control para siete de los nueve límites planetarios. (Steffen et. al., 2015)

A nivel mundial, las cinco principales amenazas medioambientales derivadas de los nutrientes se han recogido bajo el acrónimo WAGES:

- Calidad del agua
- Calidad del aire
- Balance de gases de efecto invernadero
- Ecosistemas y biodiversidad
- Calidad del suelo

y que se ilustra a continuación en la Figura 1.2, reproducida del informe titulado "Our Nutrient World" elaborado por encargo de la Asociación Mundial para la Gestión de los Nutrientes (GPNM) y la Iniciativa Internacional del Nitrógeno (INI) (Sutton et. al., 2013).

En los Estados Unidos, según la [Agencia de Protección del Medio Ambiente de EE.UU.](#), las principales fuentes de exceso de nitrógeno y fósforo son la agricultura, las aguas pluviales, las

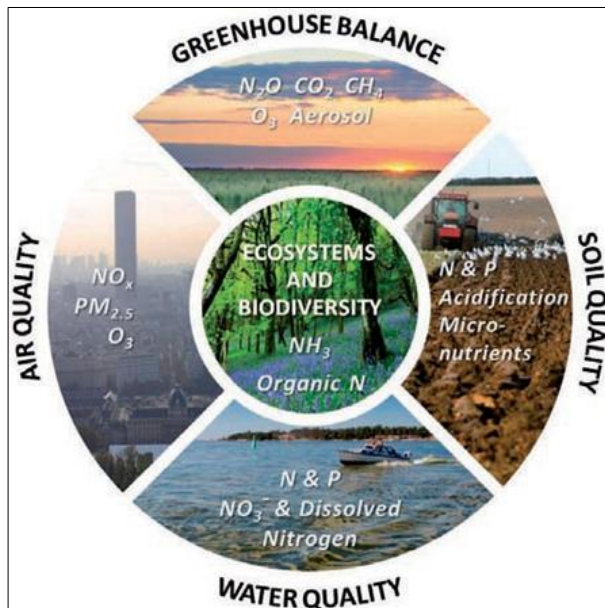


Figura 1.2: Reproducido de la Figura ES1 Las cinco amenazas principales de un exceso o una falta de nutrientes (Sutton et. al. 2013)

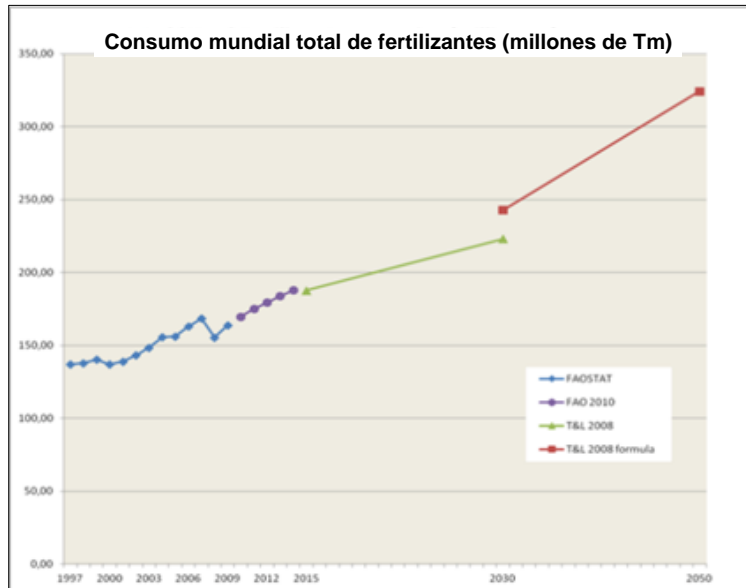
aguas residuales, los combustibles fósiles; y los impactos en la salud pública (por ejemplo, la calidad del aire y del agua) y en el medio ambiente (por ejemplo, la degradación de la salud de los bosques y del suelo, y la pérdida de biodiversidad debido a las floraciones de algas y la hipoxia) se describen como uno de los problemas ambientales más extendidos y costosos a los que se enfrenta esa nación. Impactos similares, debidos a la mala gestión de los nutrientes, se están produciendo en toda la Región del Gran Caribe (RGC) (PNUMA PAC, 2019).

Fig. 1.2:

- EQUILIBRIO DEL INVERNADERO**
- CALIDAD DEL SUELO**
- N y P Acidificación Micronutrientes
- CALIDAD DEL AGUA**
- N & P NO₃ & Nitrógeno disuelto
- CALIDAD DEL AIRE**
- ECOSISTEMAS Y BIODIVERSIDAD**
- NH₃
- N orgánico

Al comparar las relaciones isotópicas del nitrógeno-14 con el nitrógeno-15 en los nitratos depositados en los núcleos de hielo de Groenlandia, los científicos han encontrado una nueva forma de estimar cómo los seres humanos han alterado la cantidad de nitrógeno almacenado en la biosfera, con los cambios más rápidos correlacionados con el aumento de la combustión de combustibles fósiles (Hastings et. al., 2009). Otra investigación, aquí en el Caribe, ha mostrado un descenso del nitrógeno-15 en los abanicos marinos entre 1862 y 2005 y ha atribuido este cambio en la relación isotópica del nitrógeno al "aporte generalizado de fertilizantes agrícolas a las aguas costeras cercanas a la costa" (traducido de Baker et. al., 2010).

La roca fosfórica es un recurso finito y las fuentes conocidas de roca fosfórica extraída se están agotando, mientras que la demanda de fósforo sigue aumentando y se espera que se duplique para el año 2050 (véase la Figura 1.3).



Se discute cuál es el año máximo de producción de fósforo a partir del cual la producción caerá debido a la disminución de las reservas. El Centro Internacional de Desarrollo de Fertilizantes cree que tenemos suficientes reservas (la mitad de las cuales están en Marruecos) para los próximos 300 - 400 años (IFDC, 2010). El Servicio Geológico de

Estados Unidos (USGS) estima que, con un crecimiento cero de la demanda, los recursos mundiales de fósforo durarían otros 260 años (Jasinski, 2017). Cuándo se producirá el "pico de fósforo" puede ser discutible, lo que no lo es es que, dado que el fósforo es un elemento esencial y finito, debemos procurar conservar el recurso.

Se observa que cada año se vierten más de 3 millones de toneladas de fósforo en orina y heces humanas, lo que equivale al 22% de la demanda mundial (Mihelcic et. al., 2011). La estruvita, fosfato de magnesio y amonio, producida por algunas bacterias al descomponer la urea de la orina, causante de las piedras renales, puede utilizarse como fertilizante fosfatado de liberación lenta. Un debate detallado sobre la posible recuperación del fósforo de las aguas residuales queda fuera del alcance de este documento. Sin embargo, cabe señalar que un método para precipitar y recuperar eficientemente la estruvita en las plantas de tratamiento de aguas residuales ha sido patentado en Noruega (NORSOK, 2019) y el proceso Pearl® se está utilizando para precipitar la estruvita en un puñado de plantas de tratamiento de aguas residuales (EDAR) en los Estados Unidos y Canadá (Schaum, 2018).

Dentro de la Región del Gran Caribe (RGC) (Figuras 1.4 y 1.5 a continuación), la contaminación por nutrientes del Gran Caribe ha sido evaluada recientemente en el Informe sobre el Estado de la Zona del Caribe (SOCAR) (PNUMA PAC, 2019) mediante el muestreo de un número limitado de sitios tanto insulares como continentales en la estación húmeda. El

SOCAR clasifica las aguas de la RGC como buenas, regulares o pobres basándose en los rangos de umbral de nitrógeno inorgánico disuelto (DIN) y fósforo inorgánico disuelto (DIP) como indicadores (Ver Tabla 1.1). La idoneidad de los parámetros y las concentraciones umbral utilizadas en la Tabla 1.1 se analizan en los apartados 3.1 y 3.6.

Tabla 1.1: Valores umbrales de calidad del agua en el medio ambiente utilizados para el DIN y el DIP (PNUMA PAC 2019)

Indicador	Estado	Continental	Isla
		mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹
DIN	Bien	< 0.1	<0.05
	Regular	0.1 to 0.5	0.05 to 0.1
	Pobre	>0.5	>0.1
DIP	Bien	<0.01	<0.005
	Regular	0.01-0.05	0.005-0.01
	Pobre	>0.05	>0.01

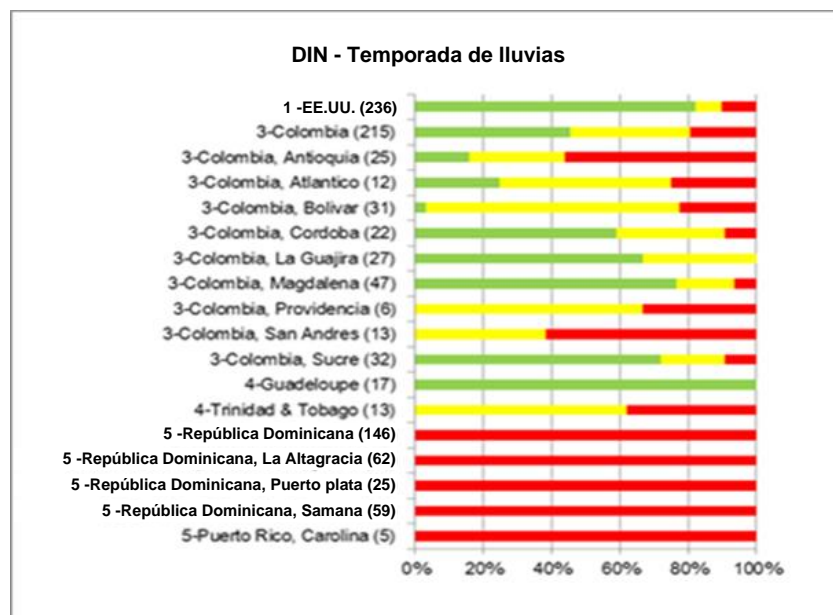


Figura 1.4: Estado del nitrógeno inorgánico disuelto en la RGC (PNUMA PAC 2019)

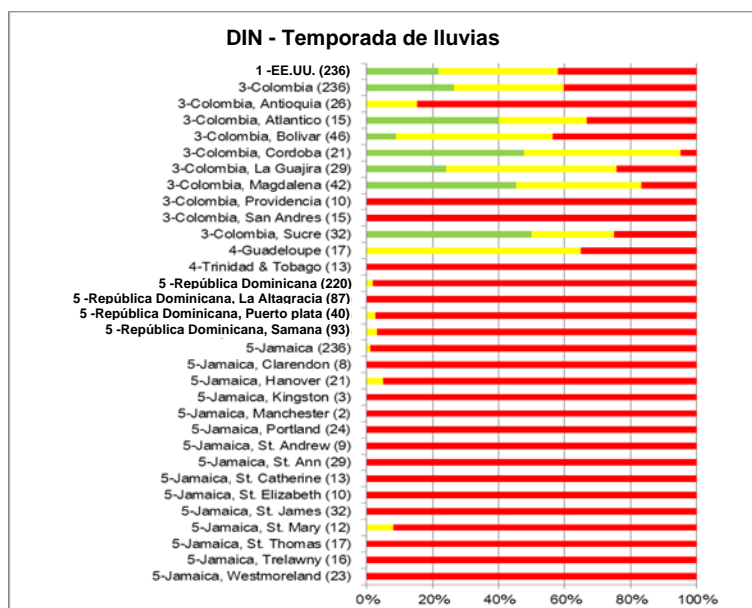


Figura 1.5: Fósforo inorgánico disuelto en la RGC (PNUMA PAC 2019)

Reconociendo las limitaciones de los conjuntos de datos representados en las Figuras 1.4 y 1.5 incluidas arriba, aún se puede argumentar que los datos limitados parecen indicar una frecuencia más alta de lo deseable de condiciones "pobres" para el DIN y en particular para el DIP en los sitios monitoreados dentro de la RGC. Si bien el Mar Caribe puede o no caracterizarse como limitado por el nitrógeno (es decir, normalmente hay suficiente fósforo presente, pero el nitrógeno es el factor limitante para crear las condiciones que permiten la floración de algas²), las figuras 1.4 y 1.5 sugieren que los vertidos de nitrógeno y fósforo deben gestionarse mejor.

Como se indica en el capítulo 3 del Plan de Acción y Estrategia Regional de Eliminación de la Contaminación por Nutrientes (RNPRSAP), se han registrado aproximadamente 164 zonas hipóxicas en la RGC y se ha aumentado la frecuencia de las floraciones de algas nocivas (FAN). Se ha observado que la aparición de las FAN (el 80% de las cuales son causadas por dinoflagelados en la región de ALC) puede verse influida por una serie de factores, entre los que se encuentran el aumento de la temperatura del mar, el incremento de la acidez del océano, la proporción de las cargas de nitrógeno y fósforo (proporción de Redfield), la desoxigenación y la cantidad de sílice vertida (Neil, 2005) (Gilbert, 2020) (RNPRSAP en prensa).

² Se observa el papel de la presencia de sílice.

En respuesta a los impactos globales de la contaminación por nitrógeno, incluyendo el cambio climático, la contaminación atmosférica y la pérdida de biodiversidad, la ONU lanzó en 2019 una Campaña Mundial sobre la Gestión Sostenible del Nitrógeno y estableció el objetivo de reducir a la mitad los residuos de nitrógeno para 2030. Otra respuesta al "desafío de los nutrientes" es la Asociación Mundial para la Gestión de los Nutrientes, establecida en el marco del Programa de Acción Mundial para la Protección del Medio Marino frente a las Actividades en Tierra (GPA). Estos y otros marcos mundiales y regionales se analizan brevemente en la sección 2.0.

1.1.1 Contribución de los vertidos de aguas residuales a la contaminación por nutrientes en la RGC

Los vertidos de aguas residuales representan aproximadamente el 10 % de la carga de nutrientes en la RGC, véase la Figura 1.6 a continuación, reproducida del Capítulo 1 del RNPRSAP.

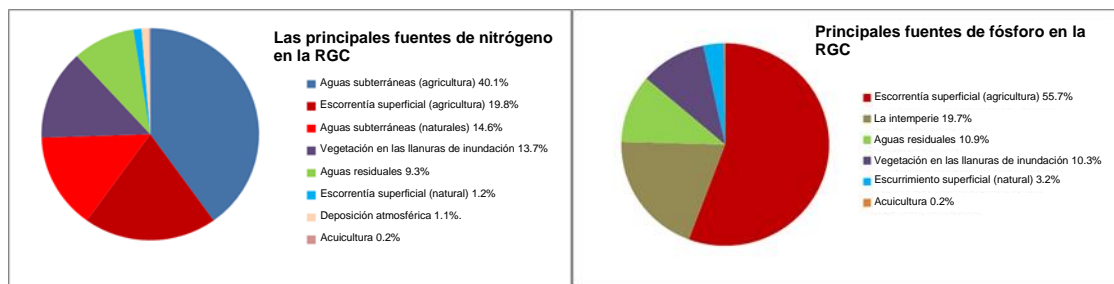


Figura 1.6: Principales fuentes de nitrógeno y fósforo en la RGC -año base 2000. (RNPRSAP, en prensa)

Puede haber alguna variación en la contribución porcentual de las aguas residuales domésticas (aguas residuales) a las cargas globales de nutrientes entre las subregiones de la RGC. Aquellas regiones/países con una agricultura menos intensiva y con poblaciones costeras densas, incluidos los turistas de paso, pueden tener una mayor contribución de las aguas residuales.

Un estudio realizado en 2015 en Barbados utilizó cañas de mar gorgonias (*Eunicea Flexuosa*) y más de 40 especies de macroalgas recogidas, como bioindicadores, en las costas sur y oeste de la isla. Se tomaron muestras y se realizaron análisis de isótopos de nitrógeno. El estudio concluyó que "“*sewage sources of nitrogen dominate along the south and much of the west coast of the island.*” (Baird, 2017). (“*las fuentes de nitrógeno de las aguas residuales predominan a lo largo de la costa sur y gran parte de la costa oeste de la isla.*”)

Por lo tanto, parece prudente tratar de gestionar las entradas de nutrientes en la RGC procedentes tanto de la agricultura como de las aguas residuales, y el enfoque de este trabajo se centra en estas últimas.

1.2 Importancia de las normas de descarga de nutrientes

Según la Organización Internacional de Normalización (ISO), las normas ayudan a responder a la pregunta: ¿Cuál es la mejor manera de hacerlo? Las normas permiten establecer objetivos y metas y permiten revisar objetivamente la adecuación de los esfuerzos. Una buena norma medioambiental es aplicable y eficaz para proteger el aspecto del medio ambiente que se pretende proteger.

Entonces, ¿cómo pretende el Protocolo FTCM regular actualmente el problema de los nutrientes? Las obligaciones generales pertinentes de las Partes, descritas en el artículo III, se reproducen a continuación (empatía del autor):

- Cada Parte Contratante, de conformidad con su legislación, las disposiciones del presente Protocolo y el derecho internacional, adoptará las medidas adecuadas para prevenir, reducir y controlar la contaminación de la zona del Convenio procedente de fuentes y actividades terrestres, utilizando para ello los mejores medios posibles a su alcance y de acuerdo con sus capacidades.
- Cada Parte Contratante elaborará y aplicará planes, programas y medidas adecuados. En esos planes, programas y medidas, cada Parte Contratante adoptará medios eficaces para prevenir, reducir o controlar la contaminación de la zona del Convenio procedente de fuentes y actividades terrestres en su territorio, incluida la utilización de la tecnología y los enfoques de gestión más adecuados, como la gestión integrada de las zonas costeras.

Obsérvese el uso de términos como "los mejores medios posibles", "de acuerdo con sus capacidades" y "la tecnología más adecuada"³, lo que parece ser un reconocimiento de las

3 El Protocolo FTCM define la tecnología más apropiada como la mejor de las técnicas, prácticas o métodos de operación actualmente disponibles para prevenir, reducir o controlar la contaminación de la zona del Convenio que sean apropiados a las condiciones sociales, económicas, tecnológicas, institucionales, financieras, culturales y ambientales de una o varias Partes Contratantes

diferentes capacidades y culturas de las partes contratantes e implica una filosofía inherente al uso de normas basadas en la tecnología (véase la sección 3.4).

Otros artículos relevantes del actual Protocolo FTCM son:

- Artículo V - Las Partes Contratantes promoverán la cooperación
 - identificar y contactar con posibles fuentes de financiación para los proyectos necesarios para la aplicación del presente Protocolo.
- Artículo VI - Cada Parte Contratante formulará y aplicará programas de vigilancia, según proceda, de conformidad con las disposiciones del presente Protocolo y la legislación nacional pertinente. Dichos programas podrán, entre otras cosas:
 - a) identificar y evaluar sistemáticamente las pautas y tendencias de la calidad ambiental de la zona del Convenio; y
 - (b) evaluar la eficacia de las medidas adoptadas para aplicar el Protocolo.
- Artículo XII - Las Partes Contratantes presentarán informes a la Organización
 - El Comité Científico, Técnico y Consultivo utilizará los datos y la información contenidos en estos informes nacionales para preparar informes regionales

También hay cláusulas relevantes en los anexos. Por ejemplo:

- Anexo I
 - Las aguas residuales domésticas son una categoría de fuente prioritaria
 - Los compuestos de nitrógeno y fósforo son los principales contaminantes
- Anexo II
 - Las Partes Contratantes, al elaborar las limitaciones de efluentes y emisiones y las prácticas de gestión específicas de las fuentes subregionales y regionales en virtud del artículo IV del presente Protocolo, evaluarán y tendrán en cuenta los siguientes factores:
 - Cantidad total (unidades vertidas, por ejemplo, por año o por día)
 - Tecnologías alternativas de producción, tratamiento de residuos o prácticas de gestión
 - (a) Oportunidades de reciclaje, recuperación y reutilización
- Anexo III
 - Cada Parte Contratante deberá:

- a) En consonancia con las disposiciones del presente Anexo, establecerá la reglamentación de las aguas residuales domésticas que se viertan en la zona del Convenio o que la afecten negativamente;
- b) En la medida de lo posible, ubicar, diseñar y construir instalaciones de tratamiento de aguas residuales domésticas y vertederos de manera que se reduzcan al mínimo los efectos adversos sobre las aguas de la clase I o los vertidos en las mismas;
- (c) Fomentar y promover la reutilización de las aguas residuales domésticas que reduzca al mínimo o elimine los vertidos en la zona del Convenio o los vertidos que afecten negativamente a la misma;
- (d) Promover el uso de tecnologías más limpias para reducir los vertidos al mínimo o para evitar los efectos adversos dentro de la zona del Convenio; y
- (e) Elaborar planes para cumplir las obligaciones del presente Anexo, incluidos, cuando proceda, planes para obtener asistencia financiera.
- 2. Cada Parte Contratante tendrá derecho a utilizar cualquier tecnología o enfoque que considere apropiado para cumplir las obligaciones especificadas en la Parte C del presente Anexo.

El Protocolo FTFCM especifica para los sistemas domésticos:

- Cada Parte Contratante se esforzará por garantizar, de la manera más rápida, económica y tecnológicamente posible, en las zonas sin recogida de aguas residuales, que los sistemas domésticos se construyan, se utilicen y se mantengan para evitar la contaminación de las aguas superficiales o subterráneas que puedan afectar negativamente a la zona del Convenio.
- Los sistemas domésticos incluyen, entre otros, fosas sépticas y campos de drenaje o montículos, tanques de retención, letrinas e inodoros biodigestores.

Ante la aparente ausencia de voluntad política o de capacidad económica para el alcantarillado de las poblaciones, se podría argumentar que es necesario centrarse más en las tecnologías de tratamiento in situ más pequeñas que eliminan/recuperan los nutrientes dentro de la RGC. El Anexo IV del Protocolo pretende regular las fuentes de contaminación no puntuales de la agricultura (la mayor fuente de contaminación por nutrientes) mediante:

- Obligar a todas las Partes a formular políticas, planes y mecanismos jurídicos

- Programas de educación, formación y sensibilización
- El desarrollo y la promoción de programas de incentivos económicos y no económicos para aumentar el uso de las mejores prácticas de gestión

En el Protocolo FTCM no se intenta establecer ninguna norma numérica/cuantitativa para regular la contaminación por nutrientes procedente de fuentes no puntuales. La eficiencia en el uso de nutrientes (NUE) o las normas de gestión de nutrientes se aplican ahora en algunas jurisdicciones (Departamento de Conservación y Recreación de Virginia, 2014) y son promovidas por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación en la producción animal (FAO, 2012).

No hay normas cuantitativas en el Protocolo FTCM para regular la cantidad de nutrientes en los vertidos de aguas residuales en la RGC. El anexo III del Protocolo, en su apartado 3 (a), establece lo siguiente:

“Cada Parte Contratante tendrá en cuenta el impacto que el nitrógeno y el fósforo totales y sus compuestos puedan tener en la degradación de la zona del Convenio y, en la medida de lo posible, adoptará las medidas apropiadas para controlar o reducir la cantidad de nitrógeno y fósforo totales que se viertan en la zona del Convenio o que puedan afectarla negativamente.”

Se podría argumentar que el lenguaje anterior representa una norma cualitativa. La palabra "deberá" implica una obligación para cada Parte. También se podría argumentar que, a falta de conocimientos científicos claros sobre los impactos en la salud pública o la ecotoxicología acuática de una sustancia o un grupo de sustancias, habría que ser cauteloso a la hora de establecer una norma cuantitativa (ya sea de final de tubería o ambiental), a menos que esa norma fuera cero.

El problema que se plantea es cómo se determinaría que la cantidad de nitrógeno y/o fósforo vertida por los contaminadores individuales "puede afectar negativamente a la zona del Convenio". ¿Cómo se determinaría el cumplimiento utilizando sólo una norma cualitativa? El regulador tendría que demostrar, en cada caso individual, que el vertido concreto causó daños al medio ambiente receptor.

El statu quo es un nivel agregado de contaminación por nutrientes de los vertidos domésticos que ya es problemático y que probablemente aumentará a medida que la población aumente en la región. El enfoque cualitativo o narrativo utilizado hasta la fecha en el Protocolo FTCM para gestionar los vertidos de nutrientes procedentes de fuentes puntuales y no puntuales no ha

tenido aparentemente el efecto deseado. Se postula que la introducción de normas cuantitativas de vertido de nutrientes será más fácil de aplicar.

Además, se afirma que la presencia de normas numéricas para parámetros como los sólidos suspendidos (SS) y la demanda biológica de oxígeno (DBO) en el Protocolo FTCM ha proporcionado un objetivo claro para los diseñadores y operadores de plantas de tratamiento de aguas residuales y que esos objetivos son alcanzables mediante el uso de lo que ahora es una tecnología convencional y ampliamente disponible (véase el estudio de caso de Barbados en la sección 5.0). Se puede argumentar que la tecnología de eliminación de nitrógeno de las aguas residuales domésticas (menos aún la de eliminación de fósforo) también se ha convertido en convencional.

Por lo tanto, se recomienda modificar el Anexo III del protocolo FTCM para establecer límites cuantitativos (cargas y/o concentraciones) de nitrógeno y posiblemente de fósforo en las aguas residuales domésticas vertidas en la RGC.

2 MARCOS E INICIATIVAS MUNDIALES Y REGIONALES PERTINENTES EXISTENTES

Esta sección del documento intenta resumir brevemente algunos de los principales marcos e iniciativas mundiales y regionales que son relevantes para una revisión de la estrategia de gestión de nutrientes para los vertidos de aguas residuales domésticas en la RGC.

2.1 Iniciativas globales

- Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

Los ODS, que sustituyeron a los Objetivos de Desarrollo del Milenio en septiembre de 2015, son las nuevas metas mundiales para 2030. Los ODS proporcionan un marco para el desarrollo sostenible dentro del cual se encuentran las aspiraciones de orientación para la gestión de nutrientes. Muchos de los 17 ODS son relevantes para la gestión global de nutrientes, incluyendo los ODS 1, 2, 3, 6, 7, 8, 11, 12, 14, 15 y 17.

El ODS 6, en particular la meta 6.3, pide claramente que se aumente el número de sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas, que se reduzcan al mínimo los vertidos de nutrientes (productos químicos peligrosos) procedentes de estos sistemas y que se haga mayor hincapié en la recuperación del agua. El ODS 12 habla del consumo y la producción sostenibles, lo que implica un movimiento hacia una economía más circular y, en el caso de los nutrientes, un uso y una recuperación más eficientes. Los objetivos 12.4 y 12.5 exigen la gestión ambientalmente racional de los productos químicos a lo largo de su ciclo de vida y la reducción de la generación de residuos.

2.2 Asociación mundial para la gestión de los nutrientes

En 1995, en un esfuerzo global para contrarrestar los efectos de la contaminación terrestre del medio marino, el Programa de Acción Mundial para la Protección del Medio Marino frente a las Actividades Realizadas en Tierra (GPA) fue adoptado por 108 países⁴.

En 2009, en la Comisión de las Naciones Unidas para el Desarrollo Sostenible (CNUDS), se acordó que era necesaria una respuesta global coordinada a lo que se ha denominado la “*El*

4 <https://www.unep.org/explore-topics/oceans-seas/what-we-do/addressing-land-based-pollution/governing-global-programme>

"desafío de los nutrientes", que podría definirse como "cómo reducir la cantidad de exceso de nutrientes en el medio ambiente mundial, en consonancia con el desarrollo global" o cómo producir más alimentos y energía con menos contaminación." - <http://www.nutrientchallenge.org>. (traducción)

Por ello, en el marco del Programa de Acción Mundial para la Protección del Medio Marino frente a las Actividades Realizadas en Tierra (GPA), el 6 de mayo de 2009 se lanzó formalmente la Alianza Mundial para la Gestión de los Nutrientes (GPNM). La GPNM es una plataforma para que los gobiernos, las organizaciones intergubernamentales, las organizaciones no gubernamentales, el sector privado y el mundo académico creen una agenda acordada para combatir el desafío de los nutrientes. Cuenta con el apoyo de los gobiernos de Estados Unidos, Países Bajos, Italia, Alemania, la UE, la Asociación Internacional de Fertilizantes (IFA), la Iniciativa Internacional del Nitrógeno (INI) y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). El Programa de Acción Mundial del PNUMA para la Protección del Medio Ambiente Marino frente a las Actividades Realizadas en Tierra (GPA del PNUMA) actúa como secretaria del GPNM (IISD, 2009) (Sutton et al., 2013).

Los objetivos del GPNM incluyen:

- catalizar la promoción estratégica
- actuar como plataforma de conocimiento
- mejorar la capacidad
- integrar los nutrientes en la agenda de desarrollo sostenible

En 2013 se puso en marcha una plataforma caribeña para impulsar la acción a nivel regional en colaboración con el Instituto de Asuntos Marinos de Trinidad y Tobago y la Secretaría del Convenio de Cartagena, Unidad de Coordinación Regional del Programa Ambiental del Caribe⁵.

Dentro de la ONU, se adoptó una resolución para la gestión sostenible del nitrógeno en la cuarta sesión de la Asamblea de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente en marzo de 2019 y, más tarde ese año, en un esfuerzo conjunto entre el PNUMA y el INI, el Sistema Internacional de Gestión del Nitrógeno (INMS) apoyó el desarrollo de la Declaración de Colombo sobre la Gestión Sostenible de los Nutrientes. La Declaración de Colombo hace un llamamiento para

5 <https://sustainabledevelopment.un.org/partnership/?p=7426>

reducir a la mitad los residuos de nitrógeno a nivel mundial procedentes de todas las fuentes de contaminación por nitrógeno⁶. [Global Wastewater Initiative](#) (

El GPA del PNUMA también ha puesto en marcha la Iniciativa Mundial sobre las Aguas Residuales (GWI) para promover las buenas prácticas de gestión de las aguas residuales y promoverlas como un recurso valioso y no como un residuo. Una de las áreas centrales de la GWI es “*contribuir al desarrollo y la aplicación de proyectos piloto conjuntos para demostrar y adoptar medidas que permitan eliminar los nutrientes de las aguas residuales*”⁷. (traducción)

Los resultados esperados de la GWI incluyen:

- Mejora de la sinergia entre las partes interesadas, incluidos los científicos, las ONG, el sector privado, los gobiernos y las organizaciones internacionales para una gestión más eficaz de las aguas residuales
- Ecosistemas más sanos y mayor bienestar humano
- Mayores oportunidades y beneficios realizados y esfuerzos nacionales e internacionales concertados para integrar las aguas residuales eficaces en los planes nacionales de desarrollo
- Mayor generación, intercambio y utilización de conocimientos para una mejor gestión de las aguas residuales
- Mayor reconocimiento de las aguas residuales como un recurso y una oportunidad por parte de los responsables de la toma de decisiones y las partes interesadas
- Aumento de la utilización del enfoque 3R en todo el mundo
- Posibilitar la complementariedad entre la GW²I y las convenciones pertinentes y otros instrumentos, planes de acción, iniciativas y actividades internacionales
- Publicación sistemática de documentos de alcance y evaluaciones globales sobre cuestiones emergentes relacionadas con las aguas residuales

6 <https://www.unep.org/news-and-stories/press-release/colombo-declaration-calls-tackling-global-nitrogen-challenge>

7 <https://www.unep.org/explore-topics/oceans-seas/what-we-do/addressing-land-based-pollution/global-wastewater-initiative>

- Aumento de la movilización de recursos para abordar los retos de las aguas residuales.

2.3 Iniciativas regionales

Entre las iniciativas regionales pertinentes se encuentran las siguientes:

- Direcciones estratégicas de los mares regionales
- El Convenio de Cartagena y el Protocolo FTCM
- Programa de Acción Estratégica del Proyecto de Grandes Ecosistemas Marinos del Caribe (CLME+); y el
- Estrategia y Plan de Acción Regional para la Reducción de la Contaminación por Nutrientes (RNPRSAP).

A partir de 2004, el PNUMA ha formulado cada cuatro años Direcciones Estratégicas para los Mares Regionales (RSSD). Desde 2015, el Programa de Mares Regionales ha dado prioridad a la asistencia a los países que tratan de alcanzar el ODS 14 (uso sostenible de los océanos). La última ronda de orientaciones estratégicas (2021 - 2024) se está ultimando actualmente (PNUMA, 2021). La anterior RSSD (2017 - 2020) tenía como estrategia #1 - "*Reducir la contaminación marina de todo tipo en línea con el Objetivo 14.1 de los ODS*"(traducción). Una de las acciones identificadas para ayudar a lograr la Estrategia 1 fue "*aumentar la visibilidad de las cuestiones de contaminación pertinentes en todos los niveles y facilitar las interacciones entre la ciencia y la política.*" (ONU Medio Ambiente 2016)(traducción). Sin embargo, parece haber poca mención específica o dirección proporcionada para la gestión de nutrientes en las aguas residuales domésticas en el anterior RSSD.

El Convenio para la Protección y el Desarrollo del Medio Marino en la Región del Gran Caribe (RGC) o Convenio de Cartagena se adoptó en 1983 y entró en vigor en 1986. El Convenio ha dado lugar a tres protocolos, que se enumeran a continuación, con el año en que entraron en vigor entre paréntesis:

- Protocolo sobre vertidos de petróleo (1986)
- Protocolo sobre Zonas y Flora y Fauna Silvestres Especialmente Protegidas (SPA) (2000)
- Protocolo sobre fuentes terrestres de contaminación marina (FTCM) (2010)

En 1986 se creó en Jamaica una unidad de coordinación regional (PNUMA-UCR) que actúa como Secretaría del Convenio y sus protocolos, y cada protocolo cuenta con al menos un Centro de Actividad Regional (CAR). Los CAR para el Protocolo FTCM son:

- Cuba - Centro de Ingeniería y Gestión Ambiental de Costas y Bahías
- Trinidad y Tobago - Instituto de Asuntos Marinos

El Anexo III del Protocolo FTCM establece las normas de final de tubería (efluentes) para los vertidos de aguas residuales domésticas I en las aguas de clase 1 o 2 en la RGC (véase el cuadro 2.1).

Tabla 2.1: Limitaciones de efluentes del protocolo FTCM para los vertidos de aguas residuales domésticas en la RGC

Parámetro	Límite de efluentes Aguas de clase 2	Límite de efluentes Aguas de clase 1
Sólidos suspendidos totales	150 mg/l*	30 mg/l*
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	150 mg/l	30 mg/l
pH	5-10 pH unidades	5-10 pH unidades
Grasas y aceites	50 mg/l	15 mg/l
Flotantes	No visible	
Coliformes fecales (Las partes pueden cumplir con las limitaciones de efluentes tanto para coliformes fecales como para E. coli (agua dulce) y enterococos (agua salada)).	NA	Faecal Coliform: 200 mpn/100 ml; or a. E. Coli: 126 organisms/100 ml; b. enterococci: 35 organisms/100 ml
* No incluye las algas de las balsas de tratamiento		

No hay limitaciones de efluentes para los nutrientes en la Tabla 2.1, aunque el nitrógeno y el fósforo se identifican como contaminantes primarios de interés en el Anexo I; y en el Anexo III se exige a las Partes Contratantes "tener en cuenta el impacto que el nitrógeno y el fósforo totales y sus compuestos pueden tener en la degradación de la zona del Convenio y, en la medida de lo posible, adoptar las medidas adecuadas para controlar o reducir la cantidad de nitrógeno y fósforo totales que se viertan en la zona del Convenio o que puedan afectarla negativamente".(traducción)

La posible revisión del Protocolo FTCM para gestionar mejor la contaminación por nutrientes de las aguas residuales domésticas es el tema central de este documento y el Protocolo se analiza en detalle en las secciones siguientes.

El Programa de Acción Estratégica del CLME+ (2015 – 2025)⁸ (SAP) establece una estrategia de 10 años para gestionar de forma sostenible los recursos marinos vivos compartidos del Caribe y el Estante Norte de Brasil grandes ecosistemas marinos (LME). Cabe señalar que, a diferencia del Convenio de Cartagena, el CLME+ no contiene el LME del Golfo de México. Utilizando un enfoque basado en los ecosistemas, el SAP identificó 3 tipos de ecosistemas marinos dentro del CLME+:

- Arrecifes y sistemas asociados
- Ecosistemas pelágicos
- Ecosistemas de la plataforma continental

El SAP del CLME+ está muy orientado a la conservación de especies marinas vitales y cuenta con seis acciones estratégicas para la protección del medio ambiente marino. La primera acción estratégica, que busca mejorar los acuerdos de gobernanza regional, es quizá la más relevante para la gestión de nutrientes en las aguas residuales. Las subacciones de la estrategia 1 pretenden, entre otras cosas, mejorar:

- Coordinación institucional regional
- integración de las lecciones aprendidas
- capacidad de cumplimiento y ejecución,
- gestión de datos,
- seguimiento, evaluación y presentación de informes

Aumentar la capacidad de control y cumplimiento en la región será especialmente importante si se quieren aplicar de forma efectiva las normas actuales y propuestas para la gestión de nutrientes en el Protocolo FTTCM.

Por último, una iniciativa regional relevante y reciente, apoyada por el CLME+, es el Plan de Acción y Estrategia Regional de Reducción de la Contaminación por Nutrientes del Gran Caribe (RNPRSAP). El objetivo de la RNPRSAP es "establecer un marco de colaboración para la reducción progresiva de los impactos de las cargas excesivas de nutrientes en los ecosistemas costeros y marinos prioritarios del Gran Caribe".(traducción)

Entre los objetivos del RNPRSAP se incluye la asistencia en la definición de normas y criterios regionales para los vertidos de nutrientes (normas de efluentes para el nitrógeno y el fósforo)

⁸ <https://www.clmeproject.org/sap-overview/>

en la RGC y la recomendación de normas de calidad del agua costera para los nutrientes⁹, utilizando un Índice de Potencial de Eutrofización Costera (ICEP) como indicador. El impacto tanto de los parámetros indicadores (DIN y DIP) como de los valores elegidos se discute en la sección 3.6.

Los autores del RNPRSAP recomiendan las siguientes mejores prácticas de gestión de nutrientes en las aguas residuales domésticas:

- Soluciones basadas en la naturaleza en combinación con la ingeniería dura
- Recuperación de nitrógeno y fósforo
- Reutilización de los residuos sanitarios tratados

Comentario: La revisión de las iniciativas mundiales y regionales pertinentes, realizada como parte de este estudio, ha mostrado una evidente y creciente respuesta internacional y regional al desafío de los nutrientes. Este documento pretende complementar el esfuerzo regional y, en particular, el RNPRSAP, evaluando algunos de los factores que podrían o deberían influir en las normas de vertido de nutrientes para las plantas de tratamiento de aguas residuales, desde la perspectiva de un ingeniero con experiencia práctica en el diseño y la explotación de sistemas de alcantarillado en la región.

⁹ http://gefcrew.org/carrcu/FTCMSTAC5/Presentations/Re_Nutr_Poll_Red_Strat.pdf

3 PRINCIPIOS Y ENFOQUES PARA LA GESTIÓN DE LAS NORMAS SOBRE AGUAS RESIDUALES EN LA RGC

Esta sección del documento pretende presentar los principios y enfoques que podrían aplicarse a la gestión de las aguas residuales en la RGC. Se sugiere que, entre otros, se apliquen los siguientes principios:

3.1 El principio de precaución

El principio de precaución – *“la falta de certeza en cuanto a la amenaza de daño ambiental no debe utilizarse como excusa para no tomar medidas para evitar esa amenaza”* (IUCN, 2007) (traducción). El principio de precaución está integrado, entre otras cosas, en:

- La Declaración de Río 1992, Principio 15
- El Convenio sobre la Diversidad Biológica 1992, Preámbulo
- La Convención Marco sobre el Cambio Climático 1992, Artículo 3.3
- El Plan de Acción sobre la Biodiversidad del Reino Unido, 1994, párrafo 6.8
- La Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres, Resolución Conf. 9.24 (Rev. CoP13)
- El Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología del Convenio sobre la Diversidad Biológica 2000.

El Protocolo FTCM no menciona específicamente el principio de precaución. Sin embargo, existe la obligación de una Parte Contratante de realizar una evaluación de impacto ambiental (artículo VII) si "tiene motivos razonables para creer que una actividad terrestre prevista en su territorio, o una modificación prevista de dicha actividad, que esté sujeta a su control reglamentario de conformidad con su legislación, puede causar una contaminación sustancial o cambios significativos y perjudiciales en la zona del Convenio". (traducción)

La aplicación del principio de precaución a una revisión del Protocolo FTCM, en el contexto de la medición de nutrientes, puede obligar a reconocer que un nivel seguro de nitrógeno/nitratos en el agua (dulce o marina) puede no haber sido determinado adecuadamente hasta la fecha, dados los resultados divergentes de diversos estudios sobre este tema. Por ejemplo, desde el punto de vista de la salud pública, un nuevo estudio parece haber encontrado un aumento estadísticamente significativo del riesgo de cáncer de colon y recto con una concentración de nitratos tan baja como 3,87 mg NO₃-NO₃/l (0,87 mg-NO₃-N/l) en comparación con la directriz de la OMS para la metahemoglobinemia infantil de 50 mg NO₃-NO₃/l o 11,3 mg NO₃-N/l (Schullehner et al., 2018).

Los activos ambientales marinos cercanos a la costa con mayor valor económico para muchos miembros insulares de la RGC -los ecosistemas de arrecifes de coral- también parecen estar entre los receptores marinos más sensibles. Un estudio realizado sobre los efectos de los nitratos en dos especies de corales (*Porites porites* y *Montastrea annularis*) recogidos en arrecifes al borde de la costa occidental de Barbados encontró que incluso a una concentración de 1 micromol por litro (0,014 mg NO₃-N/l) la tasa de crecimiento del esqueleto de los corales se vio afectada (Marubini y Davies, 1996).

Por el contrario, se utilizaron modelos de regresión mixta para analizar una serie de factores físicos y humanos que podían influir en la concentración de DIN en la base de 34 cuencas hidrográficas de la isla de Tutuila (América Samoa) y producir criterios de superación. Los datos biológicos y los criterios de superación se utilizaron entonces para recomendar un valor de referencia de 0,1 a 0,15 mg/l de DIN para proteger los arrecifes de coral que rodean la isla del Pacífico (Houk et al., 2020).

Otros argumentan que un examen crítico de los datos de campo y de laboratorio, incluido el Experimento sobre nutrientes elevados en los arrecifes de coral (ENCORE), no demuestra que las concentraciones de nutrientes encontradas en los lugares estudiados puedan afectar a la fisiología de los corales o ser la única o principal causa de un cambio generalizado en la abundancia de algas coralinas. Sostienen que otros factores, como la abundancia y las preferencias de los herbívoros, el estrés por temperatura, el estrés por sedimentación y las enfermedades, pueden ser causas importantes de la mortalidad de los corales y de la cobertura de algas (Szmant, 2002).

Esta falta de certeza implica también que la aplicación de cualquier nueva norma debe ser objeto de un estrecho seguimiento y de una revisión periódica. Es necesario un sentido de humildad a la hora de establecer la política reguladora y reconocer la necesidad de que todas las decisiones políticas se guíen por los mejores conocimientos científicos y se basen en pruebas.

3.2 Más vale prevenir que curar

Más vale prevenir que curar es un axioma que, aplicado a la gestión de residuos, se centra en la reducción de la cantidad y la toxicidad de los residuos generados. Es un recordatorio de que la gestión de los nutrientes en las aguas residuales domésticas no sólo debe abordar las tecnologías de tratamiento y las normas de vertido al final de la tubería. También hay que

esforzarse por reducir tanto los caudales de los vertidos de aguas residuales como las concentraciones de nutrientes que entran en la planta de tratamiento de aguas residuales (EDAR).

Aguas arriba de la EDAR, las políticas de minimización de las aguas residuales podrían incluir:

- Eficiencia en el uso del agua - por ejemplo, inodoros de baja descarga, duchas y grifos de bajo caudal, lavadoras y lavavajillas de bajo consumo de agua
- Separación de las aguas pluviales - poner fin al uso de alcantarillas combinadas, prevenir/reducir la infiltración de las aguas pluviales en el sistema de alcantarillado, desconectar las conexiones de drenaje ilegales a las alcantarillas.
- Educación pública y regulación - prohibir las trituradoras en el fregadero, instalación y mantenimiento de trampas de grasa, prohibir el fósforo en los detergentes

Por último, cuando las aguas residuales llegan a la EDAR, la aplicación del principio requiere un esfuerzo de reutilización del agua tratada (economía circular) y/o de recuperación o eliminación de la mayor cantidad posible de nutrientes antes de su vertido final a la RGC.

3.3 El principio de que quien contamina paga

El principio de que quien contamina paga es el 16° de los 27 principios enunciados en la Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CNUMAD, 1992). El principio está reconocido en las leyes nacionales (por ejemplo, la Ley de Agua Limpia, la Ley de Aire Limpio y la Ley de Conservación y Recuperación de Recursos de Estados Unidos) y por la Unión Europea en el Tratado de Funcionamiento de la Unión Europea. El principio también se recoge en lo que ahora se denomina Responsabilidad Ampliada del Productor, promovida por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) y otros organismos.

El Banco Mundial, en un documento de referencia de su publicación de 2019 - *From Waste to Resource - Shifting paradigms for smarter wastewater interventions in Latin America and the Caribbean* (De los residuos a los recursos - Cambiando paradigmas para intervenciones más inteligentes en materia de aguas residuales en América Latina y el Caribe), afirmó lo siguiente: "El principio de "quien contamina paga" dicta que las empresas de servicios públicos deben pagar el coste de la reducción de la contaminación residual relacionada con sus vertidos". Los consultores del Banco Mundial utilizaron la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) para definir una "unidad de contaminación" como 1 kg/l de DBO y estimaron el coste de la reducción en 1,17 dólares/unidad (Banco Mundial, 2019). Puede ser informativo intentar

estimar el coste de una "unidad de contaminación por nutrientes" que entra o sale de una EDAR.

La fórmula Mogden ha sido utilizada por las empresas de suministro de agua en el Reino Unido para fijar las tarifas de los efluentes de diversas industrias.

Tasa por vertidos comerciales = $R + [(V + B_v) \text{ or } M] + B(O_t/O_s) + S(S_t/S_s)$

R = tasa de recepción

V = tasa de tratamiento primario

B_v = tasa de tratamiento biológico

M = carga de descarga del océano

B = carga de oxidación biológica

O_t/O_s = medición de la demanda de oxidación química

S = canon de vertido primario de lodos

S_t/S_s = medición de los sólidos totales en suspensión

No es de extrañar que en la fórmula Mogden, el volumen, la demanda de oxígeno y los sólidos en suspensión sean los parámetros utilizados para determinar las tarifas aplicadas por la empresa de aguas residuales al generador de las aguas residuales que entran en el sistema de alcantarillado. Estos son los parámetros que suelen estar regulados y que repercuten en el coste de funcionamiento de la depuradora. Los métodos utilizados para determinar las tasas por efluentes comerciales, como la fórmula Mogden, podrían modificarse para incorporar la carga de nutrientes. Si las concentraciones/cargas de nutrientes en el efluente de una EDAR estuvieran reguladas, es probable que el operador intentara repercutir esos costes de eliminación/recuperación de nutrientes.

¿Debe aplicarse el principio de "quien contamina paga" a las Partes del Convenio de Cartagena y sus protocolos? En caso afirmativo, ¿cómo se considerarían las grandes disparidades en el nivel de desarrollo y capacidad de las Partes? Por ejemplo, utilizando la frontera entre San Diego y Tijuana como estudio de caso sobre los riesgos transfronterizos relacionados con el tratamiento de las aguas residuales, se argumenta que en los casos en los que existe una diferencia significativa en las circunstancias políticas y económicas de las partes vecinas (en este caso, EE.UU. y México) pueden ser más aplicables otros principios de carga de costes que el principio de "quien contamina paga" (Fischhendler, 2007).

Es poco probable que el nivel de ingresos de un hogar tenga un impacto significativo en la carga de nutrientes de las aguas residuales vertidas por ese hogar. Sin embargo, el nivel de ingresos de los hogares influye directamente en su capacidad para pagar los costes de capital y

de funcionamiento y mantenimiento de la eliminación de nutrientes. El Estado puede decidir subvencionar los costes reales. En Israel, el Estado es propietario de todos los recursos hídricos y la gestión está centralizada. En 2006, se modificó la Ley del Agua para introducir el principio de recuperación total de los costes tanto del suministro de agua como del tratamiento de las aguas residuales y se pidió que se sustituyera el uso de aguas residuales regeneradas por agua dulce en la agricultura. En 2010 se introdujeron normas terciarias para el tratamiento de las aguas residuales y las EDAR empezaron a eliminar el nitrógeno y el fósforo. Como resultado, el sector doméstico paga mucho más por el agua que los agricultores y el 85% de la demanda de agua agrícola se satisface con efluentes regenerados (OCDE, nd).

Si se admite que los tres principios anteriores son aceptados internacionalmente, ¿cómo deberían aplicarse al tema central de este documento: la gestión de nutrientes en las EDAR de la RGC? Tanto el principio de precaución como el de prevención parecen implicar que las normas recomendadas y/o las revisiones del Protocolo FTGM deben pecar de cautelosas y ser lo más eficaces posible. La eficacia se define como el porcentaje de reducción de la carga de nutrientes de los vertidos de las EDAR en la RGC conseguido tras la intervención normativa.

La eficacia de la nueva normativa será el producto de la rigurosidad de la misma y del grado de cumplimiento/cumplimiento alcanzado. Ni un cumplimiento elevado con una norma débil ni un cumplimiento bajo con una norma fuerte serán eficaces. Se puede concluir que si se recomiendan normas numéricas (cuantitativas) de vertido, las normas deben ser lo más estrictas posible, pero limitadas por el reconocimiento de las respectivas capacidades actuales de los Estados miembros. También podría concluirse que cualquier norma recomendada debería revisarse periódicamente para determinar su eficacia y teniendo en cuenta la evolución de las circunstancias.

El principio de "quien contamina paga" no sólo se refiere a la desincentivación de los contaminadores potenciales, sino también a la sostenibilidad financiera de las revisiones propuestas del Protocolo. Además del establecimiento de normas, la creación de un marco normativo eficaz para controlar los vertidos de nutrientes y/o la reutilización de aguas residuales y biosólidos requerirá que muchos de los estados más pequeños de la región aumenten sustancialmente sus capacidades de educación, formación, supervisión, análisis y aplicación. Se recomienda que estos costes administrativos y normativos para el estado se recuperen parcialmente, aunque quizás no totalmente, de los propietarios/operadores de las EDAR. La razón es que la regulación del sector de las aguas residuales beneficia a más

personas que las conectadas a la red de alcantarillado si da lugar a un entorno marino costero más saludable.

Aunque existe un consenso sobre los principios que acabamos de exponer, los que se exponen en los siguientes apartados (3.4 - 3.7) no son universalmente aceptados, ya que las distintas jurisdicciones utilizan sus propios enfoques o combinaciones de enfoques.

3.4 Normas de rendimiento y basadas en la tecnología

¿Hay alguna diferencia entre una norma de rendimiento y una norma basada en la tecnología? En teoría, una norma de rendimiento es tecnológicamente neutra, no le importa qué tecnología de tratamiento se aplica, sino que se centra en la calidad del resultado. En la práctica, la agencia reguladora suele recabar información sobre las mejores tecnologías disponibles dentro de la capacidad económica del sector y basa la norma de rendimiento en esa información.

Por ejemplo, la EPA de EE.UU., en el marco de su [Sistema Nacional de Eliminación de Vertidos Contaminantes](#) (NPDES), utiliza varios niveles de control (basados en la tecnología) para regular los vertidos de aguas residuales industriales, entre ellos:

- Mejor tecnología de control disponible en la actualidad (BPT)
- Mejor tecnología convencional de control de contaminantes (BCT)
- Mejor tecnología disponible económicamente alcanzable (MTD)
- Normas de rendimiento de nuevas fuentes (NSPS)
- Mejores prácticas de gestión (BMP)

Las EDAR de propiedad estatal o municipal, o lo que se denomina obras de tratamiento de propiedad pública (POTW), deben cumplir las normas de tratamiento secundario o equivalentes para la DBO, el SST y el pH. No parece haber ninguna limitación cuantitativa de efluentes basada en la tecnología (TBEL) para los vertidos de nutrientes de las POTW en virtud del NPDES.

La siguiente definición de niveles de tratamiento de aguas residuales fue utilizada por el Departamento de Medio Ambiente, Alimentación y Asuntos Rurales del Reino Unido en 2012 (DEFRA, 2012)

- **Tratamiento preliminar** - para eliminar la arenilla y la grava y tamizar los sólidos de gran tamaño.
- **Tratamiento primario** - para sedimentar la materia suspendida de mayor tamaño, generalmente orgánica.

- **Tratamiento secundario** - para descomponer y reducir biológicamente la materia orgánica residual.
- **Tratamiento terciario** - para tratar diferentes contaminantes mediante distintos procesos de tratamiento.

La Directiva de Tratamiento de Aguas Residuales Urbanas de la Unión Europea - 91/271/CEE especifica un mínimo de tratamiento secundario para los vertidos de aguas residuales urbanas (procedentes de aglomeraciones con más de 10.000 habitantes equivalentes), pero también permite el tratamiento primario en "zonas menos sensibles" en estuarios y aguas costeras si los estudios no muestran impactos adversos. Cabe señalar que, tras realizar estudios exhaustivos, el Reino Unido redujo gradualmente el número de designaciones menos sensibles y en 2012 no tenía ninguna (DEFRA, 2012).

Por el contrario, la Directiva de la CE también exige la designación de algunas aguas que pueden necesitar una protección medioambiental especial como "zonas sensibles" y exigiría un tratamiento de nivel terciario (por ejemplo, reducción de nutrientes) para los vertidos de aguas residuales en estas zonas. Esta consideración tanto de la tecnología disponible como de la sensibilidad del entorno receptor podría considerarse una buena práctica.

El Protocolo FTTCM parece reconocer el enfoque tecnológico para el establecimiento de normas y define la "tecnología más adecuada" como "la mejor de las técnicas, prácticas o métodos de funcionamiento actualmente disponibles para prevenir, reducir o controlar la contaminación de la zona del Convenio que sean adecuados a las condiciones sociales, económicas, tecnológicas, institucionales, financieras, culturales y medioambientales de una o varias Partes Contratantes"; en un Protocolo revisado, el uso de la "tecnología más adecuada" podría combinarse con un enfoque basado en el rendimiento. También se podría considerar el fomento de los enfoques basados en los ecosistemas y las soluciones basadas en la naturaleza, así como la recuperación de nutrientes, cuando sea factible.

3.5 Normas basadas en la salud

El uso o la eliminación inadecuada de aguas residuales sin tratar o tratadas inadecuadamente puede tener importantes consecuencias para la salud pública. Entre las enfermedades transmisibles típicas relacionadas con los excrementos o la orina (y los patógenos que las causan) se encuentran la diarrea (*Escherichia coli*), el cólera (*Vibrio cholerae*), la fiebre tifoidea (*Salmonella typhi*) y la esquistosomiasis (*Schistosoma spp*) (OMS, 1992). Además, las aguas

residuales también pueden contener toxinas químicas, por ejemplo, metales pesados y contaminantes orgánicos persistentes que pueden causar enfermedades no transmisibles. Por ejemplo, los nitratos en el agua potable han sido señalados por la OMS como causantes de metahemoglobinemia en los bebés. La OMS lleva a cabo "revisiones continuas" de sus Directrices sobre la calidad del agua potable (GDWQ) , la última versión mantiene el valor guía para el nitrato (como NO₃⁻) en 50 mg/l (equivalente a 11,3 mg/l de NO₃⁻ - N) y los nitritos (como NO₂⁻) en 3 mg/l (OMS, 2017).

Con respecto a las normas basadas en la salud para las aguas residuales, la OMS se ha centrado en la gestión de los riesgos asociados a la reutilización. La OMS publicó sus primeras directrices - Reutilización de efluentes: Métodos de tratamiento de aguas residuales y salvaguardias de salud pública, en 1973. La OMS actualizó estas directrices en 1989 con Directrices sanitarias para el uso de aguas residuales en la agricultura y la acuicultura y publicó un tercer conjunto de directrices en 2006: Directrices para el uso seguro de aguas residuales, excretas y aguas grises (OMS, 2006a).

Una revisión de las Directrices de la OMS de 2006, en el marco de este estudio, reveló lo siguiente:

- > 10% de la población mundial consume alimentos regados con aguas residuales.
- El uso de aguas residuales para la agricultura y la acuicultura está aumentando tanto en los países en vías de desarrollo como en los desarrollados, como resultado del creciente estrés hídrico, del aumento de la población y de la contaminación, y del creciente reconocimiento del valor del recurso.
- La orina separada en origen, que ha sido almacenada de 1 a 6 meses, presenta bajos riesgos para la salud cuando se utiliza en la agricultura.
- Para establecer las directrices de reutilización de las aguas residuales se utiliza una norma de rendimiento basada en la salud o un objetivo de pérdida de años de vida ajustados por discapacidad (AVAD) de $\leq 10-6$ por persona y año. Se pueden utilizar múltiples barreras para lograr la eliminación de 6-7 logs de patógenos necesaria para alcanzar este objetivo basado en la salud.
- La Tabla 8.1 del Volumen 2 -Uso de las aguas residuales en la agricultura- examina el efecto de diversos compuestos en el agua de riego sobre los suelos, los cultivos y el ganado. La discusión sobre el nitrógeno y el fósforo se reproduce a continuación en la Tabla 3.1 (OMS, 2006b):

Tabla 3.1: Efectos del nitrógeno y el fósforo en las aguas residuales utilizadas para el riego (OMS 2006b)

Parámetro	Concentración en el agua de riego	Suelo	Cultivos	Ganado
Nitrógeno	Aguas residuales municipales con 20-85 mg TN/l	No se observan problemas de acidificación provocados por los fertilizantes sintéticos	Aumenta la productividad en cantidad y calidad. Dependiendo del contenido del suelo y del tipo de cultivo, pueden surgir problemas por encima de 30 mg N-NO ₃ /l.	No se ha informado de ningún problema
	Aguas residuales con >30 mg/l	No se han notificado efectos	Puede aumentar la suculencia más allá de los niveles deseables, causando alojamiento en los cultivos de grano y reduciendo el contenido de azúcar en la remolacha y la caña. Más allá de las necesidades estacionales, puede inducir más crecimiento vegetativo que de frutos y también retrasar la maduración.	El forraje, al ser el principal alimento del ganado, puede provocar tetania de los pastos, una enfermedad relacionada con un desequilibrio de nitrógeno, potasio y magnesio en los pastos.
Fósforo	Aguas residuales municipales con 6-20 mg/l	No se han notificado efectos	Aumenta la productividad.	
	Aguas residuales municipales con >20 mg/l	No se han notificado efectos	Reduce la disponibilidad de cobre, hierro y zinc en suelos alcalinos.	

Cabe señalar que el impacto de la escorrentía o la lixiviación del agua de riego en las aguas subterráneas o en las aguas superficiales adyacentes no se tiene en cuenta en el cuadro 3.1 anterior. Puede parecer contradictorio tratar de eliminar los nutrientes de las aguas residuales destinadas a ser reutilizadas para el riego. En el estudio de caso de Barbados (véase el apartado 5.0), se tomó la decisión de eliminar la mayor cantidad posible de nutrientes del agua regenerada, incluso si esa agua se utiliza en la estación seca para el riego y para recargar los acuíferos subterráneos en la estación húmeda. Esta decisión (en consulta con el Ministerio de Agricultura) se tomó para reducir los riesgos de dañar algunos cultivos y de contaminar las aguas subterráneas y superficiales adyacentes, que contribuyen a la carga de nutrientes en las aguas costeras que contienen receptores marinos muy sensibles: los arrecifes de coral. Por lo tanto, aunque hay que tener en cuenta las directrices de la OMS sobre los nutrientes en el agua regenerada destinada al riego, las directrices pueden no ser apropiadas para algunos países.

3.6 Normas basadas en la calidad del agua

Otra forma de establecer normas es considerar el efecto del contaminante en el medio ambiente receptor o, más concretamente, los fines o el uso designado del medio ambiente receptor. Se aplica el término "apto para los fines". La EPA de EE.UU. describe el proceso de establecimiento de normas de calidad del agua como algo que tiene tres componentes:

- Designación del uso de la masa de agua receptora (por ejemplo, recreo, riego, agua potable, protección de peces/mariscos/vida silvestre).
- Determinación de los criterios de calidad del agua (WQC) para proteger ese uso designado. Estos criterios pueden ser cuantitativos/numéricos (por ejemplo, concentraciones o cargas) o cualitativos/narrativos (por ejemplo, "Las aguas estarán libres de contaminantes tóxicos en cantidades tóxicas"). Los WQC deben:
 - *"basarse en fundamentos científicos sólidos"*
 - *contener suficientes parámetros o componentes para proteger el uso designado*
 - *apoyar el uso designado más sensible de la masa de agua". (US EPA, 2017)*
- Establecimiento de requisitos antidegradación para mantener la integridad de la masa de agua.

NoTabla que la EPA de los EE.UU. alienta a los estados, territorios y tribus autorizadas a establecer WQC numéricos tanto para el nitrógeno como para el fósforo (y sugiere el uso del nitrógeno total y el fósforo total como parámetros a monitorear) para prevenir la eutrofización y las floraciones de algas; argumentando que el paradigma que asume que la producción primaria está limitada por el nitrógeno en las aguas marinas y por el fósforo en las aguas dulces está sobre simplificado (US EPA, 2015).

La EPA de EE.UU. publica un Mapa de Progreso de Criterios N/P que monitorea la implementación de WQC numéricos para el nitrógeno y el fósforo en los diversos estados y territorios. Una breve revisión del mapa revela que Hawaii (véase la Tabla 3.2 a continuación) ha desarrollado un conjunto completo de criterios de N y P para todas las masas de agua. Mientras que estados como Alabama, Misisipi y Luisiana, que vierten en la zona norte del Golfo de México, aún no han establecido normas numéricas de vertido para ninguna masa de agua, incluidas las aguas costeras.

Tabla 3.2: WQC de nutrientes seleccionados para el estado de Hawaii ¹⁰

Parámetro	Aplicación	Criterios Magnitud ¹¹
Amoníaco	aguas costeras abiertas: estación seca (agua salada)	2 - 9 µg/l
Amoníaco	aguas costeras abiertas: estación húmeda (agua salada)	3.5 - 15 µg/l
Amoníaco	aguas oceánicas (agua salada)	1 - 2.5 µg/l
Amoníaco	costa de Kona - isla de Hawai: donde la salinidad > 32,00 ppt	2.5 µg/l
Nitrato + Nitrito	estuarios	8 – 35 µg/l
Nitrato + Nitrito	aguas costeras abiertas: estación húmeda (agua salada)	5 – 25 µg/l
Nitrato + Nitrito	aguas costeras abiertas: estación seca (agua salada)	3.5 - 20 µg/l
Nitrato + Nitrito	aguas oceánicas (agua salada)	1.5 - 3.5 µg/l
Fosfato	Costa de Kona - isla de Hawai: donde la salinidad > 32.00 ppt	5 µg/l
Nitrógeno total disuelto [nitrógeno total]	Costa de Kona - isla de Hawai: donde la salinidad > 32.00 ppt	100 µg/l
Fósforo total disuelto [fósforo total]	Costa de Kona - isla de Hawai: donde la salinidad > 32.00 ppt	12.5 µg/l
Nitrógeno total	aguas costeras abiertas: estación seca (agua salada)	110 - 250 µg/l
Nitrógeno total	aguas costeras abiertas: estación húmeda (agua salada)	150 - 250 µg/l
Nitrógeno total	aguas oceánicas (agua salada)	50 - 100 µg/l
Fósforo total	aguas costeras abiertas: estación seca (agua salada)	16 - 45 µg/l
Fósforo total	aguas costeras abiertas: estación húmeda (agua salada)	20 - 60 µg/l
Fósforo total	aguas oceánicas (agua salada)	10 - 25 µg/l

Es evidente, a partir de la Tabla 3.2, que Hawaii:

- regula varias formas de nitrógeno y fósforo
- distingue entre aguas costeras y oceánicas
- distingue entre aguas húmedas y estacionales a la hora de establecer las CMA costeras

¹⁰ <https://www.epa.gov/wqs-tech/state-specific-water-quality-standards-effective-under-clean-water-act-cwa#tb2>

¹¹ El número inferior de un intervalo representa la media geométrica que no debe superarse. El número superior representa un valor que no debe superarse más del 10% de las veces.

También se observa, y esto puede ser relevante para los estados insulares y aquellos estados continentales con arrecifes de coral costeros, que Hawaii ha establecido una norma de temporada seca (media geométrica) de 3,5 µg/l para los nitratos + nitritos en aguas costeras abiertas, equivalente a 0,0035 mg/l como N-. Aunque la diferencia entre el total disuelto y el total no está clara, los datos reflejados en la Tabla 3.1 parecen indicar valores de alrededor de 100 µg/l (0,1 mg/l) y 16 µg/l (0,016 mg/l) como WQC aceptados en la Tabla para el nitrógeno total y el fósforo total, respectivamente, en aguas costeras en la estación seca.

En Barbados, en 2004, se pidió al autor de este informe que redactara una Tabla de Concentraciones Prohibidas para facilitar la aplicación de la Ley de Control de la Contaminación Marina (MPCA). Las normas de calidad del agua ambiental recomendadas para el TN y el TP eran de 0,1 mg/l y 0,015 mg/l respectivamente. La norma de calidad del agua ambiental recomendada para la clorofila- a era de 0,5 µg/l. Las normas de calidad del agua ambiental recomendadas para Barbados se basaron en una revisión de las últimas directrices australianas y neozelandesas sobre la calidad del agua dulce y marina en ese momento (ANZECC, 2000).

La EPA de EE.UU. también recomienda criterios de calidad del agua para los nutrientes basados en criterios para 14 ecorregiones distintas. Sin embargo, estos criterios parecen estar dirigidos principalmente a reducir el exceso de nutrientes en las masas de agua dulce.

Como se ha comentado en el apartado 1.1, en el contexto de la contaminación por nutrientes, a efectos del informe, la SOCAR parece haber tomado las siguientes decisiones:

- El Gran Mar Caribe debe ser designado en dos áreas - continental e insular
- Los parámetros que deben controlarse son el nitrógeno inorgánico disuelto (DIN) y el fósforo inorgánico disuelto (DIP).
- Los criterios numéricos de calidad del agua que deben utilizarse para el DIN son < 0,1 mg/l (continental) y < 0,05 mg/l (insular)
- Los criterios numéricos de calidad del agua que se utilizarán para el DIP son < 0,01 mg/l (continental) y < 0,005 mg/l (insular)

Como se ha comentado en el apartado 3.1, se puede argumentar que el criterio insular de calidad del agua para el nitrógeno (tal y como se utiliza en el SOCAR) puede no ser suficiente para proteger el uso designado más sensible o la finalidad de la masa de agua si dicha finalidad es la protección de los ecosistemas de arrecifes de coral tropicales u otros receptores marinos

sensibles. Cabe señalar que el Protocolo FTCM prevé dos clases de aguas, definiendo las aguas de clase 1 como aquellas que "son especialmente sensibles a los impactos de las aguas residuales domésticas". Las aguas que contienen manglares, praderas marinas y arrecifes de coral se incluyen específicamente en la clase 1. Esta flexibilidad incorporada podría mantenerse e incluso ampliarse en un Protocolo revisado para permitir el establecimiento de diferentes normas ambientales y de final de tubería (vertido) para los nutrientes en función de la ecología de las aguas receptoras.

3.7 Cargas máximas diarias totales

Unos criterios sólidos de calidad del agua ambiental sirven de base para el establecimiento lógico de las cargas máximas diarias totales (TMDL), es decir, la cantidad máxima de un contaminante que puede recibir una masa de agua sin que ésta supere el criterio de calidad del agua para ese contaminante, incluidas las variaciones estacionales. A las fuentes puntuales de Estados Unidos, la EPA les asigna una asignación de carga de residuos (WLA), incluidas las EDAR reguladas por el NPDES. A las fuentes no puntuales se les asignan asignaciones de carga (LA), que incluyen las fuentes naturales de fondo.

La TMDL se calcula como la suma de todas las WLA y las LA y luego se añade un margen de seguridad (MOS) (NRC 2001). La ecuación se expresa a continuación:

$$\text{TMDL} = \Sigma \text{WLA} + \Sigma \text{LA} + \text{MOS}$$

En virtud de la CWA, los Estados tienen que elaborar las listas de residuos de contaminación (TMDL) para las aguas contaminadas y presentarlas a la EPA para su aprobación. La preparación de una TMDL para un contaminante o contaminantes suele consistir en los siguientes pasos:

- Caracterización de la cuenca hidrográfica y de la masa de agua receptora
- Establecimiento de normas de calidad del agua ambiental para proteger a los receptores acuáticos más sensibles y preservar/mejorar los usos beneficiosos de la masa de agua
- Selección de los contaminantes de interés
- Determinación de la capacidad de asimilación/transporte de la masa de agua receptora
- Estimación de las cargas actuales y previstas de todas las fuentes
- Determinación de la reducción necesaria de las cargas y de un margen de seguridad
- Asignación de las cargas contaminantes permitidas para las distintas fuentes contaminantes

La EPA define una TMDL como "un plan y un análisis escrito y cuantitativo para alcanzar y mantener las normas de calidad del agua en todas las estaciones y para una masa de agua y un contaminante específicos". De este lenguaje podría interpretarse que la EPA podría aplicar las TMDL a las aguas oceánicas, pero podría haber una pérdida de jurisdicción fuera del límite territorial de 3 millas.

Cuanto más grande sea la masa de agua y mayores sean las corrientes oceánicas (la tasa de intercambio de agua dentro de la masa de agua), más carga podría asimilarse. Entonces, ¿cómo se definiría la TMDL de la masa de agua receptora para los vertidos en aguas marinas costeras?

En Florida (un estado costero), el Departamento de Protección del Medio Ambiente ha dividido la cuenca de la costa este superior en polígonos, cada uno con un número de identificación de masa de agua (WBID) distintivo. A continuación, se describe brevemente el enfoque adoptado con la aplicación de las TMDL a los vertidos de nutrientes en el Océano Atlántico desde la Costa de la Palma (WBID 2363D) (Magley, 2013) (Véase la Figura 3.1 a continuación).

Utilizando la Regla de Identificación de Aguas Superficiales Dañadas (IWR) (Regla 62-303, Código Administrativo de Florida (F.A.C.)), el estuario de Palm Coast se consideró dañado por nutrientes en 2010 al haber superado un criterio de clorofila-a (chl_a). La norma de calidad del agua, en el F.A.C., para los nutrientes se expresa como una narrativa: "En ningún caso se alterarán las concentraciones de nutrientes de una masa de agua de manera que se produzca un desequilibrio en las poblaciones naturales de la flora o la fauna acuática" (Regla 62-302, F.A.C) y los niveles medios anuales de chl_a se utilizan como objetivos numéricos para indicar si se ha superado el criterio narrativo.

Utilizando datos históricos sobre la calidad del agua, incluida la variación estacional, y modelos de regresión lineal, se determinó que las cargas de TN y TP tendrían que reducirse en un 29% y un 23%, respectivamente, para reducir la concentración media de chl_a en las aguas costeras por debajo del objetivo de 4,5 µg/l. En la cuenca hay 4 EDAR autorizadas. Sin embargo, el análisis de todas las fuentes (puntuales, no puntuales y de fondo) indicó que los vertidos combinados de las EDAR contribuyen sólo al 2% y al 6% de las cargas de TN y TP respectivamente aportadas por las fuentes no puntuales. Se tomó la decisión de controlar los WLA de las EDAR y de reducir las cargas de las fuentes no puntuales mediante las mejores prácticas de gestión (BMP) (Magley, 2013).

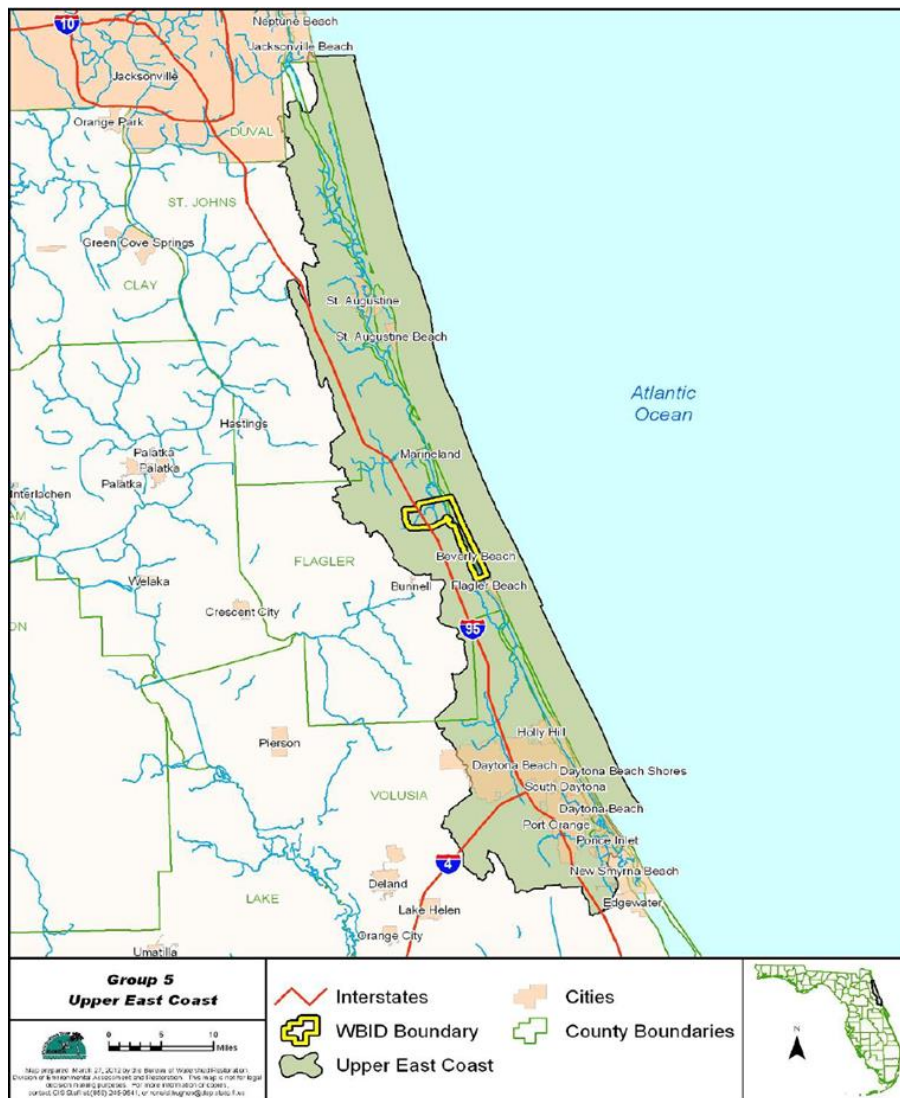


Figura 3.1: Ubicación de la cuenca hidrográfica de Palm Coast (WBID 2363D) en la cuenca superior de la costa este (reproducido de la Figura 1.1 - Magley, 2013)

El enfoque de las TMDL para los vertidos de nutrientes a lo largo de la costa este de Florida se recomienda como mejor práctica. Se señala que el uso de las TMDL se basa en una amplia recopilación de datos y en un seguimiento continuo. No sólo hay que determinar y supervisar todas las fuentes de carga, sino que también es necesario contar con una sólida capacidad para supervisar el impacto de las distintas cargas de contaminantes en la masa de agua receptora.

Desde el punto de vista de la gobernanza, puede que no sea práctico intentar aplicar el enfoque de la TMDL al GCF con sus numerosos miembros soberanos. Sin embargo, un Protocolo modificado podría animar a los Estados miembros a desarrollar la capacidad de aplicar el concepto para regular los vertidos de nutrientes de fuentes puntuales en las aguas costeras bajo

su jurisdicción. Algunos de los países miembros más pequeños tendrán que desarrollar su capacidad.

4 REVISIÓN SELECTIVA DE LAS NORMAS VIGENTES SOBRE NUTRIENTES EN LOS VERTIDOS DE AGUAS RESIDUALES

Las normas utilizadas por la EPA de EE.UU. y algunos estados de ese país para controlar los vertidos de nutrientes ya se han tratado anteriormente. Asimismo, también se han analizado, aunque brevemente, los enfoques de la UE y la OMS. A continuación, se presenta un resumen de las normas utilizadas por algunos de los países de la GCF.

4.1 CARICOM

Tal vez como resultado de las obligaciones derivadas del Convenio de Cartagena, el Instituto de Salud Ambiental del Caribe (CEHI), que ahora forma parte de la Agencia de Salud Pública del Caribe (CARPHA), recibió el mandato, por parte de los Jefes de Gobierno de la CARICOM, de elaborar y recomendar normas para los vertidos de aguas residuales en la región. En enero de 1998, el CEHI acogió una reunión de expertos de las Naciones Unidas. Como resultado de esa reunión, se recomendaron las siguientes directrices sobre efluentes (véase la Tabla 4.1):

Tabla 4.1: Directrices propuestas para el vertido de aguas residuales municipales en las aguas costeras de la región del Gran Caribe

Parámetro	Aguas no sensibles	Aguas sensibles ¹²
Coliformes fecales	-	Zonas de peces marinos: 43/100 ml Todas las demás zonas: 200/100 ml
pH	6 - 10	6 - 10
Sólidos suspendidos totales	100 mg/l	30 mg/l
BOD ₅	150 mg/l	30 mg/l
COD	300 mg/l	150 mg/l
Nitrógeno inorgánico total	-	10 mg/l
Amoníaco	-	5 mg/l
Fósforo total	-	1 mg/l
Cloro Residual	-	0.1 mg/l
Grasas, aceites, grasas	5 mg/l	2 mg/l
Flotantes	No es visible	No es visible

En las últimas dos décadas no se han tomado más medidas aparentes a nivel de la CARICOM.

A efectos de este informe, en la Tabla 4.2 se resume una breve reseña de las normas aplicadas a los nutrientes vertidos por los Estados del GCF.

¹² Most hotels, other commercial and industrial establishments, in the Caribbean, discharge wastewater into waters that would be deemed to be sensitive.

4.1.1 Países seleccionados de América Latina y el Caribe dentro de la RGC

Tabla 4.2: Normas de vertido de aguas residuales con nutrientes de algunos estados miembros de la RGC

Parámetro (mg/l)	Col	CR	Cuba	DR	Gua	Hon	Nic	Pan	T&T	Bar	Jam
N-NO3	0.1							6			
N-NO2	0.02										
N-NH3	0.3					20		3	10		
Total N	1	50	10		25		30			5	10
P-PO4		25		3				5			4
Total P	0.4		5		15	5	10		5	5	
Total Nitrógeno Kjeldahl (TKN)						30					
N-(NH4+NO3)				18							
N -NH4				10							
N orgánico total								10			

En el apéndice 1 se incluyen las notas y referencias de la tabla 4.2. Como se desprende de la Tabla 4.2, existe una variación significativa tanto en los parámetros controlados como en las normas numéricas aplicadas para regular el vertido de nutrientes en los Estados miembros de la RGC. Se observa que, de los estados revisados en la Tabla 4.2, el rango de normas de vertido de aguas residuales (omitiendo las aparentemente muy estrictas normas colombianas) para TP era de 5 - 15 mg/l y para TN era de 5 -50 mg/l.

La Tabla 4.3, reproducida a partir del capítulo IV del RNPRSAP, ofrece una indicación de los parámetros medidos actualmente por quienes respondieron a una encuesta realizada en la RGC.

Tabla 4.3: Resumen de los parámetros y matrices que se controlan para la contaminación por nutrientes en los 12 países/territorios anglófonos y francófonos que respondieron (Los valores son porcentajes. NR: sin respuesta) (reproducido de la Tabla 4.3, Cap. IV, RNPRSAP)

Parámetro	Aguas residuales domésticas			Aguas residuales industriales			Aguas superficiales			Aguas subterráneas			Costero / Marino		
	Si	No	NR	Si	No	NR	Si	No	NR	Si	No	NR	Si	No	NR
Nitrógeno total	33	33	33	42	17	17	42	25	33	58	25	17	67	17	17
Fósforo total	42	25	33	42	17	17	42	25	33	58	25	17	58	25	17
Sílice	8	58	0 ¹	0	78	0 ²	17	42	0 ³	17	58	0 ⁴	17	50	0 ⁵
Clorofila-a	8	58	0 ¹	No se aplica			33	25	0 ³	0	8	0 ⁴	33	42	0 ⁵
Coliformes fecales	58	25	17	50	17	8	42	25	33	58	17	25	67	17	17
Enterococos	25	50	25	25	42	8	33	33	33	33	42	25	58	25	17
E. coli	33	42	25	25	42	8	42	25	33	42	33	25	58	33	8

¹ En el caso de las aguas residuales domésticas, el 33% restante de los encuestados no estaba seguro del control de la sílice y la clorofila.

² En el caso de las aguas residuales industriales, el 22% de los encuestados no estaba seguro de la vigilancia del sílice.

³ En el caso de las aguas superficiales, el 42% restante de los encuestados no estaba seguro de si el sílice y la clorofila-a se controlaban en su país/territorio.

⁴ En el caso de las aguas subterráneas, el 25% de los encuestados no estaba seguro de la vigilancia del sílice, y el 92% de la vigilancia de la clorofila.

⁵ En el caso de las aguas costeras/marinas, el 33% de los encuestados no estaba seguro de la vigilancia del sílice, y el 25% de la vigilancia de la clorofila-a.

Parece ser una buena práctica, en el contexto de un programa de control de nutrientes para las plantas de tratamiento de aguas residuales, reconociendo las limitaciones de las capacidades de muestreo, análisis y gestión de datos de algunos de los países más pequeños dentro de la RGC, para, como mínimo:

- Medir y controlar los vertidos de NH₄⁺ - toxicidad para los peces
- Medir y controlar los vertidos de TN y TP y/o DIN y DIP - eutrofización, sensibilidad de los corales
- Controlar la clorofila-a en la masa de agua receptora - indicador de la contaminación por nutrientes
- Controlar las concentraciones de sílice - relación de Redfield

5 UN ESTUDIO DE CASO SOBRE EL DESARROLLO DE UN PLAN DE REUTILIZACIÓN DE AGUA Y GESTIÓN DE NUTRIENTES - BARBADOS

A continuación, se presenta una breve reseña de los factores propicios y los enfoques iniciales que está utilizando uno de los estados insulares de la RGC para reducir el vertido de aguas residuales, en particular las cargas de nutrientes al Mar Caribe, aumentar sus recursos de agua dulce e incrementar la seguridad alimentaria. El estudio de caso identifica los enfoques utilizados y las experiencias adquiridas hasta la fecha por un gobierno de la región en su intento de cumplir las normas actuales establecidas en el Anexo III del Protocolo FTCTM y de desarrollar y aplicar un plan nacional de recuperación de aguas y gestión de nutrientes. Las lecciones aprendidas por Barbados mientras evalúa los riesgos/beneficios ambientales; construye su marco normativo, identifica los posibles usos finales y evalúa las tecnologías de tratamiento adecuadas, utilizando un proceso iterativo, pueden ser útiles para determinar las enmiendas necesarias al Protocolo,

No desperdiciar nunca una crisis. La adhesión al Protocolo FTCTM en 2019, una pandemia mundial en 2020/21, la crisis económica resultante y los crecientes impactos del cambio climático han obligado al gobierno de Barbados a avanzar con decisión hacia un plan nacional de recuperación de aguas. Los vertidos de nutrientes procedentes de las zonas costeras densamente pobladas y de las tierras agrícolas son uno de los principales motores de la degradación de los arrecifes de coral a lo largo de las costas oeste y sur de la isla (DeGeorges et. al., 2010).

5.1 Principales estadísticas económicas relacionadas con el agua en Barbados

- Población residente de ~ 287.000, con ~ 1 millón de visitantes al año.
- Superficie terrestre = 430 km², Zona Económica Exclusiva = 186.898 km²
- Se independizó del Reino Unido en 1966 y pasó rápidamente de la economía agraria a la de servicios.
- Ocupa el puesto 16 en la categoría densidad de población más alta del mundo
- PIB en 2019 - ~ 5 mil millones de dólares. En 2020 - 4 mil millones de dólares.
- > El 99,5% de la población dispone de agua potable canalizada (155.000 m³/día) (fuente: agua subterránea dulce y salobre)
- Se calcula que la agricultura extrae otros 36.000 m³ /día
- Total de recursos renovables de agua dulce = 281 m³/año/habitante
- Se espera que las precipitaciones disminuyan entre un 15 y un 30% de aquí a 2100.

En términos hidrogeológicos, la isla es un prisma de acreción formado por la colisión de dos placas tectónicas. Una sección transversal de la isla (véase la figura 5.1) revela que la mayor parte de la isla tiene una capa de caliza kárstica asentada sobre un suelo oceánico de permeabilidad relativamente baja, que se sumerge hacia la costa. Como resultado, cualquier contaminante persistente en las aguas subterráneas (por ejemplo, los nitratos) acabará filtrándose a través de la piedra caliza y fluyendo hacia las aguas costeras y vertiéndose en ellas; y el activo físico económico más valioso de Barbados son sus ecosistemas de arrecifes de coral, que son muy sensibles a la contaminación por nutrientes.

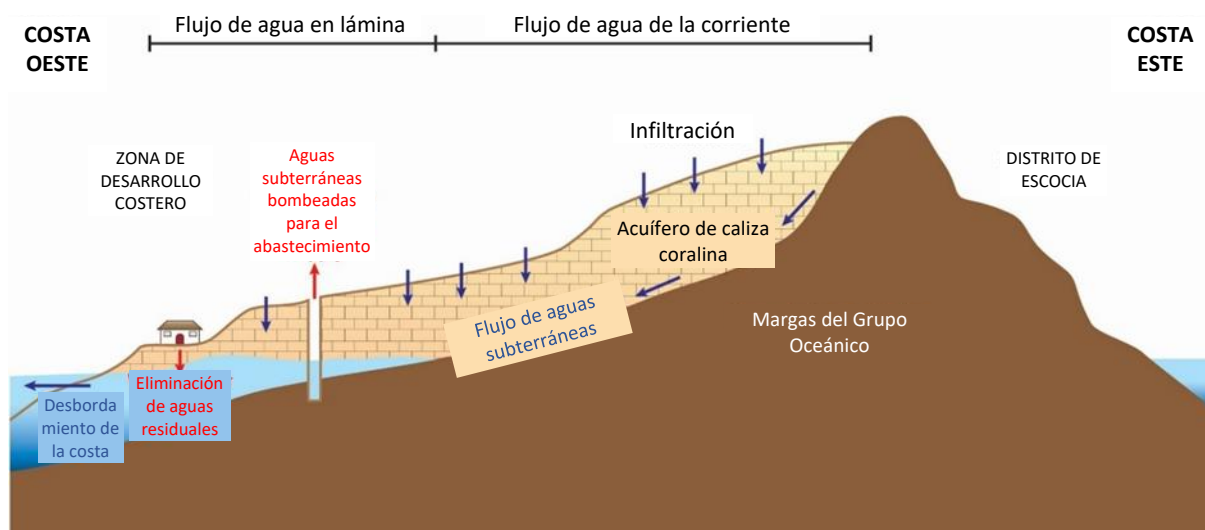


Figura 5.1: Sección transversal de oeste a este de Barbados

5.2 Los factores facilitadores

Según el Banco Mundial, "Barbados es una economía de servicios de altos ingresos". (Banco Mundial, 2021). En 2017, Barbados era una de las naciones más endeudadas del mundo, con una relación deuda/PIB del 157%. En 2018, la administración entrante se dirigió al FMI y completó un programa de reestructuración de la deuda pública en diciembre de 2019.

En marzo de 2020, golpeó Covid-19. Casi literalmente de la noche a la mañana, los turistas se fueron. La economía, excesivamente dependiente del turismo, se desplomó, con una pérdida del 17,3% del producto interior bruto en 2020 respecto a 2019. Las perspectivas para 2021 siguen dependiendo en gran medida de que la temporada turística de este próximo invierno en el hemisferio norte sea saludable (económica y físicamente).

Las cadenas de suministro se interrumpieron y la preocupación por la seguridad alimentaria aumentó, lo que hizo que se volviera a prestar atención a la promoción de la agricultura local. Pero Barbados es un país con escasez de agua, actualmente incapaz de satisfacer la demanda de agua potable y de riego en una sequía de 1 en 15 años y se anticipa que vaya a recibir entre un 20 y un 30% menos de precipitaciones para el año 2100, dependiendo de los modelos climáticos que se utilicen (Climate Studies Group Mona (Eds.), 2020).

En 2014, la FAO estimó los recursos hídricos renovables totales de Barbados en 80 millones de año en condiciones pluviométricas medias. Esto equivale a 281 m³/año por habitante, lo que es significativamente inferior al umbral de 1000 m³/año/persona que define la escasez de agua. En 2019, Barbados experimentó su año más seco registrado desde 1947; ese año solo se registraron 736,5 mm (29") de precipitaciones en el aeropuerto, mientras que en un año medio se esperarían aproximadamente 1270 mm (50") de precipitaciones (Nation News, 2020).

Parte del trabajo de base para avanzar en la recuperación del agua se había realizado antes de que se produjera la pandemia. En 2019, Barbados se adhirió al Protocolo FTCM. La consecuencia legal inmediata fue que las dos EDAR municipales existentes,

- I. una que da servicio a la capital - Bridgetown, un proceso de estabilización por contacto de lodos activados que proporciona un tratamiento secundario pero sin desinfección, y que descarga en un emisor marino de 300 metros de longitud; puesta en marcha en 1982 y con una capacidad de 7.000 m³/día;
- II. y la otra que da servicio a la turística costa sur (9.000 m³/día); una planta de tratamiento preliminar avanzado con tamices finos que vierte a un emisor marino de 1.000 metros de longitud;

no cumplían los requisitos de vertido en aguas de clase 1. Ambas plantas tendrían que ser mejoradas. Por lo tanto, el coste de mejorar las plantas hasta el nivel de tratamiento requerido para verter en aguas de clase 1 según el protocolo FTCM (véase la tabla 2.1) se consideró la base de referencia para el análisis económico de la viabilidad de la recuperación de agua, lo que hizo que la economía de la recuperación de agua fuera más atractiva.

Es importante destacar que el Consejo de Ministros (el máximo órgano de decisión del gobierno), durante uno de los años más secos de los que se tiene constancia, había aprobado recientemente una política nacional de reutilización del agua (EPD 2019). Esto representaba

un cambio de paradigma. Las aguas residuales iban a ser consideradas un recurso. La declaración de la visión y el objetivo de la política de reutilización del agua de Barbados se reproducen en los siguientes cuadros de texto.

Visión: El agua es un recurso nacional que se utilizará para mejorar la calidad de vida de los ciudadanos, mantener la biodiversidad natural de la tierra y promover las actividades domésticas, agrícolas e industriales en apoyo del desarrollo sostenible y la economía verde.

Y lo que es más importante, se han identificado fuentes de financiación asequibles -subvención del Fondo Verde para el Clima y un préstamo del Banco Exim- para capitalizar las mejoras necesarias de la EDAR y la construcción de una red de distribución de agua regenerada.

Objetivo: Promover el uso seguro de las aguas regeneradas, pluviales y no potables en los sectores urbano, agrícola e industrial de manera que no se comprometa la salud humana ni la calidad del medio ambiente.

5.3 Propuesta de plan de recuperación de aguas para Barbados

El 20 de mayo de 2019, el autor de este informe hizo una presentación titulada "El agua regenerada como componente de un plan integrado de recursos hídricos para Barbados" en la consulta nacional sobre recursos hídricos a la que asistieron la mayoría de los miembros del Gabinete. Se presentó un posible escenario de reutilización de aguas residuales, como se muestra en la Figura 5.2.

En él se preveía la mejora de las EDAR de Bridgetown y de la costa sur hasta un nivel que permitiera suministrar agua apta para los fines propuestos para la reutilización y la construcción de la "espina dorsal" de lo que acabaría siendo una red nacional de recuperación de agua capaz de recargar los acuíferos del sur y el oeste de la isla y de regar las tierras agrícolas de las zonas sur, central y norte de la isla.

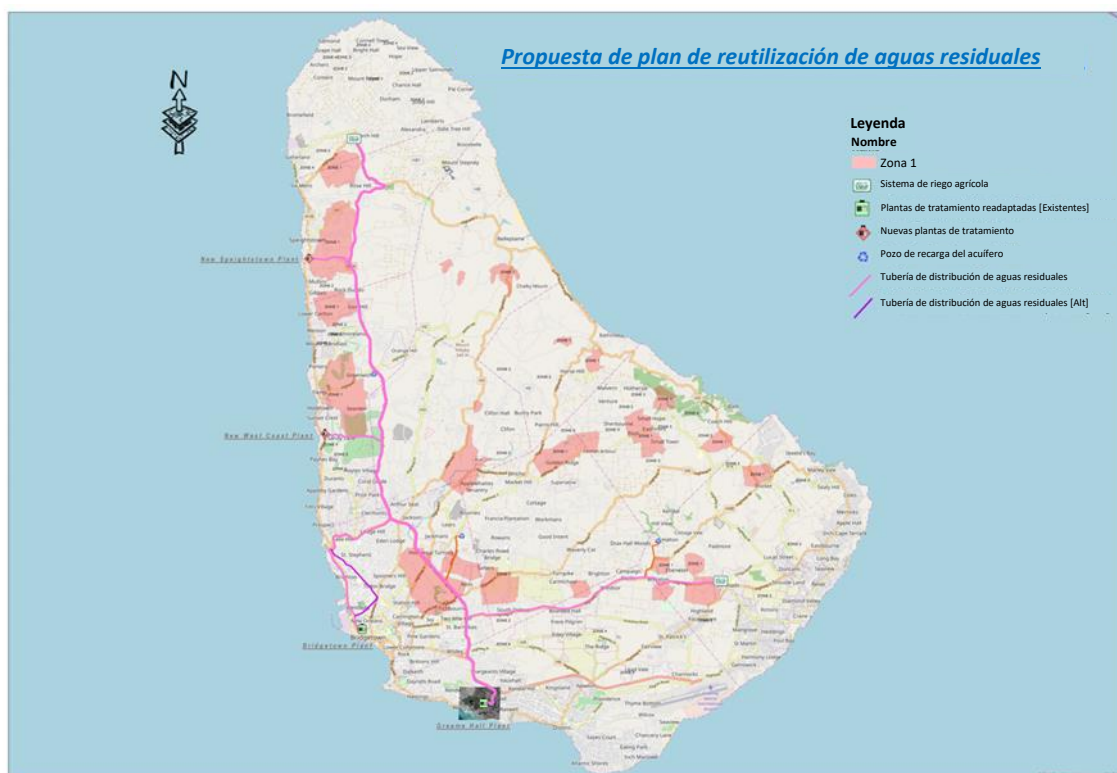


Figura 5.2: Propuesta de plan de reutilización de aguas residuales para Barbados

5.4 Estudio de prefactibilidad de la Recuperación de Aguas de la Costa Sur

En el plazo de tres meses (de septiembre a noviembre de 2020), un grupo de trabajo formado por funcionarios técnicos de los ministerios responsables de los recursos hídricos, la agricultura, la salud pública, la planificación y el control del desarrollo, el medio ambiente y los asuntos económicos, con la ayuda de consultores (AECOM Canada Ltd.), llevó a cabo un análisis de prefactibilidad para recuperar el agua de la EDAR mejorada de la costa sur. La evaluación incluía un análisis "triple" (social, medioambiental y económico) de varios escenarios/opciones de reutilización para elegir la opción preferida. Se revisaron las normas que podían aplicarse a cada opción de reutilización, incluidas las establecidas por los estados de EE.UU. (por ejemplo, Nevada, Florida, California) y la OMS. Las opciones de reutilización consideradas fueron las siguientes:

- Recarga de un acuífero de aguas subterráneas con la intención de extraer la misma agua en un pozo de abastecimiento público con sólo la cloración como tratamiento aplicado. Esta opción se denominó recarga de acuíferos potable.
- Recarga de un acuífero subterráneo con la intención de retirar la misma agua para el riego o como agua de alimentación para una planta de ósmosis inversa; y reutilización

agrícola sin restricciones (incluyendo los cultivos alimentarios consumidos en crudo).

Esta opción se denominó recuperación no potable.

Las normas propuestas por los reguladores (Ministerios de Recursos Hídricos, Sanidad, Medio Ambiente y Agricultura), para estas dos categorías de reutilización del agua en Barbados, se reproducen a continuación en las Tablas 5.1 y 5.2.

Tabla 5.1: Normas de calidad del agua de recarga de acuíferos potable propuestas para Barbados (AECOM 2020)

Parámetro	Calidad del agua regenerada
Carbono orgánico total	Menos de 3 mg/L
Turbidez	Menos de 2
Nitrógeno total (como N)	Unidades de turbidez nefelométrica
Fósforo total (como P)	Menos de 5 mgN/l
pH	Según sea necesario, en función de los factores específicos del lugar
Coliformes fecales	factores específicos del lugar
Coliformes totales	Entre 6,5 y 8,5
Cloro residual	< 1 UFC/ 100 ml
Normas de agua potable	< 1 UFC/ 100 ml
Sólidos totales disueltos	Por debajo de 0,1 mg/L antes de

Tabla 5.2: Normas de calidad del agua no potable propuesta para Barbados (AECOM 2020)

Parámetro	Calidad del agua regenerada
Demanda bioquímica de oxígeno (5 días)	Menos de 30 mg/L
Sólidos suspendidos totales	Menos de 30 mg/L
Nitrógeno total (como N)	Menos de 5 mgN/l
Fósforo total (como P)	Según sea necesario, en función de los factores específicos del lugar

Sólidos totales disueltos	Menos de 450 mg/L
pH	Entre 6,5 y 8,4
Coliformes fecales y coliformes totales	<1 UFC/100ml
Cloro residual	Por debajo de 0,1 mg/L antes de la recarga o vertido al medio marino

De las Tablas 5.1 y 5.2 se desprende que los indicadores elegidos para controlar los vertidos de nutrientes fueron el nitrógeno total y el fósforo total, y que el valor umbral elegido para el nitrógeno fue de 5 mg/l, mientras que para el fósforo se previó flexibilidad.

Tras comparar varios escenarios de reutilización, este "colegio" de reguladores e ingenieros tomó las siguientes decisiones "de cosecha propia" para que el sistema de recuperación de agua (para ambas instalaciones municipales de alcantarillado) se adecuara a las normas culturales y a la capacidad técnica locales:

- Aunque era técnicamente posible, resultaba demasiado caro y probablemente difícil desde el punto de vista cultural intentar la reutilización potable directa.
- La isla no tiene la capacidad actual de regular los tipos de cultivos que pueden regarse ni el método de riego. Por lo tanto, cualquier agua regenerada que se utilice para el riego debe cumplir las normas de calidad del agua para su reutilización agrícola sin restricciones, incluso en los cultivos que se comen crudos.
- El agua regenerada se utilizaría también para recargar los acuíferos subterráneos durante la estación húmeda (de junio a noviembre), cuando la demanda de riego es baja.
- La recarga de las aguas subterráneas se haría a través de pozos de inyección en lugar de cuencas de infiltración debido al alto contenido en arcilla de los suelos locales.
- La recarga se realizaría en la zona saturada y no en la vadosa para permitir el retrolavado de los pozos de inyección.
- Para permitir la recarga del acuífero y proporcionar a los agricultores un "borrón y cuenta nueva", los niveles de nitrato en el agua regenerada se reducirían al máximo, utilizando la mejor tecnología disponible de eliminación biológica de nutrientes (BNR). Se consideró que la capacidad técnica actual de los operadores de las EDAR locales

para intentar la eliminación/recuperación química del fósforo de las aguas residuales era superior. Se decidió buscar un TN de < 5 mg/l y un TP de < 5 mg/l.

- Los sólidos totales disueltos en el agua regenerada deben cumplir una norma de < 450 mg/l para la reutilización agrícola sin restricciones.

Otros factores que influyeron en la elección de los parámetros indicadores y los valores umbral fueron la capacidad técnica actual para detectar los parámetros (véase la Tabla 5.3) y la disponibilidad de tecnologías de tratamiento (véase Tablas 5.4 – 5.7).

Tabla 5.3: Límites de detección de parámetros de nutrientes en muestras marinas en Barbados (proporcionado por los Servicios Analíticos del Gobierno de Barbados, marzo de 2021)

Parámetro	Límite de detección (mg/l)
Nitrógeno total	0.1
Nitratos (por reducción de cadmio)	1.0
TKN	2.0
Nitritos	0.01
Amoníaco	0.05
Fósforo total	0.05
Ortofosfatos	0.01

Eliminación biológica de nutrientes (nitrificación y desnitrificación) se ha convertido en una tecnología convencional. En 2005, la EPA estadounidense preparó una hoja informativa sobre los procesos y costes de la BNR (US EPA, 2005). Las tablas 5.4 - 5.7 que se muestran a continuación se han extraído de la hoja informativa de la US EPA de 2005.

Tabla 5.4: Mecanismos implicados en la eliminación del nitrógeno total (US EPA 2005)

Forma del nitrógeno	Mecanismo común de eliminación	Tecnología Límite (mg/L)
Amoníaco-N	Nitrificación	<0.5
Nitrato-N	Desnitrificación	1 - 2
N orgánico particulado	Separación de sólidos	<1.0
N orgánico soluble	Ninguno	0.5 – 1.5

Tabla 5.5: Mecanismos implicados en la eliminación del fósforo total (US EPA 2005)

Forma del fósforo	Mecanismo común de eliminación	Tecnología Límite (mg/L)
Fósforo soluble	Captación microbiana Precipitación química	0.1
Fósforo en partículas	Eliminación de sólidos	<0.05

La EPA también calificó las diferentes tecnologías de tratamiento de aguas residuales en función de su capacidad para eliminar el nitrógeno y el fósforo (véase el cuadro 4.6).

Tabla 5.6: Comparación de las configuraciones comunes de BNR (US EPA 2005)

Proceso	Eliminación de nitrógeno	Eliminación de fósforo
Ludzack-Ettinger modificado (MLE)	Buena	Ninguno
A ² /O (MLE precedido de una etapa inicial anaeróbica)	Buena	Bien
Alimentación por etapas	Moderado	Ninguno
Bardenpho (4 etapas)	Excelente	Ninguno
Bardenpho modificado (5 etapas)	Excelente	Buena
Reactor discontinuo secuencial (SBR)	Moderado	Inconsistente
Modificado Universidad de Ciudad del Cabo (UCT)	Buena	Excelente
Zanja de oxidación	Excelente	Buena

Tabla 5.7 resume los límites de las tecnologías para las EDAR grandes y pequeñas (< 100.000 galones/día) (< 379 m³/día) según la EPA estadounidense.

Tabla 5.7: Límites de la tecnología para las grandes y pequeñas EDAR (US EPA 2005)

Tamaño de la EDAR	Límite de la tecnología para la eliminación de TN (mg/l)	Límite de la tecnología para la eliminación de TP (mg/l)
Grande	3	0.1
Pequeño	6 - 12	No es rentable

Teniendo en cuenta todos estos factores, se eligieron las opciones preferidas de reutilización del agua junto con las tecnologías de tratamiento preferidas. El diagrama de flujo del proceso de la opción preferida para la mejora propuesta de la EDAR de la costa sur se muestra a continuación en la Figura 5.3.

BWA Recuperación de Agua de la Costa Sur

Diagrama de flujo del proceso

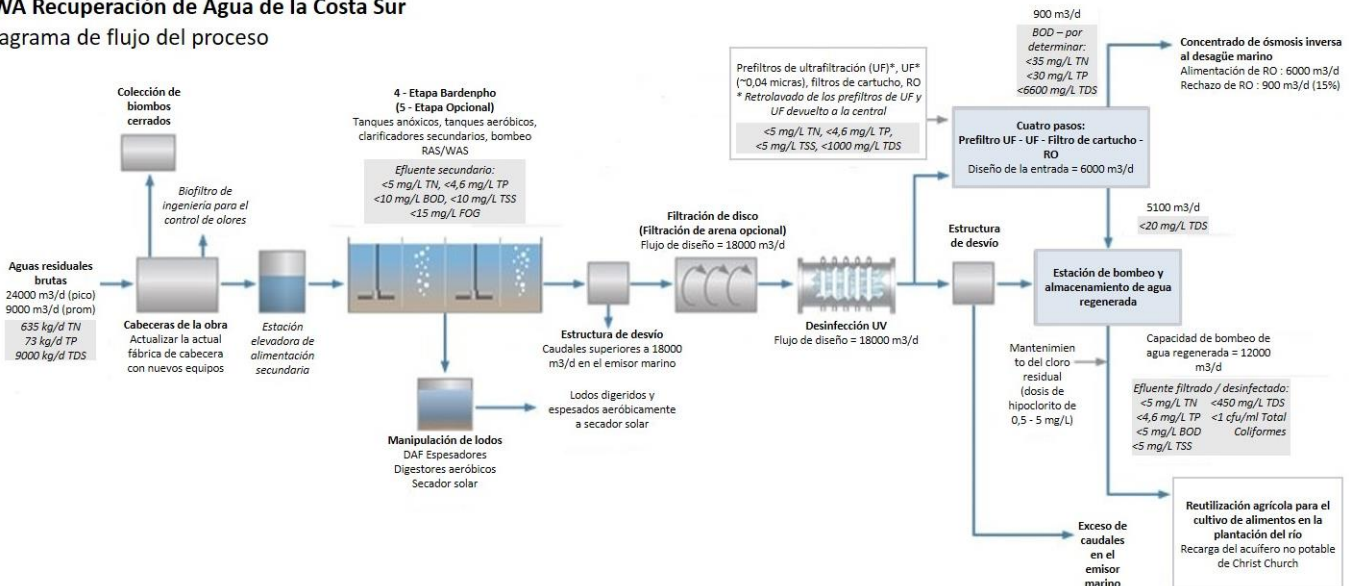


Figura 5.3: Diagrama de flujo del proceso para la actualización propuesta de la EDAR de la Costa Sur (AECOM 2020)

5.4.1 Concentraciones en función de las cargas

En la Figura 5.3 se observa que, para controlar los niveles de SDT, se utilizará un proceso de ósmosis inversa para eliminar los sólidos disueltos de dos terceras partes del flujo del proceso y, a continuación, el permeado del ósmosis inversa se mezclará con el resto del agua producida. El concentrado de ósmosis inversa se enviará a un vertedero marino, ya que no se ha identificado un medio económicamente viable para la recuperación de nutrientes del concentrado.

Cuando se comparan las cargas de nutrientes en el mar procedentes de la línea de base (tratamiento preliminar avanzado) con las cargas previstas tras la ejecución del proyecto, se hace evidente lo siguiente.

Carga diaria de nutrientes de referencia actual al vertedero:

- Nitrógeno total = $9.000 \text{ m}^3/\text{día} \times 70 \text{ mg/l} = 635 \text{ kg/día}$
- Fósforo total = $9.000 \text{ m}^3/\text{día} \times 8 \text{ mg/l} = 73 \text{ kg/día}$

Opción preferida Carga diaria de nutrientes prevista en el vertedero:

- Nitrógeno total = $900 \text{ m}^3/\text{día} \times 35 \text{ mg/l} = 31,5 \text{ kg/día}$ (una reducción del 94,6% de la carga diaria)

- Fósforo total = $900 \text{ m}^3/\text{día} \times 30 \text{ mg/l} = 27 \text{ kg/día}$ (una reducción del 63,6% de la carga diaria)

Sin embargo, es probable que, si sólo se utilizaran las concentraciones numéricas para establecer las normas de vertido de efluentes nacionales o del Protocolo FTSM para los nutrientes, el vertido de concentrado de ósmosis inversa probablemente fracasaría, aunque el proyecto lograría el objetivo medioambiental de reducir significativamente las cargas de nutrientes en las aguas cercanas a la costa.

5.4.2 Impacto económico nacional previsto

Se prevé que los costes de capital para la mejora de las dos depuradoras ascenderán a unos 170 millones de dólares. Se construirán unos 40 km de red de distribución de agua regenerada (color púrpura) para transportar unos 14.000 m³/día de agua regenerada capaz de regar unas 364 hectáreas de tierras agrícolas y recargar los acuíferos subterráneos.

Los beneficios previstos incluyen:

- ~ Aumento de los ingresos anuales de la agricultura en unos 30 millones de dólares,
- ahorro de divisas,
- aumento de los recursos de agua dulce y
- aumento de la seguridad alimentaria

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Hay pruebas considerables de que, a nivel mundial, el ciclo del nitrógeno se ha alterado considerablemente y la demanda de fosfatos está aumentando. Varias zonas del Mar Caribe, en particular las aguas costeras adyacentes a las desembocaduras de las principales cuencas fluviales, han sido consideradas de mala calidad con respecto al contenido de nutrientes.

Aunque la principal fuente de nutrientes procede del uso excesivo y la aplicación inadecuada de fertilizantes, el impacto de las fuentes puntuales, como los vertidos de las EDAR, debe regularse. El Protocolo FTTCM utiliza una narrativa cualitativa (véase el cuadro de texto más abajo) para tratar de controlar el contenido de nutrientes en los vertidos de las EDAR.

Cada Parte Contratante tendrá en cuenta el impacto que el nitrógeno y el fósforo totales y sus compuestos puedan tener en la degradación de la zona del Convenio y, en la medida de lo posible, adoptará las medidas adecuadas para controlar o reducir la cantidad de nitrógeno y fósforo totales que se viertan en la zona del Convenio o que puedan afectarla negativamente.

Se recomiendan las siguientes prácticas:

- El criterio narrativo de calidad del agua para los nutrientes en el Protocolo FTTCM debería complementarse con normas numéricas de vertido y normas de calidad del agua ambiental para el nitrógeno y el fósforo. Los valores ambientales "buenos" sugeridos para el DIN y el DIP en el SOCAR deberían revisarse constantemente sobre la base de los últimos datos científicos disponibles.
- Si se adoptan, las normas numéricas deben:
 - establecerse para las diferentes formas de nitrógeno y fósforo que actualmente controlan los países de la RGC;
 - permitir la flexibilidad y la consideración de las condiciones locales (acuerdos de resistencia adicional, concesión de zonas de mezcla);
 - considerar los límites de detección (véase la Tabla 5.3). Tener en cuenta los límites de detección actuales para TN y TP en Barbados, que actualmente no tiene capacidad para realizar análisis para DIN y DIP;
 - basarse probablemente en promedios mensuales, con una frecuencia mínima de muestreo indicada
 - basarse en el rendimiento esperado, que se ve afectado por la disponibilidad y adecuación de la tecnología

También puede ser apropiado y prudente utilizar un enfoque de TMDL para la gestión de nutrientes si se dispone de datos suficientes. Se reconoce que un enfoque de TMDL puede no ser capaz de tener en cuenta los impactos sinérgicos de los diferentes contaminantes y puede ser específico para cada lugar.

Se considera que está fuera del alcance de este informe recomendar valores numéricos reales para los límites de nitrógeno y fósforo (en sus diversas formas) en los vertidos de aguas residuales. Se recomienda que el Comité Consultivo de Ciencia y Tecnología de FTCM desarrolle un programa de trabajo, en consulta con las partes contratantes, para desarrollar y supervisar constantemente las normas numéricas tanto para las concentraciones como para las cargas de nutrientes, basándose en un conocimiento profundo de los impactos en los ecosistemas marinos subregionales.

Sin embargo, basándose en los datos presentados en la Tabla 5.7 (aunque de 2005), parecería razonable establecer una norma de vertido de efluentes para las EDAR más grandes en algún punto entre 5 y 10 mg/l si se modificara el Anexo III del Protocolo FTCM. Sin embargo, en el caso del TP, las tecnologías de tratamiento de aguas residuales parecen ser todavía inmaduras, complicadas y caras. En el caso de las comunidades que carecen de sistemas municipales de alcantarillado, debería hacerse más hincapié y llevarse a cabo mayor investigación para mejorar la eficacia de la eliminación de nutrientes de los sistemas de tratamiento de aguas residuales in situ o de los pequeños municipios.

Debería fomentarse la reutilización de las aguas residuales, en particular el riego de cultivos que permitiría el reciclaje de nutrientes, pero bajo un estricto régimen de regulación de la salud pública y medioambiental.

Por último, recomendó que parámetros como la clorofila a y el sílice se añadieran también al anexo III del Protocolo sobre las FTCM para indicar mejor el potencial contaminante de los vertidos de nutrientes en la RGC.

7 REFERENCIAS

- AECOM. 2020. “South Coast Water Reclamation Pre-Feasibility Study”. Preparado para la Autoridad del Agua de Barbados, Gobierno de Barbados (noviembre).
- ANZECC. 2000. “Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality.” *Australian and New Zealand Environment and Conservation Council & Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand 1(4)*. Recuperado el 4 de abril de 2021.
- Baird and Associates. 2017. “Appendix D: Adaptation Measures to Counter the Effects of Climate Change with a Focus on Water Resource Management and Flood Resilience.” *Stormwater Quality in Barbados 4*. Producido para el Gobierno de Barbados.
- Baker, D.M. et. al. 2010. “Caribbean octocorals record changing carbon and nitrogen sources from 1862 to 2005.” *Global Change Biology (2010)*. doi: 10.1111/j.1365-2486.2010.02167.x
- Climate Studies Group Mona (Eds.). 2020. “The State of the Caribbean Climate”. Producido para el Banco de Desarrollo del Caribe.
- Coast, P., Magley, W., & Ph, D. 2013. *Nutrient TMDL for (July)*.
<https://floridadep.gov/sites/default/files/palmcoast-nutr-tmdl.pdf>.
- DEFRA. 2012. Waste water treatment in the United Kingdom. *Implementation of the European Union Urban Waste Water Treatment Directive – 91/271/EEC*. Recuperado el 28 de marzo de 2021.
https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/69592/pb13811-waste-water-2012.pdf.
- Degeorges, A., Goreau, T. J., & Reilly, B. 2010. Land-Sourced Pollution with an Emphasis on Domestic Sewage: *Lessons from the Caribbean and Implications for Coastal Development on Indian Ocean and Pacific Coral Reefs*. 2919–2949.
<https://doi.org/10.3390/su2092919>
- Department of Conservation and Recreation. 2014. *Commonwealth of Virginia Virginia Nutrient Management Standards and Criteria. 23219 (July)*.
<https://www.dcr.virginia.gov/document/standardsandcriteria.pdf>.
- Drescher, A., Glaser, R., & Richert, C. 2011. “Demand for key nutrients (NPK) in the year 2050.” Department of geography, University of Friburg. (November).
https://esdac.jrc.ec.europa.eu/projects/NPK/Documents/Freiburg_Demand_for_key_nutrients_in_2050_Drescher.pdf.
- EPD. 2019. “National Water Reuse Policy.” Departamento de Protección Ambiental, Ministerio de Medio Ambiente y Embellecimiento Nacional, Gobierno de Barbados.
- FAO. 2012. “Balanced feeding for improving livestock productivity – Increase in milk production and nutrient use efficiency and decrease in methane emission.” *FAO Animal Production and Health Paper (173)*. Rome, Italy.
- Fischhendler, I. 2007. Escaping the “polluter pays” trap : *Financing wastewater treatment on the Tijuana – San Diego border*. 3. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2006.12.012>.
- Gysin, A., Lycke, D., & Wirtel, S. 2018. “Phosphorus: Polluter and Resource of the Future – Removal and Recovery from Wastewater.” *Chapter 19: The Pearl*. 359–365. doi: 10.2166/9781780408361_359. <https://doi.org/10.2166/9781780408361>.
- Hastings, M. G., Jarvis, J. C., & Steig, E. J. 2009. *Anthropogenic Impacts on Nitrogen Isotopes of Ice-Core Nitrate*. 324(June). Doi: [10.1126/science.1170510](https://doi.org/10.1126/science.1170510).

- Houk, P., *et al.* 2020. Nutrient thresholds to protect water quality and coral reefs. *Marine Pollution Bulletin*, 159(January), 111451.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111451>.
- IFDC. 2010. “World Phosphate Rock and Reserves”. International Fertiliser Development Center, USA. https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/Pnadw835.PDF.
- IISD. 2019. “MEA Bulletin - Guest Article No. 82 - Thursday, 10 December 2009.” *Global Partnership on Nutrient Management Taking Shape* (82). Recuperado el 22 de mayo de 2021; <https://enb.iisd.org/email/mea-l/guestarticle82.html>.
- IUCN. 2007. “Guidelines For Applying The Precautionary Principle To Biodiversity Conservation And Natural Resource Management”. Aprobadas por el Consejo de la UICN 67. (mayo), 1-11.
https://www.iucn.org/sites/dev/files/import/downloads/ln250507_ppguidelines.pdf.
- Jasinski, SM. 2017. Mineral Commodity Summaries (PDF). *U.S. Geological Survey*.
- Marubini, F. and P. Davies., 1996. “Nitrate increases zooxanthellae population density and reduces skeletogenesis in corals.” *Marine Biology* 127:319–328. Consultado el 22 de septiembre. <https://doi.org/10.1007/BF00942117>.
- Mihelcic, J. R., Fry, L. M., & Shaw, R. 2011. Chemosphere Global potential of phosphorus recovery from human urine and feces. *Chemosphere*, 84(6), 832–839.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.02.046>.
- Nation News. 2020. “Driest Year Since 1947.” Retrieved April 4, 2021.
<https://www.nationnews.com/2020/01/31/driest-year-since-1947/>.
- National Research Council. 2001. “Assessing the TMDL Approach to Water Quality Management: Washington, DC”. The National Academies Press, 109. <https://doi.org/10.17226/1014>.
- Neill, M. 2005. *A method to determine which nutrient is limiting for plant growth in estuarine waters — at any salinity*, 50. 945–955.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2005.04.002>.
- Norsok, 2019. “Effects of Struvite Application on soil and Plants: A short-term field study.” Norsok Report 4 (10): Norewegian Centre for Organic Agriculture.
<https://orgprints.org/id/eprint/36472/1/NORSØKRAPPOR10struvittFINALSept2019trykk.pdf>.
- OECD. n.d. “Urban Water Quality Management – *Policies to implement wastewater reuse in Israel*.” Recuperado el 28 de marzo de 2021 <http://www.oecd.org/environment/resources/Israel-case-study-urban-water-quality-management-diffuse-pollution.pdf>.
- Rockström, J., *et al.* 2009. “Planetary boundaries: Exploring the safe operating space for humanity.” *Ecol. Soc.* 14 (2):32. <http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32/>.
- Schullehner, J., *et al.* 2018. “Nitrate in drinking water and colorectal cancer risk: A nationwide population-based cohort study.” *Int J Cancer*, 143(1):73-79. doi: 10.1002/ijc.31306.
- Steffen, W., *et al.* 2015. Planetary boundaries : *Guiding changing planet*. 1259855.
<https://doi.org/10.1126/science.1259855>.
- Sutton M.A., *et al.* 2013. “Our Nutrient World: The challenge to produce more food and energy with less pollution.” *Global Overview of Nutrient Management*. Centre for Ecology and Hydrology, Edinburgh on behalf of the Global Partnership on Nutrient Management and the International Nitrogen Initiative.

- Szmant, A. 2016. Nutrient Enrichment on Coral Reefs : *Is It a Major Cause of Coral Reef Decline ? Estuaries*, 25(4), 743–766. <http://www.jstor.org/stable/1353030>.
- UNCED. 1992. “Annex 1 of Report of the United Nations Conference on Environment and Development”. *Rio de Janeiro (June): 3-14*. Rio Declaration on Environment and Development.
- UNEP CEP. 2019. State of the Cartagena Convention Area Report: *An Assessment of Marine Pollution from Land-based Sources and Activities in the Wider Caribbean Region*.
- UN Environment. 2016. “Regional Seas Strategic Directions (2017-2020).” *UN Environment Regional Seas Programme, Regional Seas Reports and Studies (201)*.
- US EPA. 2005. “Biological Nutrient Removal Processes and Costs.” Retrieved on April 4, 2021. https://www.epa.gov/sites/production/files/documents/criteria_nutrient_bioremoval.pdf.
- US EPA. 2015. *Preventing Eutrophication : Scientific Support for Dual Nutrient Criteria*. (February), 1–6. <https://www.epa.gov/sites/production/files/documents/nandpfactsheet.pdf>.
- US EPA. 2017. Water Quality Standards Handbook. Chapter 3: Water Quality Criteria.
- WHO. 1992. “A Guide to the Development of On-site Sanitation.” *Part 1-The need for on-site sanitation (246)*.
- WHO. 2006a. “Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater.” *Policy and regulatory aspects (1)*. ISBN 92 4 154682 4 (v. 1).
- WHO. 2006b. “Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater.” *Wastewater Use in Agriculture (2)*. ISBN 92 4 154683 2 (v. 2).
- WHO. 2017. “Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first addendum.” Geneva: World Health Organization. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO
- World Bank. 2019. “From Waste to Resource: Shifting paradigms for smarter wastewater interventions in Latin America and the Caribbean.” *Background Paper VI: Market Potential and Business Models for Resource Recovery Products*. World Bank, Washington, DC.
- World Bank. 2021. “Public Document.” *Key conditions and challenges*. 92–93. Recuperado Abril 4, 2021. <https://pubdocs.worldbank.org/en/438851586546174000/mpo-brb.pdf>.

8 APÉNDICE

Tabla 8.1: Referencias de las normas citadas en la Tabla 4.2

País	Referencias	Comentarios
Colombia (Col)	Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. 2015. Resolución no. 0631	Vertidos de aguas residuales domésticas en aguas marinas
Costa Rica (CR)	Decreto no. 31545-S-MINAE. 2003. Reglamento para la aprobación y operación de sistemas de tratamiento de aguas residuales.	Flujos de aguas residuales en el alcantarillado sanitario o en una masa receptora
Cuba	Oficina Nacional de Normalización. Norma cubana obligatoria 27:2012 Disposición de aguas residuales a aguas terrestres y alcantarillado:	Aguas costeras de clase A
República Dominicana (RD)	Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2012. Norma ambiental sobre control de vertidos a aguas superficiales, alcantarillado sanitario.	Vertido a aguas superficiales para la población 10.001-100.000
Guatemala (Gua)	Acuerdo Gubernativo 236-2006 Reglamento de descarga y reutilización de aguas residuales y disposición de lodos	A masas de agua receptoras
Honduras (Hon)	Acuerdo no. 058 Secretaría de Salud Pública 9 de abril de 1996	A masas de agua receptoras
Nicaragua (Nic)	Decreto no. 21-2017 Reglamento que establece las disposiciones para la disposición de aguas residuales	De sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas

Panamá (Pan)	Norma técnica DGNTI-COPANIT 35-2019 Medio ambiente y protección de la salud, seguridad, calidad del agua, descarga de efluentes líquidos.	Aguas superficiales y subterráneas
Trinidad y Tobago (T&T)	Normas sobre la contaminación del agua, 2019	
Barbados (Bar)	Normas propuestas en virtud de la Ley de Control de la Contaminación Marina	Aguas de clase 1. Propuesto. Se permite el acuerdo extra fuerte
Jamaica	Reglamento de aguas residuales y lodos de 2013	Para las plantas existentes. Plan de gestión de nutrientes obligatorio